

FÍSICA E MATEMÁTICA

Normalmente, quando andamos sob chuva, as gotas que caem não nos machucam. Isso ocorre porque as gotas d'água não estão em queda livre, mas sujeitas a um movimento no qual a resistência do ar não pode ser desconsiderada.

A resistência do ar é uma força cujo sentido é sempre contrário ao sentido do movimento do objeto e seu valor é tanto maior quanto maior for a velocidade do corpo em movimento. Para uma gota em queda, a velocidade aumenta até um valor máximo denominado **velocidade limite**. Como as gotas têm, em geral, pequena massa e baixa velocidade limite – **em média 18 km/h** – o impacto, normalmente, não nos causa sensação dolorosa.

Os textos abaixo se relacionam com o descrito.
Leia-os com atenção e responda o que se solicita.


Texto 1

CORTANDO O AR


“Vencer a resistência do ar ao deslocamento do carro é função da aerodinâmica.

A forma ideal de qualquer modelo seria a criada pela natureza na gota d'água”, explica o chefe de Design da Volkswagen do Brasil, Luiz Alberto Veiga (que preparou para o jornal “O Estado de S. Paulo” os desenhos do quadro abaixo).


EM BUSCA DO MODELO IDEAL




A gota d'água: aerodinamicamente perfeita



Modelos hatch têm mais problemas de aerodinâmica, porque criam áreas de maior turbulência atrás – o efeito “desentupidor de pia”, que dificulta o avanço.



O desenho dos sedãs e cupês permite que o ar flua com mais facilidade ao longo da carroceria, reduzindo a turbulência e, portanto, o repuxo.



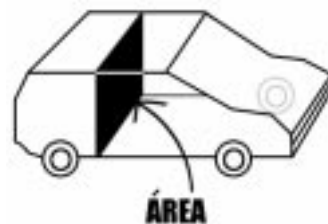
A forma ideal de carro seria a de uma gota cortada longitudinalmente: isso não provocaria turbulência atrás, facilitando o deslocamento.

CALCULANDO A FORÇA DE RESISTÊNCIA DO AR

Qualquer objeto em movimento com velocidade v sujeito à resistência do ar (F_{res}), tem a ele associado um número chamado coeficiente de arrasto aerodinâmico, indicado por C_x . Quanto menor o coeficiente, melhor a aerodinâmica. O C_x é uma grandeza adimensional e seu valor para automóveis, normalmente, varia entre 0,3 e 0,9.

A área (A) do objeto, voltada para o movimento, também, tem uma influência importante na resistência do ar.

Para entender que área é essa, observe-a, por exemplo, na figura ao lado:



Outro fator importante a considerar é a densidade do ar (d). Um mesmo objeto, movimentando-se a uma mesma velocidade, sofre menor resistência em um local em que o ar seja menos denso.

Há uma fórmula que relaciona todas as grandezas que discutimos até aqui e que permite calcular o valor da força de resistência do ar que atua sobre os objetos na maioria das situações:

$$|F_{res}| = \frac{1}{2} \cdot d \cdot A \cdot C_x \cdot v^2$$

Instruções:

Nas respostas lembre-se de deixar seus processos de resolução claramente expostos.

Não basta escrever apenas o resultado final. É necessário mostrar os cálculos ou o raciocínio utilizado. Sempre que necessário, utilize $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Questões

A) De acordo com as informações contidas nos textos e figuras, analise as ilustrações abaixo e identifique qual dos veículos possui o maior valor para o coeficiente de arrasto aerodinâmico. Justifique.



Carro A



Carro B

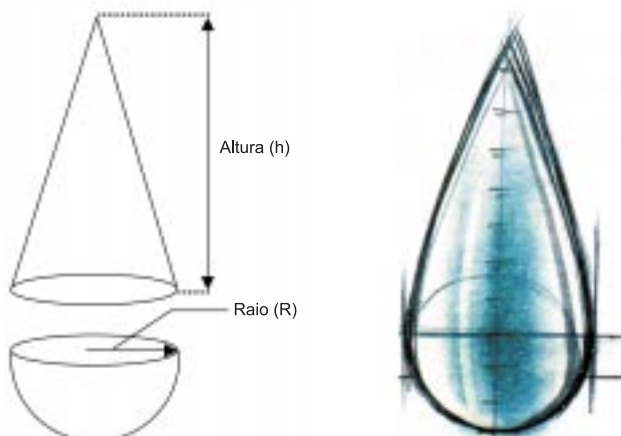
B) Suponha uma gota de chuva, em queda livre, após desprender-se de uma nuvem situada a 1280 m de altura. Calcule a velocidade da gota ao atingir o solo e determine quantas vezes o valor encontrado é maior do que a velocidade limite citada no texto de introdução. Considere a gota inicialmente em repouso em relação ao solo.

C) O fato de as gotas de chuva atingirem a velocidade limite indica uma situação em que foi atingido o equilíbrio dinâmico. Quais forças se equilibram, a partir desse momento? Identifique o tipo de movimento que será executado pela gota a partir desse instante, justificando sua resposta.

D) Considere uma gota de chuva de massa 0,2 g, em situação de equilíbrio dinâmico. Para a expressão dada no texto 2, assumo o produto $\frac{1}{2} \cdot d \cdot A$ como uma constante de valor $8 \cdot 10^{-4}$ (unidades do Sistema Internacional).

Calcule o valor de C_x para a gota de chuva considerando que a velocidade limite em sua queda é de 5 m/s.

E) Numa boa aproximação, uma gota d'água pode ser considerada como o resultado da união de dois sólidos: uma semi-esfera e um cone (veja a figura seguinte). Calcule a relação entre a altura (h) do cone e o raio (R) da semi-esfera, considerando que seus volumes são iguais.



Resolução Comentada

a) Nas mesmas condições de área de secção transversal e de densidade do ar e de mesma velocidade, aumentar o coeficiente de arrasto aerodinâmico significar aumentar a força de resistência do ar o que ocorre nos carros onde existe área de maior turbulência atrás que, de acordo com o texto, corresponde aos carros com modelo hatch.

Entre os carros apresentandos, o que corresponde ao maior valor de coeficiente de arrasto aerodinâmico é o **carro A**.

b) Se a gota estivesse em queda livre teríamos um movimento uniformemente variado:

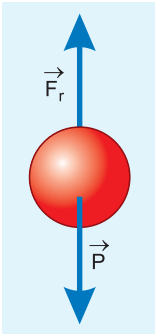
$$V^2 = V_0^2 + 2 \gamma \Delta s \text{ (Torricelli)}$$

$$V^2 = 0 + 2 \cdot 10 \cdot 1280$$

$$V^2 = 25600 \Rightarrow V = 160\text{m/s}$$

A velocidade limite é de $18 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 5,0\text{m/s}$

$$\text{Portanto: } V = n V_{lim} \Rightarrow n = \frac{V}{V_{lim}} = \frac{160}{5,0} \Rightarrow n = 32$$

c)  As forças que se equilibram, ao ser atingida a velocidade limite, são: o **peso \vec{P}** e a **força de resistência do ar \vec{F}_r** .
A partir do instante em que as forças se equilibram a gota passa a ter **movimento retilíneo e uniforme**, por inércia, de acordo com a 1ª lei de Newton.

d) Na situação de equilíbrio dinâmico temos:

$$P = F_r$$

$$mg = \frac{1}{2} d A C_x V_{lim}^2$$

$$0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 8 \cdot 10^{-4} \cdot C_x \cdot (5)^2$$

$$C_x = 0,1$$

e) O volume do cone é dado por:

$$V_1 = \frac{\text{área da base} \times \text{altura}}{3} = \frac{\pi R^2 \cdot h}{3}$$

O volume da semi-esfera é dado por:

$$V_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi R^3 = \frac{2}{3} \pi R^3$$

Impondo-se a igualdade dos volumes:

$$V_1 = V_2$$

$$\frac{\pi R^2 h}{3} = \frac{2}{3} \pi R^3$$

$$\frac{h}{R} = 2$$