

Duas esferas de massas específicas iguais e tamanhos diferentes em queda num fluido: elas se movem com velocidades iguais ou qual delas é mais rápida?⁺*

Ricardo Vignoto Fernandes¹

Osmar Henrique Moura da Silva¹

Carlos Eduardo Laburú¹

Departamento de Física

Universidade Estadual de Londrina

Londrina – PR

I. Introdução

Em nível médio de ensino, caracterizou-se a questão acima como surgida de uma experiência de cinemática na qual se estudam os movimentos uniformes de duas gotas de água², soltas na extremidade superior de um tubo em vertical (p. ex.: proveta transparente) contendo óleo vegetal (Fig. 1), em que os diferentes tamanhos das gotas são controlados por ejeção manual por meio de uma seringa, cuja agulha permanece inserida no óleo para produção das mesmas. No caso, inicialmente se solta a gota pequena (cerca de 1 mm de diâmetro) e, após determinado percurso em queda no fluido viscoso, solta-se uma gota maior (cerca de 2 mm de diâmetro)³ para o estudo da ultrapassagem desta última perante a pequena, efetuando-se as relativas medidas de espaço e tempo. Uma atenção que logo se realiza durante essa prática de produção de diferentes gotas de água no óleo ocorre na constatação de que gotas maiores caem com velocidades maiores, deparando-se com o questionamento desse fenômeno. Considere-

⁺ Two spheres of equal specific mass and different sizes falling in a fluid: do they move at equal speeds or which is faster?

* *Recebido: junho de 2019.*

Aceito: outubro de 2019.

¹ E-mails: ricardoslp@hotmail.com; osmarh@uel.br; laburu@uel.br

² Guerrini (2005, p. 6) sugere um experimento semelhante que estuda o movimento de uma gota d'água em óleo vegetal. Já como experimento alternativo também de baixo custo, Neves (2006) propõe um estudo do movimento uniforme de bolhas de ar que sobem dentro de um xampu, apresentando uma equação na qual o logaritmo da velocidade da bolha depende linearmente do logaritmo do seu raio, ao desprezar o peso da bolha de ar frente às demais grandezas ali envolvidas.

³ A Fig. 1 mais adiante apresenta uma foto com duas gotas de água (com corante) de diferentes tamanhos em queda num fluido (óleo vegetal).

rando-se o formato de uma gota próximo ao esférico, indaga-se algo semelhante a: “Por que uma esfera maior cai mais rápida que outra menor num fluido viscoso”⁴.

Curiosamente, estudantes que iniciam o primeiro ano do ensino médio não se mostram, em geral, atentos à diferença de velocidades relacionada ao tamanho das esferas, haja vista a concepção de senso comum análoga à de Aristóteles (HÜLSENDEGER, 2004) de que objetos maiores e mais pesados caem mais rápido, desfavorecendo um provável conflito cognitivo. Todavia, quando põem graduados em Física para refletirem acerca do fenômeno, imaginando um problema do tipo “as esferas caem juntas ou qual delas cai mais rápido num fluido viscoso?”, o mais corriqueiro e imediato raciocínio que surge pela noção de força de arrasto conduz, conforme a lei de Stokes, a uma previsão em que a esfera menor cai com velocidade maior, uma vez que a força de arrasto é diretamente proporcional ao raio da esfera. Dado esse diagnóstico, procura-se com esta discussão resgatar alguns cálculos acerca do movimento de uma partícula esférica num fluido viscoso direcionando o esclarecimento à questão levantada.

II. Descrição teórica básica

Para uma partícula esférica como objeto caindo em um meio, a Fig. 1 apresenta o seguinte diagrama de forças nela atuantes.

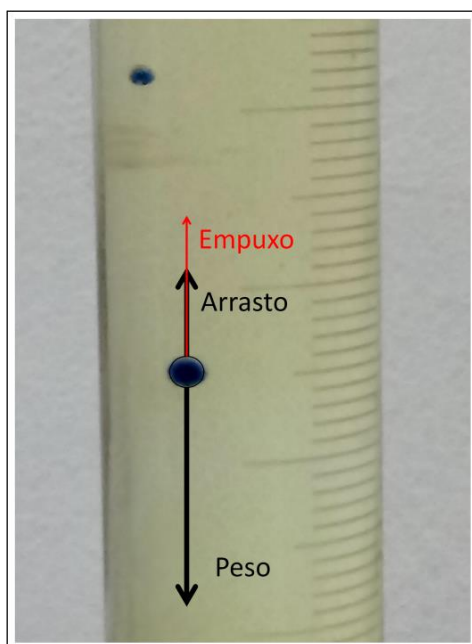


Fig. 1 – Diagrama de forças de uma partícula esférica em queda num meio (fluido viscoso). A foto ilustra duas partículas de diferentes tamanhos, representadas por gotas de água (com um corante para melhor visualização das mesmas). Fonte: autores.

⁴ Obviamente, de densidade inferior ao das esferas, podendo-se dizer que, neste trabalho, densidade equivale à massa específica.

No caso, a força resultante \vec{F}_r pode ser assim expressa:

$$\vec{F}_r = \vec{P} + \vec{E} + \vec{F}_d$$

em que \vec{P} é a força peso, \vec{E} é a força de empuxo, e \vec{F}_d é a força de arrasto.

$$Fr = P - E - Fd$$

Com os subscritos (o) em referência ao objeto e (m) ao meio, e ao realizar as substituições $Fr = m_o a_o$ (m_o massa do objeto e a_o aceleração do objeto), $P = m_o g$ (g aceleração gravitacional), $E = \rho_m V_o g$ (ρ_m densidade do meio e V_o volume do objeto) e pela lei de Stokes (FOX; McDONALD; 1988), na qual a força de arrasto tem a equivalência $Fd = 6\pi\mu Rv$ (μ viscosidade do fluido, R raio da esfera e v a sua velocidade), tem-se:

$$m_o a_o = m_o g - \rho_m V_o g - 6\pi\mu Rv$$

Isolando v :

$$6\pi\mu Rv = m_o (g - a_o) - \rho_m V_o g$$

$$v = \frac{m_o}{6\pi\mu R} (g - a_o) - \frac{\rho_m V_o g}{6\pi\mu R}$$

Agora supondo que o objeto atinja a velocidade limite, em que $a_o = 0$, obtém-se:

$$v = \frac{m_o g}{6\pi\mu R} - \frac{\rho_m V_o g}{6\pi\mu R}$$

Substituindo $m_o = \rho_o V_o$, chega-se:

$$v = \frac{\rho_o V_o g}{6\pi\mu R} - \frac{\rho_m V_o g}{6\pi\mu R}$$

$$v = \frac{V_o g}{6\pi\mu R} (\rho_o - \rho_m)$$

Tendo-se o volume da esfera ($V_o = \frac{4\pi R^3}{3}$), chega-se a:

$$v = \frac{2gR^2}{9\mu} (\rho_o - \rho_m)$$

A expressão acima indica que a velocidade limite (v) é diretamente proporcional ao quadrado do raio da esfera, portanto, quanto maior a esfera maior é a sua velocidade limite no meio. Vale ressaltar que, no presente caso de uma partícula esférica movimentando-se num fluido viscoso, se analisada pensando-se na lei de Stokes, cuja força de arrasto ($Fd = 6\pi\mu Rv$) contrária ao movimento da partícula e que aumenta com o raio da mesma, conduz a uma previsão de que uma gota pequena atinge uma velocidade limite maior que outra gota maior.

III. Conclusão

Para duas esferas de mesmas massas específicas, mas com tamanhos diferentes, soltas num fluido de massa específica distinta ao das esferas, três hipóteses em nível qualitativo acerca dos movimentos das esferas são viáveis: 1) as duas se movem com velocidades iguais; 2) a menor tem velocidade maior; ou 3) a maior tem velocidade maior.

O motivo pelo qual se buscou realizar este “JÁ LHE PERGUNTARAM...”, que de modo óbvio envolve uma das hipóteses mencionadas, atrelando-se a devida explicação do fenômeno à questão levantada no título do trabalho, deveu-se à constatação de vários professores de Física, aqui previamente questionados em situação de especulação experimental, apresentarem uma tendência de ligeiramente indicarem suas respostas na segunda hipótese por se fundamentarem na expressão da força de arrasto ser diretamente proporcional ao raio da esfera (lei de Stokes). Quando deparados com o resultado empírico inverso, ou mesmo para aqueles que já observaram e lembram que uma gota maior de água tem maior velocidade de queda que outra menor em fluidos viscosos, a explicação não parece trivial, e cabe ao professor efetuar os cálculos aqui apresentados para tal esclarecimento⁵. Ainda cabe uma reflexão instrucional acerca da terceira hipótese, corroborada experimentalmente, pela coincidência de acerto que os alunos poderiam assim responder conforme a concepção que comumente carregam, mas que envolve uma explicação dada por eles que necessita ser explorada e corrigida. Para a primeira hipótese que se poderia inicialmente justificar partindo-se de um pensamento galileano, logo se pode refletir para sua validade no vácuo, onde as velocidades de queda independem das massas/dimensões, que não é o caso. Por tal reflexão que assim invalida a primeira hipótese e considerando a força de arrasto já mencionada, que aumenta com o raio da esfera, ficou observado que professores aqui questionados enfim optaram pela segunda hipótese (equivocada).

Referências

FOX, R. W.; McDONALD, A. T. **Introdução à Mecânica dos fluidos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara S. A., 1988.

GERRINI, I. M. **Experimentoteca Ensino Médio – Mecânica Gráfica para Alunos do Ensino Médio utilizando o Software SAM**. (Parte II – Movimento de uma gota d’água dentro de um fluido). CDCC – USP, 2005. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/exper/medio/fisica/kit1_mecanicaI/mecanicaI_sam/apostila_mecsam.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2019.

HÜLSENDEGER, M. Uma análise das concepções dos alunos sobre a queda dos corpos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 377-391, dez, 2004.

⁵ Concluindo que a velocidade limite (v) é diretamente proporcional ao quadrado do raio da esfera, logo, quanto maior a esfera maior é a sua velocidade limite no meio.

NEVES, U. M. Estudo do movimento de um corpo sob ação de força viscosa usando uma porção de xampu, régua e relógio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 387-390, 2006.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](#).