
Comunicações: Comentário sobre o artigo “Determinação de g através da captação do som de impacto de corpos com o solo” (Cad. Bras. Ens. Fís., v. 27, n. 1, p. 159-168, abr. 2010)⁺*

*Renato Felix Rodrigues*¹

Aluno de graduação

Núcleo de Formação Docente – Universidade Federal de Pernambuco

Paulo Peixoto

Núcleo de Formação Docente – Universidade Federal de Pernambuco

Caruaru – PE

Ao tentarmos reproduzir o experimento descrito no artigo supracitado, encontramos problemas que, em nossa interpretação, justificam a produção desse comentário.

O maior problema, em nossa opinião, é como as esferas foram inicialmente posicionadas com o objetivo de que os intervalos de tempo entre impactos sucessivos com o solo fossem o mesmo. Na seção III do artigo (Procedimento experimental), as distâncias entre as esferas para a realização do experimento são as indicadas na Fig. 1, abaixo. Na seção V do artigo (Determinação de g), é instruído que o fio que conecta as esferas seja esticado verticalmente, com a esfera mais abaixo a uma altura h_0 em relação ao solo, como indicado na Fig. 2, a seguir.

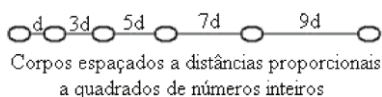


Fig. 1 – Parte da figura 1 do artigo original.

⁺ Comment on “Determination of g through the sound impact reception of bodies with the soil” (Cad. Bras. Ens. Fís., v. 27, n. 1, p. 159-168, abr. 2010)

^{*} *Recebido: agosto de 2013.*
Aceito: fevereiro de 2014.

¹ Atualmente está cursando o Mestrado Acadêmico em Ensino de Física na UFRGS.

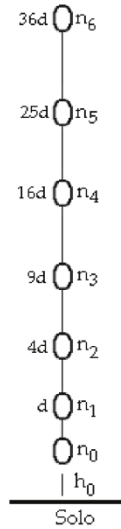


Fig. 2 – Figura 4b do artigo original.

Posteriormente, ainda na seção V, a altura h_0 é feita igual à distância d que separa as esferas n_0 e n_1 da figura (que, em nossa opinião, seriam mais adequadamente identificadas como esferas 0 e 1, respectivamente), e é obtida uma expressão (correta) para o intervalo de tempo Δt_n entre os impactos das esferas $n - 1$ e n com o solo (com $n \geq 1$):

$$\Delta t_n = \sqrt{\frac{2d}{g}} \left[\sqrt{1 + n^2} - \sqrt{1 + (n - 1)^2} \right]. \text{ (igualdade (15) do artigo original)}$$

Está claro que esse intervalo de tempo entre impactos sucessivos das esferas com o solo *não* é constante (pois depende do valor de n), contrariando a expectativa criada pelo autor no terceiro parágrafo da seção IV:

Quando o fio com as esferas posicionadas a distâncias proporcionais aos quadrados inteiros é derrubado, as mesmas colidem com o chão em intervalos de tempo iguais, como pode ser visto na Fig. 3. Nesse caso, os intervalos de tempo entre as colisões das esferas com o solo são praticamente iguais: $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_5$.

Observe que essas igualdades entre esses intervalos de tempo não estão de acordo com a própria igualdade (15) obtida pelo autor! Como você pode verificar,

segundo aquela igualdade, o intervalo de tempo entre a segunda e a terceira colisão com o solo é aproximadamente o dobro do intervalo de tempo entre a primeira e a segunda colisão com o solo – e isso certamente seria revelado pelo *Audacity* (programa usado pelo autor para captação do som dos impactos das esferas com o solo)!

Em que ponto o autor se equivocou? Na página 165 do artigo, um dos parágrafos é iniciado com a frase “A Fig. 4b mostra as esferas posicionadas a distâncias proporcionais a quadrados inteiros”. De fato, é o que aquela figura mostra (veja a sua reprodução na Fig. 2 deste comentário), com as distâncias medidas a partir da esfera 0, mas tais distâncias deveriam ter sido medidas a partir do solo! Resolvemos isso fazendo $h_0 = 0$ (não $h_0 = d$, como fez o autor) e retirando do fio a esfera 0. Com $h_0 = 0$ na igualdade (14) do artigo original, obtemos:

$$\Delta t_n = \sqrt{\frac{2d}{g}} [\sqrt{n^2} - \sqrt{(n-1)^2}] = \sqrt{\frac{2d}{g}} [n - (n-1)] = \sqrt{\frac{2d}{g}}.$$

Portanto, Δt_n – o intervalo de tempo entre os impactos das esferas $n-1$ e n com o solo (agora com $n \geq 2$) – não depende do valor de n , conforme a expectativa apresentada.

Resumindo, se as esferas forem dispostas como apresentado na Fig. 3, e abandonadas do repouso, os intervalos de tempo entre impactos sucessivos com o solo serão iguais (dentro do erro experimental, é claro). E essa igualdade é uma consequência direta da constância da aceleração da gravidade e dos espaçamentos entre as esferas (e entre a primeira esfera e o solo) indicados na figura. Observe que as alturas devem ser medidas do solo à base de cada esfera (que é onde ocorre o impacto). Consequentemente, os comprimentos dos segmentos de fio que separam as esferas devem ser, respectivamente (de baixo para cima), $3d - 2r$, $5d - 2r$, $7d - 2r$ e $9d - 2r$, em que r é o raio de cada esfera.

Vamos apresentar, agora, uma sugestão de como ensinar esse interessante resultado a estudantes do ensino médio. De início, a Fig. 3 (sem a legenda) pode ser apresentada aos estudantes, com a informação adicional de que as esferas estão em repouso e são abandonadas no instante $t = 0$. Pede-se, então, aos estudantes para que calculem em que instantes cada uma das esferas atinge o solo. Em seguida, pede-se para que calculem os intervalos de tempo entre colisões sucessivas com o solo. Pergunta-se, por fim, se eles identificaram algo interessante nos resultados obtidos, e inicia-se uma discussão. A conclusão da discussão pode ser a de que a igualdade entre os intervalos de tempo entre impactos sucessivos das esferas com o solo é consequência da constância da aceleração da gravidade (do contrário não

poderíamos ter usado a fórmula $h = gt^2/2$, ou similar) e dos espaçamentos entre as esferas, e entre a primeira esfera e o solo, indicados na Fig. 3. Após a atividade teórica, pode-se proceder com a verificação experimental da constância do intervalo de tempo entre impactos sucessivos das esferas com o solo. Para tal, o uso do programa *Audacity* (ou similar), como proposto pelo autor do artigo original, é bastante interessante. É claro que a atividade experimental pode preceder a atividade teórica, conforme preferência ou metodologia do professor.

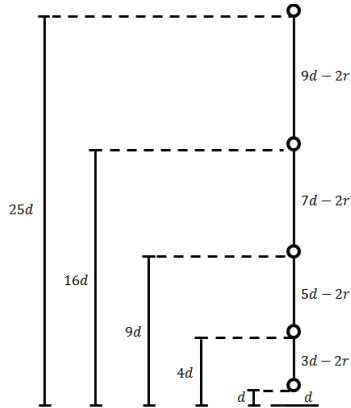


Fig. 3 – Disposição das esferas de raio r , inicialmente em repouso, para que os intervalos de tempo entre impactos sucessivos com o solo sejam iguais.

Quanto à medição da aceleração da gravidade, achamos que o método proposto pelo autor (que envolve um ajuste linear) é inacessível, em todos os seus detalhes (que o autor não apresenta), à maioria dos estudantes do ensino médio. Uma alternativa que propomos é obter o valor de g com o uso da igualdade $\Delta t_n = \sqrt{2d/g}$. Resolvendo esta igualdade para g , obtemos:

$$g = \frac{2d}{(\Delta t_n)^2}.$$

De início, sem privilegiar nenhum dos intervalos de tempo (que não são exatamente iguais devido aos inevitáveis erros experimentais), o valor medido para g é obtido através da equação

$$\bar{g} = \frac{\frac{2d}{(\Delta t_2)^2} + \frac{2d}{(\Delta t_3)^2} + \dots + \frac{2d}{(\Delta t_N)^2}}{N} = \frac{2d}{N} \left(\frac{1}{(\Delta t_2)^2} + \frac{1}{(\Delta t_3)^2} + \dots + \frac{1}{(\Delta t_N)^2} \right),$$

em que N é o número total de esferas usadas. Adequando a exposição ao nível da turma, uma análise da incerteza que acompanha o valor medido seria fundamental e poderiam ser exploradas alternativas para a redução do erro experimental (como trabalhar com apenas duas esferas, a alturas d e $4d$ do solo, com d da ordem de 50 cm).

Apresentaremos agora outros problemas encontrados no artigo original, que vão desde os descuidos com a notação matemática à falta de informação minimamente detalhada quanto ao procedimento experimental para a medição da aceleração da gravidade.

Com relação aos descuidos com a notação matemática, na Introdução o autor escreveu “ $h \gg t^2$ ” querendo dizer que h é proporcional a t^2 ; no entanto, “ \gg ” significa “muito maior que”, e a forma correta para aquela relação seria $h \propto t^2$. Outros descuidos: no penúltimo parágrafo da página 164, o autor usou “ n_n ” no texto, mas “ n ” na igualdade (7), embora denotem a mesma coisa (sendo que, em nossa opinião, “ n ” é mais adequado). No início da página 165, o autor usou “ Δt ” no texto, mas “ Δt_n ” na igualdade (8), embora denotem o mesmo intervalo de tempo (e, em nossa opinião, “ Δt_n ” é mais adequado).

Há também uma expressão matemática escrita de forma incorreta: a expressão entre colchetes na igualdade (9) do artigo original, que é repetida no parágrafo seguinte. Acreditamos que se tratou de um descuido na elaboração do compscrito, porque a expressão correta ($\sqrt{n+1} - \sqrt{n}$) aparece na legenda da Fig. 5 do artigo original.

Quanto ao procedimento experimental (na Seção III, e além dela), temos várias críticas, algumas de caráter pedagógico e outras relacionadas ao próprio procedimento.

Em primeiro lugar, há uma confusão quanto ao número de esferas usadas. Observe que na Fig. 1 do artigo original há dois grupos com 6 esferas, cada, enquanto na Fig. 4 há 7 esferas em cada grupo. Essa confusão também aparece no texto. Veja que no último parágrafo da página 161 o autor informa que 6 esferas são posicionadas a distâncias proporcionais aos quadrados inteiros 1, 4, 9, 16, 25 e 36, e, no mesmo parágrafo, diz que um esquema da disposição das esferas ligadas por fios está representado na Fig. 1. O inteiro 36, na sequência acima, exigiria a existência de uma sétima esfera na parte inferior daquela figura.

Na Fig. 1 de seu artigo, o autor usou a mesma letra, d , para denotar dois comprimentos diferentes: 50 cm no grupo superior e 10 cm no inferior. Além disso, não houve atenção ao fato de que, com $d = 50$ cm no grupo superior e $d = 10$ cm no grupo inferior, o comprimento total dos dois grupos é o mesmo: 250 cm, descontados os diâmetros das esferas. As esferas não foram representadas por círculos, mas por figuras que mais se assemelham a elipses. Em nossa opinião, embora estes sejam erros ou descuidos menores, não são irrelevantes – sobretudo em um artigo publicado em uma revista de ensino de física.

No último parágrafo da Seção III, o autor informa que as cordas com as esferas devem ser suspensas “com a primeira esfera próxima ao chão e ao microfone”. Ora, a que distância do chão? (Já discutimos as sérias implicações desse problema neste comentário).

A medição da aceleração da gravidade, como exposta pelo autor, foi algo que nos intrigou muito. Não há informação detalhada quanto ao procedimento experimental, e os resultados obtidos ($9,80 \text{ m/s}^2$ na página 165 e $9,79 \text{ m/s}^2$ na página 166) não estão acompanhados das incertezas (ou erros, dependendo da nomenclatura usada) correspondentes. Na física experimental, conhecer a incerteza que acompanha um valor medido é tão importante quanto conhecer aquele valor. Observe que, na Conclusão, o autor escreveu: “Apesar de termos obtido valores de g bastante próximos do valor real, a probabilidade de erro é muito grande durante o experimento”. Como ele chegou a essa conclusão? Provavelmente repetiu o experimento algumas vezes, certo? Mas, se foi assim, ele comunicou apenas o resultado de uma medição que “deu certo”? Isso não tem valor científico algum. Se não foi assim, como foi feito então? Além disso, por mais precisa que seja uma medição, há um erro a ela associado; assim, não conhecemos o “valor real” da aceleração da gravidade.

Outro ponto que nos chamou a atenção foi o fato de, nos dois ajustes, o autor não ter feito os coeficientes lineares iguais a zero. Que os valores obtidos para esses coeficientes tenham sido muito pequenos não é surpresa, mas, na escolha das funções para os ajustes, tais coeficientes deveriam ter sido igualados a zero!

Queremos concluir esse comentário expressando o nosso desejo sincero de contribuir com a elevação da qualidade da educação em nosso país. Esperamos que o autor do artigo original (a quem não conhecemos) receba nossas críticas de forma construtiva e pessoal. Obrigado.