

Mecânica e Campo Eletromagnético (MCE)

Relatório Experimental — Movimento de Projéteis
Ano letivo 2025/2026

Índice

1. Identificação dos Autores	1
2. Resumo	1
3. Introdução	2
4. Materiais utilizados:.....	3
5. Análise e discussão:	3
Parte A — Determinação da velocidade inicial	3
Parte B — Dependência do alcance com o ângulo de disparo	8
Parte C — Pêndulo Balístico	12
6. Conclusões:	16
7. Anexos	16

1. Identificação dos Autores

- Disciplina: Mecânica e Campo Eletromagnético (MCE)
- Título do trabalho: Movimento de Projéteis
- Autores:
 - Francisco Silva (125214)
 - Rodrigo Gonçalves (124750)
 - Rodrigo Silva (125171)
- Data de realização: 8/10/2025
- Data de entrega: 30/10/2025

2. Resumo

Este trabalho experimental tem como principal objetivo determinar a velocidade inicial de um projétil e investigar a dependência do seu alcance com o ângulo de lançamento. Para tal, iremos lançar um projétil de 3 formas diferentes: duas delas com o intuito de calcular e comparar a velocidade inicial com que o projétil sai do lançador, lançando o projétil horizontalmente e obtendo a velocidade pelo tempo que o projétil demora a passar 2 sensores e pelo pêndulo balístico; e outra para relacionar o ângulo de lançamento com o alcance.

3. Introdução

O estudo do movimento de projéteis é um exemplo clássico de movimento bidimensional uniformemente acelerado, onde a aceleração da gravidade atua na direção vertical e o movimento horizontal é uniforme. A análise teórica baseia-se nas equações do movimento, que descrevem a posição de um projétil de massa M lançado com uma velocidade inicial v_0 e ângulo de lançamento θ_0 :

$$x = x_0 + v_0 t \cos \theta_0$$

$$y = y_0 + v_0 t \sin \theta_0 - \left(\frac{1}{2}\right) g t^2$$

onde g representa a aceleração da gravidade, t o tempo decorrido, e (x_0, y_0) as coordenadas iniciais do projétil. A eliminação da variável t entre estas duas expressões permite determinar o alcance teórico do projétil em função do ângulo de lançamento. No caso particular em que a altura inicial e final coincidem ($y_i = y_f$), o alcance máximo é obtido para o ângulo $\theta_{max} = 45^\circ$. No entanto, quando o projétil é lançado ou atinge alturas diferentes, o ângulo ótimo pode ser calculado pela expressão:

$$\theta_{max} = \arctan \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2g(y_i - y_f)}{v_0^2}}} \right)$$

Além disso, a determinação da velocidade inicial v_0 pode ser realizada de diferentes formas experimentais. Uma delas baseia-se diretamente nas equações do movimento retilíneo uniforme, relacionando a distância percorrida (s) entre dois sensores, com o tempo (t) de passagem do projétil, segundo $v_0 = \frac{s}{t}$.

De modo alternativo, o método do **pêndulo balístico** permite obter a mesma grandeza recorrendo à conservação do momento linear e da energia mecânica. Após a colisão inelástica entre o projétil (massa m) e o pêndulo (massa M), a velocidade inicial do projétil é dada por:

$$v_0 = \left(\frac{(m+M)}{m} \right) \sqrt{2gh}$$

onde h é a altura máxima atingida pelo pêndulo.

Assim, este trabalho visa integrar a análise teórica e experimental do movimento de projéteis em três partes:

- **Parte A** focou-se na determinação das equações do movimento, medindo o tempo de percurso do projétil entre dois sensores de passagem, com o lançador na posição horizontal.
- **Parte B** visou verificar a dependência do alcance com o ângulo de lançamento, registando o alcance para vários ângulos próximos dos 45° , a fim de determinar o ângulo correspondente ao alcance máximo observado.
- **Parte C** utilizou o método do Pêndulo Balístico para uma determinação alternativa da velocidade inicial, medindo o ângulo máximo atingido pelo pêndulo após a colisão da bola com este e aplicando os princípios da conservação do momento linear e da energia mecânica. Os resultados obtidos nas Partes A e C serão comparados, e as fontes de erro e as estratégias de melhoria serão discutidas.

4. Materiais utilizados:

1. Lançador de projéteis
2. Sensores de passagem
3. Esfera metálica
4. Fita métrica ou régua
5. Papel químico e milimétrico
6. vareta de carregamento
7. balança

5. Análise e discussão:

Parte A — Determinação da velocidade inicial

➤ Montagem experimental

O lançador de projéteis foi fixado à bancada numa posição horizontal, garantindo a sua correta estabilidade e alinhamento. À saída do lançador foi colocado o primeiro sensor de passagem, enquanto o segundo foi posicionado ao longo da trajetória, a uma distância cuidadosamente medida com uma fita métrica. Ambos os sensores foram ligados ao sistema de controlo configurado no modo “TWO GATES”, responsável por medir o tempo de percurso do projétil entre eles. Antes das medições, verificou-se a horizontalidade do lançador e o correto funcionamento do sistema.

➤ *Procedimento Experimental*

1. Medir e anotar a distância entre os centros dos dois sensores; estimar a incerteza Δs .
2. Fixar o lançador na posição horizontal e garantir a estabilidade da base.
3. Colocar o primeiro sensor imediatamente à saída do lançador e o segundo ao longo da trajetória, alinhados entre si.
4. Ligar o sistema de controlo e selecionar o modo de medição com duas portas (TWO GATES); verificar o funcionamento com um objeto de teste.
5. Carregar o lançador na posição “SHORT RANGE” e posicionar a esfera no tubo com a vareta de carregamento.
6. Executar o disparo puxando o gatilho de forma suave; registar o tempo mostrado pelo painel assim que a esfera passar pelo segundo sensor.
7. Repetir os passos 5–6 para um total de cinco medições, mantendo o mesmo alinhamento e condições em cada ensaio.
8. Após cada disparo, verificar rapidamente o alinhamento dos sensores e anotar qualquer anomalia ou observação relevante.
9. Organizar os dados numa tabela com: número da medição, tempo t_i , observações; acrescentar a indicação de s e Δs .

➤ *Resultado Experimental e cálculos*

Dados recolhidos:

Após serem efetuadas as cinco medições consecutivas do tempo de percurso do projétil entre os dois sensores foram registados os seguintes valores para o tempo:

Nº da Medida	Tempo t (± 0.0001 s)
1	0,0446
2	0,0439
3	0,0438
4	0,0443
5	0,0440

A distância entre os sensores foi medida com fita métrica, obtendo-se o valor de $s = (10,0 \pm 0,05) \text{ cm}$, ou seja, $s = (0,1000 \pm 0,0005) \text{ m}$.

Cálculos do tempo médio:

O tempo médio foi determinado através da expressão:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

Substituindo os valores experimentais, obteve-se:

$$\bar{t} = \frac{0,0446 + 0,0439 + 0,0438 + 0,0443 + 0,0440}{5} = 0,04412 \text{ s}$$

O erro associado ao tempo foi o maior valor obtido calculando a diferença de cada medição e o valor médio:

$$|t_1 - \bar{t}| = |0,0446 - 0,04412| = 0,00048 \text{ s}$$

$$|t_2 - \bar{t}| = |0,0439 - 0,04412| = 0,00022 \text{ s}$$

$$|t_3 - \bar{t}| = |0,0438 - 0,04412| = 0,00032 \text{ s}$$

$$|t_4 - \bar{t}| = |0,0443 - 0,04412| = 0,00018 \text{ s}$$

$$|t_5 - \bar{t}| = |0,0440 - 0,04412| = 0,00012 \text{ s}$$

Após analisar os valores, obteve-se:

$$\Delta t = 0,00048 \text{ s} \approx 0,0005 \text{ s}$$

Assim, o valor final do tempo médio é:

$$t = (0,0441 \pm 0,0005) \text{ s}$$

Cálculo da velocidade inicial:

O erro associado à velocidade ($v_0 = s/t$) foi determinado através da fórmula geral da propagação de incertezas, usando o método linear (pior caso) para estimar a incerteza máxima:

$$\Delta F = \left| \frac{\partial F}{\partial x} \Delta x \right| + \left| \frac{\partial F}{\partial y} \Delta y \right|$$

$$\Delta v_0 = \left| \frac{\partial v_0}{\partial s} \Delta s \right| + \left| \frac{\partial v_0}{\partial t} \Delta t \right|$$

Sendo $v_0 = s/t$, as derivadas parciais são:

$$\frac{\partial v_0}{\partial s} = \frac{1}{t} \text{ e } \frac{\partial v_0}{\partial t} = -\frac{s}{t^2}$$

Substituindo na fórmula:

$$\Delta v_0 = \left| \frac{1}{t} \cdot \Delta s \right| + \left| -\frac{s}{t^2} \cdot \Delta t \right|$$

Como $s, t, \Delta s$ e Δt são positivos, a fórmula simplifica-se para:

$$\Delta v_0 = \left(\frac{\Delta s}{t} \right) + \left(\frac{s \cdot \Delta t}{t^2} \right)$$

Substituindo os valores experimentais:

$$s = 0,1000 \text{ m}, t = 0,0441 \text{ s}, \Delta s = 0,0005 \text{ m}, \Delta t = 0,0005 \text{ s}$$

$$\Delta v_0 = \left(\frac{0,0005}{0,0441} \right) + \left(\frac{0,1000 \times 0,0005}{(0,0441)^2} \right)$$

$$\Delta v_0 = 0,011337 + 0,024680$$

$$\Delta v_0 = 0.036017 \text{ m/s} \approx 0.04 \text{ m/s}$$

O valor da velocidade é:

$$v_0 = \frac{s}{t} = \frac{0.1000}{0.0441} = 2.2665 \text{ m/s}$$

Arredondando o erro para um algarismo significativo ($\Delta v_0 \approx 0.04 \text{ m/s}$) e ajustando o valor da velocidade para a mesma casa decimal (centésimos):

$$v_0 = (2.27 \pm 0.04) \text{ m/s}$$

➤ *Análise de erros e conclusões*

A propagação de incertezas mostra que a maior contribuição para o erro na velocidade inicial provém da incerteza no tempo, devido ao termo proporcional a s/t^2 , que amplifica pequenas variações temporais. Apesar da distância ser medida com boa precisão, a incerteza do tempo tem um peso significativamente superior no cálculo final.

Para reduzir o erro total seria benéfico utilizar um sistema de temporização mais preciso, aumentar o número de medições de forma a reduzir flutuações estatísticas e/ou aumentar a distância medida, diminuindo a influência relativa do tempo.

O valor final obtido:

$$v_0 = (2.27 \pm 0.04) \text{ m/s}$$

apresenta uma incerteza reduzida e boa consistência experimental. Na parte seguinte, este valor será comparado com o obtido pelo método do pêndulo balístico, permitindo verificar a coerência dos resultados.

Parte B — Dependência do alcance com o ângulo de disparo

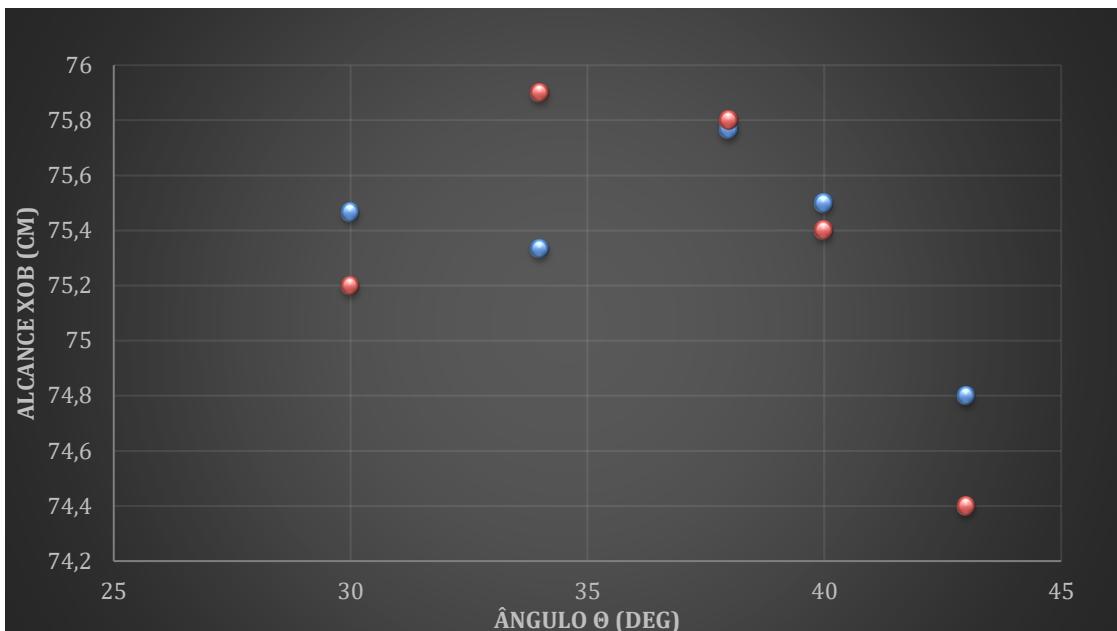
➤ *Procedimento experimental*

1. Fixar o lançador firmemente sobre a mesa (evitando o movimento entre as medições).
2. Ajustar o lançador de maneira a obter o ângulo desejado.
3. Posicionar o alvo sobre a mesa, a uma distância onde seja previsível a queda do projétil.
4. Colocar uma fita métrica ao longo da mesa, para medir o alcance (distância horizontal do ponto de lançamento até o impacto).
5. Executar o disparo “SHORT RANGE”, 3 vezes e registar também os 3 alcances obtidos (x_{ob}) para cada ângulo pedido($30^\circ, 34^\circ, 38^\circ, 40^\circ, 43^\circ$).
6. Medir e anotar a altura de lançamento y (altura do ponto de saída do projétil em relação ao solo).

➤ *Processamento de dados*

Ângulo θ (deg)	Medidas ($\pm 0,05$ cm)	Média experimental x_{ob} (cm)	Média teórica x_{teo} (cm)
30°	75,60; 75,50; 75,30	75,47	75,2
34°	75,50; 75,30; 75,20	75,33	75,9
38°	75,70; 75,80; 75,80	75,77	75,8
40°	75,60; 75,50; 75,40	75,5	75,4
43°	75,00; 74,70; 74,70	74,8	74,4

➤ Gráfico da dependência do alcance médio para com os diferentes ângulos



Legenda:

- valores experimentais;

-valores teóricos;

➤ Análise Teórica e Experimental

Assumindo a ausência da resistência do ar e que a altura de lançamento é igual à altura de aterragem ($y_0 = y_f$), a teoria prediz nos que o alcance é $X = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}$, o que resulta num ângulo de alcance máximo de 45° , que é o "ponto ótimo" porque v_x e v_y estão perfeitamente equilibrados. Qualquer ângulo maior que 45° dá mais tempo de voo, mas perde demasiada velocidade. Qualquer ângulo menor que 45° dá mais velocidade horizontal, mas não fica no ar tempo suficiente.

Concluindo assim que no nosso procedimento experimental, o projétil é lançado de uma altura inicial ($y_0 = 0,2620 \pm 0,0005$) m, que é superior à altura final de aterragem ($y=0$). A teoria balística demonstra que, quando o lançamento ocorre de uma altura superior à aterragem, o ângulo de disparo que maximiza o alcance é sempre inferior a 45° .

Isto deve-se ao facto de a altura inicial já fornecer ao projétil um tempo de voo adicional. Para maximizar o alcance, é mais vantajoso converter alguma da energia que seria usada para a subida vertical (diminuindo o ângulo) em velocidade horizontal.

O alcance máximo observado (x_{\max_ob}) é $(0,758 \pm 0,001)$ m, que corresponde ao ângulo:

$$\theta_{\max_ob} = 38^\circ \pm 1^\circ$$

Para comparar este resultado experimental com o previsto pela teoria, determinou-se primeiro a velocidade inicial (v_0) do projétil, que se assume constante. Usando os dados experimentais de todos os lançamentos, calculou-se uma velocidade inicial média de $v_0 = (2,304 \pm 0,004)$ m/s.

Usando este valor v_0 e a fórmula do ângulo ótimo (α_{\max}) fornecida na Introdução, podemos calcular o ângulo máximo teórico:

$$\alpha_{\max, \text{teo}} = \arctan \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2g(y_i - y_f)}{v_0^2}}} \right)$$

Substituindo os valores ($g = 9,8$ m/s², $y_i = 0,2620$ m, $y_f = 0$, $v_0 = 2,304$ m/s):

$$\alpha_{\max, \text{teo}} = \arctan \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2(9,8)(0,2620)}{(2,304)^2}}} \right)$$

$$\alpha_{\max, \text{teo}} = \arctan \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5,1352}{5,3084}}} \right) = \arctan \left(\frac{1}{\sqrt{1,9674}} \right)$$

$$\alpha_{\max, \text{teo}} = \arctan(0,713) \approx 35,5^\circ$$

➤ Comparação e Conclusão

Ao comparar o valor experimental com o teórico, obtemos:

- $\theta_{\max, \text{ob}} = 38^\circ \pm 1^\circ$ (intervalo experimental: $[37^\circ, 39^\circ]$)
- $\alpha_{\max, \text{teo}} = 35,5^\circ$

A comparação **não é exata**. O valor teórico de $35,5^\circ$ encontra-se fora do intervalo de incerteza experimental $[37^\circ, 39^\circ]$.

Esta discrepância é esperada e pode ser atribuída a fatores não considerados no modelo teórico ideal, principalmente:

1. **Resistência do Ar:** A força de atrito do ar, que foi desprezada, afeta a trajetória real e tende a fazer com que o ângulo de alcance máximo seja ligeiramente diferente.
2. **Incertezas Experimentais:** Pequenas flutuações na velocidade inicial v_0 entre disparos (apesar de se usar "SHORT RANGE") ou imprecisões na medição dos ângulos podem acumular-se e desviar o ponto máximo observado.

➤ *Comentários*

Os resultados experimentais confirmam qualitativamente a dependência parabólica do alcance com o ângulo de disparo. O alcance cresce com o ângulo até um valor máximo (em torno de 38°), e depois diminui para ângulos maiores.

Em condições reais, a resistência do ar é um fator que não é considerado na teoria. O seu efeito é sempre o de reduzir o alcance e afetar ligeiramente o ângulo ótimo.

As principais fontes de erro no nosso procedimento incluem a precisão na medição do ângulo (θ), a precisão na medição do alcance (x_{ob}) (dificuldade em identificar o ponto exato de aterragem) e a variabilidade na velocidade inicial (v_0) do lançador em diferentes ensaios e alguma instabilidade por parte do lançador, apesar dos esforços para o manter constante.

Se observarmos no gráfico os resultados experimentais obtidos para os ângulos de 30° e de 34° , reparamos que o alcance do de 34° é menor que o de 30° , idealmente falando não está correto, pois o alcance deveria ser monótono crescente até um certo ângulo ótimo (experiencialmente falando neste caso, 38°), podemos estar a falar de um possível erro devido a erros comentados anteriormente.

Parte C — Pêndulo Balístico

➤ *Procedimento experimental*

1. Fixar o lançador firmemente sobre a mesa (evitando o movimento entre as medições).
2. Medir o comprimento e a massa do pêndulo, assim como a massa da bola metálica.
3. Fixar o pêndulo em frente ao lançador
4. Colocar o lançador em modo “SHORT RANGE” e disparar.
5. Verificar o ângulo descrito pelo pêndulo
6. Calcular a altura máxima que o pêndulo atingiu para poder calcular a velocidade inicial.

➤ *Dados*

Medições dos ângulos, α : $17,0^\circ$; $16,5^\circ$; $16,5^\circ$; $16,0^\circ$; $16,5^\circ$

Erro das medições dos ângulos: $0,5^\circ$

Média de $\alpha = 16,5^\circ$

Massa da bola, $m = (63,3 \pm 0,1) \text{ g}$

Massa do pendulo, $M = (264,7 \pm 0,1) \text{ g}$

Comprimento do pêndulo, $l = (0,3000 \pm 0,0005) \text{ m}$

➤ *Cálculo do erro das medições de α*

O erro de α , $\Delta\alpha$, é dado pelo maior desvio observado em relação à média dos valores obtidos:

$$|\alpha_1 - \bar{\alpha}| = 17,0^\circ - 16,5^\circ = 0,5^\circ$$

$$|\alpha_2 - \bar{\alpha}| = 16,5^\circ - 16,5^\circ = 0,0^\circ$$

$$|\alpha_3 - \bar{\alpha}| = 16,5^\circ - 16,5^\circ = 0,0^\circ$$

$$|\alpha_4 - \bar{\alpha}| = 16,0^\circ - 16,5^\circ = 0,5^\circ$$

$$|\alpha_5 - \bar{\alpha}| = 16,5^\circ - 16,5^\circ = 0,0^\circ$$

Logo, após a observação dos valores obtidos podemos concluir que $\Delta\alpha = 0,5^\circ$

➤ *Cálculo da altura h e sua incerteza*

Para descobrir h usamos a fórmula:

$$h = l (1 - \cos \alpha)$$

Como $\alpha = 16,5^\circ$ e $l = 0,3000\text{m}$:

$$h = 0,30 (1 - \cos 16,5^\circ) \approx 0,0124 \text{ m}$$

Propagação de incertezas no cálculo de h:

$$\alpha_{rad} \approx 0,288 \text{ rad}$$

$$\Delta\alpha_{rad} \approx 0,00873 \text{ rad}$$

$$\Delta l = 0,0005 \text{ m}$$

Como já usada na Parte A, a fórmula geral para propagação de erros é:

$$\Delta F = \left| \frac{\partial F}{\partial x} \Delta x \right| + \left| \frac{\partial F}{\partial y} \Delta y \right|$$

Logo:

$$\Delta h = \left| \frac{\partial h}{\partial l} \Delta l \right| + \left| \frac{\partial h}{\partial \alpha} \Delta \alpha \right|$$

$$\frac{\partial h}{\partial l} = 1 - \cos \alpha, \quad \frac{\partial h}{\partial \alpha} = l \sin \alpha$$

$$\Delta h = |(1 - \cos \alpha) \Delta l| + |l \sin \alpha \Delta \alpha|$$

$$\Delta h = 0,0000202 + 0,0007428 = 0,000763 \text{ m}$$

Obtendo $h = (0,01240 \pm 0,0008) \text{ m}$

➤ Cálculo do valor final para v_0 , e para o respetivo erro, Δv_0 :

$$v_0 = \frac{M + m}{m} \sqrt{2gh}$$

$$v_0 = \frac{264,7 + 63,3}{63,3} \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,0124}$$

$$v_0 = 2,555 \text{ m/s}$$

Voltando a usar a fórmula geral para propagação de erros e tendo em conta a experiência:

$$\Delta v_0 = \left| \frac{\partial v_0}{\partial M} \Delta M \right| + \left| \frac{\partial v_0}{\partial m} \Delta m \right| + \left| \frac{\partial v_0}{\partial h} \Delta h \right|$$

$$\frac{\partial v_0}{\partial M} = \frac{1}{m} \sqrt{2gh}, \quad \frac{\partial v_0}{\partial m} = -\frac{M}{m^2} \sqrt{2gh}, \quad \frac{\partial v_0}{\partial h} = \frac{M+m}{m} \frac{g}{\sqrt{2gh}}$$

$$\Delta v_0 \approx 0,007788 \cdot 0,1 + 0,032568 \cdot 0,1 + 103,0048 \cdot 0,0008$$

$$\Delta v_0 \approx 0,0864 \text{ m/s}$$

Assim podemos concluir que a velocidade inicial, v_0 , é $(2,56 \pm 0,09)$ m/s.

$$\text{Precisão} = \frac{\Delta v_0}{v_0} \cdot 100 = \frac{0,09}{2,56} \cdot 100 \approx 3,5\%$$

➤ Discussão: fontes de erro, exatidão e precisão

A maior fonte de erro foi a medição do ângulo α , pois dentro das medições que se realizaram para esta parte do trabalho, foi a medição com mais discrepância entre medições.

Após discussão, chegou-se à conclusão que algumas das formas de melhorar os resultados obtidos seria através do aumento do número de lançamentos, diminuindo o erro estatístico e reduzindo a influência de variáveis aleatórias, e utilizar um equipamento mais resistente às vibrações, pois verificou-se que os parafusos que seguram o lançador de projéteis apresentavam alguma folga mesmo estando totalmente apertados, o que podia causar variações entre lançamentos.

➤ *Comparação com a Parte A*

Começa-se por comparar ambas as velocidades obtidas assim como os seus erros:

$$v_{0,A} = 2,27 \text{ m/s} \quad \text{e} \quad v_{0,C} = 2,56 \text{ m/s}$$

e

$$\Delta v = \left| \frac{\partial v_0}{\partial v_{0,A}} \Delta v_{0,A} \right| + \left| \frac{\partial v_0}{\partial v_{0,C}} \Delta v_{0,C} \right|$$

$$\Delta v = |\Delta v_{0,A} - \Delta v_{0,C}| = |0,04 - 0,09| = 0,05 \text{ m/s}$$

De seguida, obtém-se o erro relativo para avaliar a exatidão:

$$\text{Erro relativo} = \frac{\Delta v}{v_{0,A}} \cdot 100 = \frac{0,05}{2,27} \cdot 100 \approx 2,2\%$$

Logo, pode se concluir que a velocidade inicial na Parte C é cerca de 2,2% superior à velocidade inicial registada na Parte A, sendo um resultado positivo. Este erro pode dever-se ao facto de os sensores permitirem uma medição do tempo bastante precisa, levando a um erro da média muito menor em relação ao erro obtido na Parte C; uma outra hipótese é que numa das experiências tenha havido uma influência sistemática que não foi identificada. Por fim, algo que também pode justificar a menor velocidade no primeiro teste é a distância entre os sensores, pois a velocidade medida é a velocidade média entre estes, e tendo em conta que o objetivo é medir a velocidade instantânea assim que o projétil sai do lançador, o momento com maior velocidade, quanto maior for a distância em que se mede a velocidade, mais se afasta do valor pretendido.

Em relação à precisão da experiência, que consiste na proximidade dos ensaios, podemos concluir que foram precisos devido ao erro registrado ter sido de 0,09 m/s para uma velocidade de 2,56 m/s, que corresponde a 3,5%.

Já em relação à exatidão, referente à proximidade entre valor experimental e o valor “real” (valor da Parte A), um teste diz se exato se o erro relativo for inferior a 5%, e, tendo em conta que o erro relativo obtido foi de 2,2%, estando assim dentro do intervalo em que se pode considerar exato. Assim conclui-se que os resultados foram precisos e exatos.

6. Conclusões:

Os resultados obtidos permitiram confirmar as previsões teóricas do movimento de projéteis. A variação do alcance com o ângulo de lançamento mostrou comportamento consistente com o modelo ideal, atingindo valores ligeiramente inferiores a 45° . A determinação da velocidade inicial, tanto pelo método dos sensores quanto pelo pêndulo balístico, apresentou resultados coerentes entre si, demonstrando uma boa execução das experiências. **No geral, as experiências demonstraram boa concordância com a teoria, evidenciando a precisão dos métodos experimentais e a importância da análise integrada entre teoria e prática.**

7. Anexos

