

ATIVIDADE LABORATORIAL 1.1.

Movimento num plano inclinado: variação da energia cinética e distância percorrida

OBJETIVO GERAL

Estabelecer a relação entre variação de energia cinética e distância percorrida num plano inclinado e utilizar processos de medição e de tratamento estatístico de dados.

METAS ESPECÍFICAS

1. Identificar medições diretas e indiretas.
2. Realizar medições diretas usando balanças, escalas métricas e cronómetros digitais.
3. Indicar valores de medições diretas para uma única medição (massa, comprimento) e para um conjunto de medições efetuadas nas mesmas condições (intervalos de tempo).
4. Determinar o desvio percentual (incerteza relativa em percentagem) associado à medição de um intervalo de tempo.
5. Medir velocidades e energias cinéticas.
6. Construir o gráfico da variação da energia cinética em função da distância percorrida sobre uma rampa e concluir que a variação da energia cinética é tanto maior quanto maior for a distância percorrida.

EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

1. Considere um carrinho que desce um plano inclinado, com força de atrito desprezável. Identifique as forças que atuam sobre o carrinho.

As forças que atuam no carrinho são o peso e a reação normal.

No entanto, ele move-se apenas sob a ação do seu peso. A reação normal é anulada pela componente F_{gy} (a componente do peso na direção do eixo OY). A força responsável pelo movimento do carrinho é F_{gx} (a componente do peso na direção do eixo OX).

2. Indique o tipo de energia que carrinho tem quando se move ao longo de um plano inclinado.

Um corpo que se move ao longo de um plano inclinado tem energia cinética e energia potencial gravítica. A energia cinética de translação está associada ao movimento de translação do corpo e a energia potencial gravítica associada à posição do corpo relativamente à Terra.

3. Pretendendo-se determinar a energia cinética do carrinho, quais as grandezas que devem ser medidas? Classifique cada uma das medições a realizar como medições diretas ou indiretas.

Como:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Será necessário determinar-se:

- a massa (m) do corpo – recorrendo a uma balança.

- a velocidade (v) atingida pelo corpo num dado instante – recorrendo a uma régua ou craveira, célula fotoelétrica e digitímetro.

A medição da massa, do comprimento e do intervalo de tempo serão medições diretas enquanto a

medição da velocidade será indireta.

4. Explique o modo de funcionamento da célula fotoelétrica e qual a grandeza que esta permite medir.

Através da célula fotoelétrica e digitímetro pode-se determinar o intervalo de tempo durante o qual a "bandeira" do carrinho interrompe o feixe da célula.

Quando o feixe de luz é interrompido, pelo início da passagem da "bandeira" do carrinho, o digitímetro inicia a contagem do tempo e, logo que a "bandeira" passa o digitímetro para a contagem.

É assim possível determinar o intervalo de tempo Δt que o carrinho leva a completar um percurso de comprimento Δx_i (comprimento da "bandeira").

5. Como se pode determinar experimentalmente o valor da velocidade do carrinho no instante em que atravessa a célula fotoelétrica?

O valor da velocidade ao atravessar a célula fotoelétrica é determinado indiretamente, através da expressão:

$$v_m = \frac{\Delta x_i}{\Delta t_i}$$

Onde:

Δx_i , corresponde ao comprimento do objeto que interrompe o feixe da célula fotoelétrica;

Δt_i , o tempo registado pelo digitímetro correspondente a essa interrupção.

A velocidade assim medida corresponde a uma velocidade média que, sendo determinada num intervalo de tempo muito curto, é próxima da velocidade num dado instante.

Para que o intervalo de tempo seja reduzido poder-se-á colocar no carrinho uma espécie de "bandeira" com um comprimento muito reduzido que poderá ser feita com cartolina opaca (no caso de não existir essa peça anexa ao carrinho).

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

1. Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Digitímetro	Intervalo de tempo	$\pm 0,0001$ s
Balança	Massa	$\pm 0,01 \times 10^{-3}$ kg
Régua	Distância	$\pm 0,05 \times 10^{-2}$ m

Como a massa do carrinho e o intervalo de tempo são medidos em aparelhos digitais (a medida é indicada por um número), considera-se a incerteza absoluta igual a uma unidade do último dígito de leitura.

Como o comprimento da cartolina e a distância percorrida no plano são medidos com uma régua, que é um aparelho analógico, considera-se a incerteza absoluta igual a metade do valor da divisão menor da escala.

Supondo uma fita métrica com menor divisão da escala igual a 0,1 cm, a incerteza de leitura será 0,05 cm.

Tabela II – Variação da energia cinética em função da distância percorrida					
Massa do carrinho: $201,12 \times 10^{-3}$ kg $\pm 0,01 \times 10^{-3}$ kg					
Inclinação (θ): $19,5^\circ$					
Δx_i: $5,50 \times 10^{-2}$ m $\pm 0,05 \times 10^{-2}$ m					
Posição	d / m	Δt_i / s	Δt_i / s	v / m s ⁻¹	E _c / J
A	$22,00 \times 10^{-2}$	0,0590	0,0590	0,932	0,174

		0,0589	$\pm 0,2\%$		
		0,0591			
B	$42,00 \times 10^{-2}$	0,0429	0,0428	1,28	0,328
		0,0427	$\pm 0,2\%$		
		0,0427			
C	$62,00 \times 10^{-2}$	0,0355	0,0359	1,53	0,469
		0,0356	$\pm 2\%$		
		0,0366			
D	$82,00 \times 10^{-2}$	0,0314	0,0312	1,76	0,621
		0,0311	$\pm 0,6\%$		
		0,0311			
E	$102,00 \times 10^{-2}$	0,0282	0,0283	1,94	0,755
		0,0278	$\pm 2\%$		
		0,0288			

2. Determine a incerteza relativa, em percentagem, associada ao valor mais provável dos intervalos de tempo para cada posição.

Exemplo para os intervalos de tempo medidos na posição A

$$d_1 = |0,0590 - 0,0590| = 0,0000 \text{ s}$$

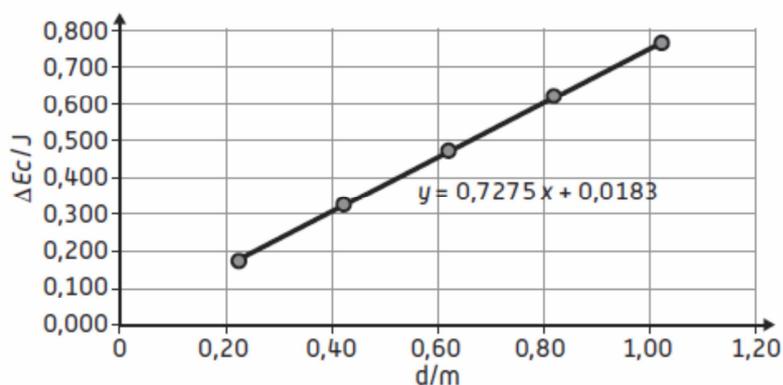
$$d_2 = |0,0589 - 0,0590| = 0,0001 \text{ s}$$

$$d_3 = |0,0591 - 0,0590| = 0,0001 \text{ s}$$

A incerteza absoluta será, 0,0001 s, pois é o maior dos desvios calculados e neste exemplo é ainda igual à incerteza de leitura.

$$\text{Incerteza relativa} = \frac{\text{incerteza absoluta}}{\text{valor médio de } \Delta t} \Rightarrow \text{Incerteza relativa} = \frac{0,0001}{0,0590} = 0,002 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{Incerteza relativa (\%)} = 0,2\%$$



3. Calcule os valores da velocidade do carrinho, ao atravessar a célula fotoelétrica, e da energia cinética do carrinho em cada posição.

4. Utilizando a calculadora gráfica ou uma folha de cálculo, trace o gráfico da variação da energia cinética do carrinho em função da distância percorrida na rampa e determine a equação da reta que melhor se ajusta ao conjunto de pontos experimentais.

5. Compare o gráfico obtido com o de outros grupos de trabalho.

QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS

1. Deduza a expressão que permite determinar teoricamente o declive da reta que se obtém ao traçar o gráfico da variação da energia cinética do carrinho em função da distância percorrida.

$$W_{\vec{F}_R} = W_{\vec{F}_g}$$

$$W_{\vec{F}_g} = F_g \cos \alpha \Delta r$$

Pelo teorema da energia cinética: $W_{\vec{F}_R} = \Delta E_c$

logo, $F_g \cos \alpha \Delta r = \Delta E_c$

Sendo o deslocamento, Δr , igual à distância percorrida, d , e considerando o gráfico de $\Delta E_c = f(d)$ então:

declive = $F_g \cos \alpha$

Em que: $\alpha = 90^\circ - \text{inclinação } (\theta)$

Sabendo que: $\cos \alpha = \text{sen } \theta$

Pode-se também obter: declive = $F_g \text{ sen } \theta$

Note-se que, como o carrinho é largado na rampa, $E_{c,i} = 0 \text{ J}$, logo o gráfico da energia cinética final do carrinho em função da distância percorrida seria igual ao gráfico da variação da energia cinética em função da distância percorrida: $F_g \cos \theta d = E_{c,f}$

2. Compare o declive da reta obtida (experimentalmente) com o valor previsto teoricamente, determinando o erro relativo em percentagem.

inclinação $(\theta) = 19,5^\circ$, logo $\alpha = 90^\circ - 19,5^\circ = 70,5^\circ$

declive = $F_g \cos \alpha = 201,12 \times 10^{-3} \times 10 \times \cos (70,5^\circ) = 0,671$

$$e_r = \frac{|\text{valor experimental} - \text{valor teórico}|}{\text{valor teórico}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow e_r = \frac{|0,728 - 0,671|}{0,671} = 0,085 = e_r = 8,5\%$$

3. Pela análise do gráfico, qual a relação entre a variação da energia cinética de translação do carrinho e a distância percorrida ao longo do plano inclinado?

O gráfico obtido é uma linha reta que passa na origem pelo que a variação da energia cinética do carrinho é diretamente proporcional à distância percorrida. Se a energia cinética inicial for nula, a energia cinética final também será diretamente proporcional à distância percorrida. Caso haja energia cinética inicial, diz-se apenas que a energia cinética final é proporcional à distância percorrida.

4. Aplicando uma velocidade inicial ao carrinho, o valor da energia cinética no final da rampa será diferente do encontrado? Justifique a sua resposta.

Sim.

$$F_g \cos \alpha d = E_{c,f} - E_{c,i}$$

Utilizando o mesmo plano inclinado e o mesmo corpo, a força gravítica, a distância percorrida e

o ângulo mantêm-se. Logo passando a existir velocidade inicial, temos energia cinética inicial e a energia cinética final será diferente, será acrescida da energia cinética inicial.

5. Preveja como será o gráfico da variação da energia cinética em função da distância percorrida se aumentarmos a massa do carrinho para o dobro.

A análise da expressão: $m g \cos \alpha d = \Delta E_c$ permite-nos concluir que o declive da reta corresponde a $m g \cos \alpha$. Assim, se a massa do carrinho aumentar para o dobro também o declive passa para o dobro, logo teremos uma reta com maior inclinação. Como a energia cinética passa para o dobro, para a mesma posição teremos valores maiores de energia cinética, por isso maior declive.

ATIVIDADE LABORATORIAL 1.2.

Movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola: transformações e transferências de energia

OBJETIVO GERAL

Investigar, com base em considerações energéticas (transformações e transferências de energia), o movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola.

METAS ESPECÍFICAS

1. Identificar transferências e transformações de energia no movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola.
2. Construir e interpretar o gráfico da primeira altura de ressalto em função da altura de queda, traçar a reta que melhor se ajusta aos dados experimentais e obter a sua equação.
3. Prever, a partir da equação da reta de regressão, a altura do primeiro ressalto para uma altura de queda não medida.
4. Obter as expressões do módulo da velocidade de chegada ao solo e do módulo da velocidade inicial do primeiro ressalto, em função das respectivas alturas, a partir da conservação da energia mecânica.
5. Calcular, para uma dada altura de queda, a diminuição da energia mecânica na colisão, exprimindo essa diminuição em percentagem.
6. Associar uma maior diminuição de energia mecânica numa colisão a menor elasticidade do par de materiais em colisão.
7. Comparar energias dissipadas na colisão de uma mesma bola com diferentes superfícies, ou de bolas diferentes na mesma superfície, a partir dos declives das retas de regressão de gráficos da altura de ressalto em função da altura de queda.

EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

1. Quando largamos uma bola de uma certa altura ela ressalta. A altura do ressalto será igual à altura de onde a largamos?

Não, uma vez que existe dissipação de energia, isto é, existe variação da energia mecânica, no embate com o solo.

2. Se largarmos uma bola de futebol e uma de basquetebol, da mesma altura, a altura do primeiro ressalto será igual em ambas as situações? Justifique a sua resposta.

As duas bolas apresentam diferente elasticidade, logo, a altura do primeiro ressalto será diferente. É mais próxima da altura de queda para a bola com maior elasticidade. Quanto maior for a elasticidade menor será a variação da energia mecânica da bola, pois haverá menor percentagem de energia dissipada.

3. Durante o movimento de queda e de ressalto de uma bola, considerando a resistência do ar desprezável, quais são as transformações e transferências de energia que ocorrem?

Durante a queda há transformação de energia potencial gravítica em energia cinética enquanto no ressalto há transformação de energia cinética em energia potencial gravítica.

Na colisão há transformação de energia mecânica em energia interna e há transferência de energia da bola para o solo.

4. Considerando a resistência do ar desprezável, indique se haverá conservação da energia mecânica da bola em cada um dos seguintes momentos:

- a) Durante a queda.
- b) Durante o ressalto.
- c) Durante a colisão com o solo.

Durante a queda da bola e durante o ressalto, desprezando a resistência do ar, a energia mecânica da bola não varia.

Quando a bola colide com o chão deforma-se, sendo parte da sua energia cinética transformada em energia interna e transferida para o solo e, por isso, a energia mecânica da bola diminui após o choque.

5. Como se pode proceder para estudar o movimento de queda e de ressalto de uma bola ao longo do tempo?

Para estudar o movimento de queda e ressalto de uma bola, ao longo do tempo, poder-se-á optar por um de dois procedimentos:

- deixar cair uma bola, usando um sistema de aquisição automático de dados;
- deixar cair uma bola sucessivamente de alturas diferentes medindo-se as alturas atingidas no primeiro ressalto.

No primeiro caso podemos utilizar um sensor de movimento que mede a distância do sensor ao topo da bola.

A partir da informação obtida através do sensor obtemos informação quanto à altura de queda da bola em relação ao solo e quanto à altura atingida no respetivo ressalto em relação ao solo.

No segundo caso, devem-se fazer pelo menos três medições para cada uma das alturas de queda e encontrar o valor mais provável da altura do primeiro ressalto e a incerteza associada.

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Alturas de queda e de ressalto para a bola 1	
Bola de basquetebol	
Altura de queda $h_{\text{queda}} / \text{m}$	Altura de ressalto $h_{\text{ressalto}} / \text{m}$
1,529	1,204
1,204	0,979
0,979	0,827
0,827	0,701
0,701	0,596
0,596	0,524

Tabela II – Alturas de queda e de ressalto para a bola 2	
Bola de futebol	
Altura de queda $h_{\text{queda}} / \text{m}$	Altura de ressalto $h_{\text{ressalto}} / \text{m}$
1,485	0,951
0,951	0,599
0,599	0,377
0,377	0,241

1. Construa um gráfico da primeira altura de ressalto em função da altura de queda, para cada uma das bolas utilizadas.

2. Trace a reta que melhor se ajusta aos resultados experimentais, obtendo a respetiva equação.

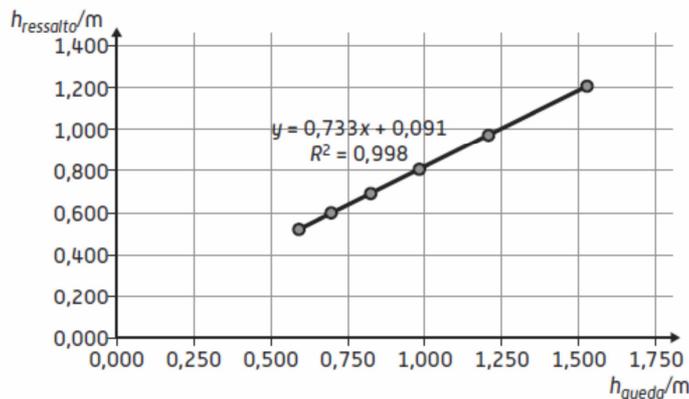


Gráfico 1: Bola de basquetebol

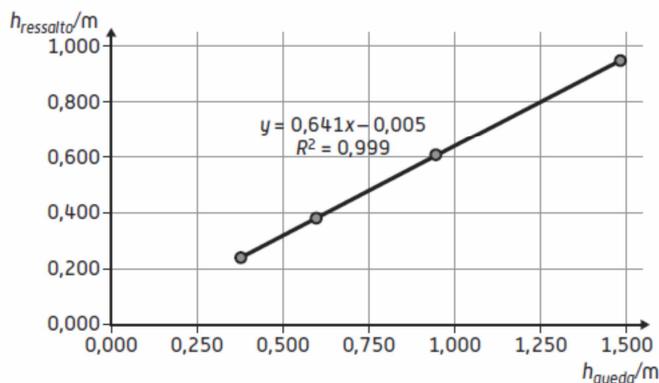


Gráfico 2: Bola de futebol

QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS

1. Partindo da conservação da energia mecânica, mostre que as expressões do módulo da velocidade de chegada ao solo ($v_{f, queda}$) e do módulo da velocidade inicial do primeiro ressalto ($v_{i, ressalto}$), em função das respetivas alturas, são $v_{f, queda} = \sqrt{2 g h_{queda}}$ e $v_{i, ressalto} = \sqrt{2 g h_{ressalto}}$ e obtenha a expressão que relaciona essas velocidades.

Na queda:

$$E_{m,i queda} = E_{m,f queda} \Leftrightarrow E_{c,i queda} + E_{p,i queda} = E_{c,f queda} + E_{p,f queda} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0 + m g h_{queda} = \frac{1}{2} m v_{f queda}^2 + 0 \Leftrightarrow v_{f queda} = \sqrt{2 g h_{queda}}$$

No ressalto:

$$E_{m,i ressalto} = E_{m,f ressalto} \Leftrightarrow E_{c,i ressalto} + E_{p,i ressalto} = E_{c,f ressalto} + E_{p,f ressalto} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0 + \frac{1}{2} m v_{i ressalto}^2 = m g h_{ressalto} + 0 \Leftrightarrow v_{i ressalto} = \sqrt{2 g h_{ressalto}}$$

Resulta que :

$$\frac{v_{i_{\text{ressalto}}}}{v_{f_{\text{queda}}}} = \frac{\sqrt{2 g h_{\text{ressalto}}}}{\sqrt{2 g h_{\text{queda}}}} = \frac{\sqrt{h_{\text{ressalto}}}}{\sqrt{h_{\text{queda}}}}$$

2. A que corresponde o declive da reta dos gráficos obtidos no tratamento de resultados e que conclusões podem tirar-se desse valor?

A equação da reta do gráfico da altura de ressalto em função da altura de queda corresponde a:

$$h_{\text{ressalto}} = m h_{\text{queda}} + b$$

Pelo que o declive é: $m = \frac{h_{\text{ressalto}}}{h_{\text{queda}}}$

Ou seja, corresponde ao quadrado do quociente entre a velocidade de chegada ao solo e a velocidade inicial do primeiro ressalto:

$$m = \left(\frac{v_{i_{\text{ressalto}}}}{v_{f_{\text{queda}}}} \right)^2.$$

Este valor permite averiguar a elasticidade do par de materiais em colisão, sendo tanto mais elástico quanto mais próximo de um for o declive da reta obtida.

3. Imaginando que as alturas de queda e de ressalto eram iguais, qual seria o valor do declive da reta do gráfico obtido no tratamento de resultados? Que significado teria esta situação sob o ponto de vista energético?

O valor do declive seria um, pois corresponde à inclinação máxima que esta reta pode apresentar. Neste caso, não haveria qualquer perda de energia mecânica da bola durante a colisão com o solo.

4. A partir da equação da reta de regressão preveja, para a bola 1, a altura do primeiro ressalto, considerando uma altura de queda de 3,0 m.

$$h_{\text{ressalto}} = 0,733 \times 3,0 - 0,091 = 2,3 \text{ m}$$

5. Determine a expressão que permite calcular, para uma dada altura de queda, a percentagem de energia mecânica dissipada durante a colisão das bolas com o solo.

$$\begin{aligned} \%E_{\text{dissipada}} &= \frac{E_{m,f_{\text{queda}}} - E_{m,i_{\text{ressalto}}}}{E_{m,f_{\text{queda}}}} \times 100 \Rightarrow \\ \Rightarrow \%E_{\text{dissipada}} &= \frac{m g h_{\text{queda}} - m g h_{\text{ressalto}}}{m g h_{\text{queda}}} \times 100 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \%E_{\text{dissipada}} &= \frac{h_{\text{queda}} - h_{\text{ressalto}}}{h_{\text{queda}}} \times 100 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \%E_{\text{dissipada}} &= \left(1 - \frac{h_{\text{ressalto}}}{h_{\text{queda}}} \right) \times 100 \Leftrightarrow \%E_{\text{dissipada}} = (1 - m) \times 100 \end{aligned}$$

Substituindo o valor do declive da reta obtida para cada bola pode determinar-se a energia dissipada durante a colisão.

Com a bola de basquetebol:

$$\%E_{dissipada} = (1 - 0,733) \times 100 = 26,7\%$$

Com a bola de futebol:

$$\%E_{dissipada} = (1 - 0,641) \times 100 = 35,9\%$$

6. Qual é a relação que existe entre a elasticidade das bolas e a percentagem de energia dissipada na colisão com o solo?

Quanto menor for a elasticidade da bola maior a diminuição de energia mecânica numa colisão, logo, maior a percentagem de energia dissipada.

7. Explique porque é que a altura atingida pela bola vai diminuindo nos sucessivos ressalto.

Em cada ressalto, existe dissipação de energia mecânica na interação entre a bola e o solo. Assim, a energia cinética com que a bola sai do solo no 2.º ressalto é inferior à energia cinética com que a bola chega ao solo, no ressalto anterior.

Considerando-se que existe conservação de energia mecânica quando a bola está no ar, a altura máxima atingida pela bola após cada ressalto terá de ser sucessivamente menor.

Ainda assim, a percentagem de energia dissipada em cada ressalto será sempre a mesma pois o par de materiais em colisão mantém-se.

ATIVIDADE LABORATORIAL 2.1.

Características de uma pilha

OBJETIVO GERAL

Determinar as características de uma pilha a partir da sua curva característica.

METAS ESPECÍFICAS

1. Medir diretamente uma força eletromotriz e justificar o procedimento.
2. Montar um circuito elétrico e efetuar medições de diferença de potencial elétrico e de corrente elétrica.
3. Construir e interpretar o gráfico da diferença de potencial elétrico nos terminais de uma pilha em função da corrente elétrica (curva característica), traçar a reta que melhor se ajusta aos dados experimentais e obter a sua equação.
4. Determinar a força eletromotriz e a resistência interna de um gerador a partir da equação da reta de ajuste.
5. Comparar a força eletromotriz e a resistência interna de uma pilha nova e de uma pilha velha.

EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

1. Que instrumento de medida deve ser usado para medir a força eletromotriz da pilha? Em que circunstâncias deve ser realizada esta medição?

O instrumento adequado à medição da força eletromotriz da pilha é o voltímetro. Esta medição deve ser realizada em circuito aberto de modo a não existir corrente elétrica no circuito, podendo-se desprezar a resistência interna da pilha na medição, pois, nestas circunstâncias: $U_{\text{útil pilha}} = \mathcal{E}_{\text{pilha}}$

2. Qual é o instrumento de medida que se deverá utilizar para medir a corrente que atravessa o circuito elétrico? Que tipo de corrente elétrica atravessa um circuito alimentado por uma pilha?

O instrumento adequado à medição da corrente elétrica no circuito é o amperímetro.

Como a pilha aplica uma tensão elétrica constante no circuito, a corrente elétrica que se estabelece é uma corrente contínua.

3. Como deverão ser associados no circuito os instrumentos de medição das grandezas anteriormente referidas? Que características deverão apresentar esses instrumentos para minimizarem a sua influência no circuito?

Como a corrente elétrica é a carga que atravessa o condutor por unidade de tempo, o amperímetro terá de ser instalado de tal modo que a corrente que se pretende medir o atravesse, ou seja, deverá ser instalado em série no local do circuito elétrico onde se pretende efetuar a medição.

A diferença de potencial elétrico existe entre os terminais de um elemento do circuito elétrico, pelo que os terminais do voltímetro terão de ser ligados a cada um desses terminais, logo, o voltímetro

terá de ser ligado em paralelo.

Estando o amperímetro associado em série, deverá apresentar uma resistência elétrica reduzida para não afetar a corrente elétrica do circuito, no entanto, um voltímetro deverá apresentar uma elevada resistência elétrica interna para impossibilitar a passagem de corrente elétrica por esta derivação ao circuito original, minimizando a alteração provocada pela sua instalação.

4. Para se obter a curva característica da pilha é necessário obter diferentes valores da tensão elétrica em função da corrente elétrica. Como se pode fazer variar a corrente elétrica que atravessa o circuito?

Se ao circuito elétrico se associar uma resistência variável, poderemos fazer variar a resistência elétrica do circuito variando também a corrente que atravessa o circuito.

5. A força eletromotriz e a resistência interna da pilha podem ser determinadas através da curva característica da pilha. Explique como se efetuam estas determinações.

A curva característica da pilha corresponde à curva da função $U_{AB} = f(I)$.

Esta função será aproximadamente linear podendo determinar-se a reta de ajuste aos valores usados na construção do gráfico da função $U_{AB} = f(I)$.

Esta função corresponderá à expressão: $U_{AB} = \varepsilon_{pilha} - R_{i\ pilha} I$.

Assim, a força eletromotriz da pilha corresponderá à ordenada na origem e o módulo do declive da reta à resistência interna da pilha.

6. O valor da resistência aplicada ao circuito, através do reóstato, deve ser controlado. Justifique este facto.

A resistência elétrica limita a corrente num circuito. Para valores elevados de corrente elétrica a curva do gráfico $U_{AB} = f(I)$ deixa de ser linear, revelando uma rápida diminuição da tensão elétrica. De modo a controlar o valor máximo da corrente elétrica no circuito, para evitar esta variação não linear e para não “gastar” rapidamente a pilha, deve controlar-se a resistência aplicada ao circuito.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Voltímetro	Diferença de potencial elétrico	$\pm 0,0001$ V
Amperímetro	Corrente elétrica	$\pm 0,00001$ A

Trata-se de instrumentos digitais em que a incerteza de leitura coincide com o valor mínimo que o instrumento consegue medir.

Tabela II – Registo de resultados obtidos para uma pilha nova		
$E_{i,pilha} = 9,6199$ V $\pm 0,0001$ V $E_{f,pilha} = 9,5970$ V $\pm 0,0001$ V		
Registo	U_{AB} / V	I / A
1	9,6046	0,00206
2	9,6030	0,00226

3	9,6019	0,00246
4	9,6014	0,00287
5	9,6000	0,00316
6	9,5980	0,00365
7	9,5974	0,00438
8	9,5969	0,00502
9	9,5958	0,00599
10	9,5862	0,00759
11	9,5806	0,01005
12	9,5677	0,01546
13	9,5480	0,02040

Tabela III – Registo de resultados obtidos para uma pilha usada		
$E_{i,pilha} = 5,0069 \text{ V} \pm 0,0001 \text{ V}$		$E_{f,pilha} = 3,5630 \text{ V} \pm 0,0001 \text{ V}$
Registo	U_{AB} / V	I / A
1	3,6600	0,01063
2	3,5815	0,01164
3	3,5254	0,01232
4	3,4805	0,01334
5	3,4580	0,01402
6	3,4187	0,01503
7	3,3391	0,01639
8	3,3402	0,01809
9	3,2728	0,02046
10	3,1662	0,02487
11	2,8800	0,03741

1. Construa o gráfico $U_{AB} = f(I)$, ou seja, da diferença de potencial elétrico entre os terminais da pilha (pontos A e B) em função da corrente elétrica no circuito;

2. Trace a reta que melhor se ajusta aos dados experimentais, obtendo a respetiva equação.

Gráfico I: Gráfico da diferença de potencial elétrico entre os terminais da pilha nova em função da corrente elétrica no circuito.

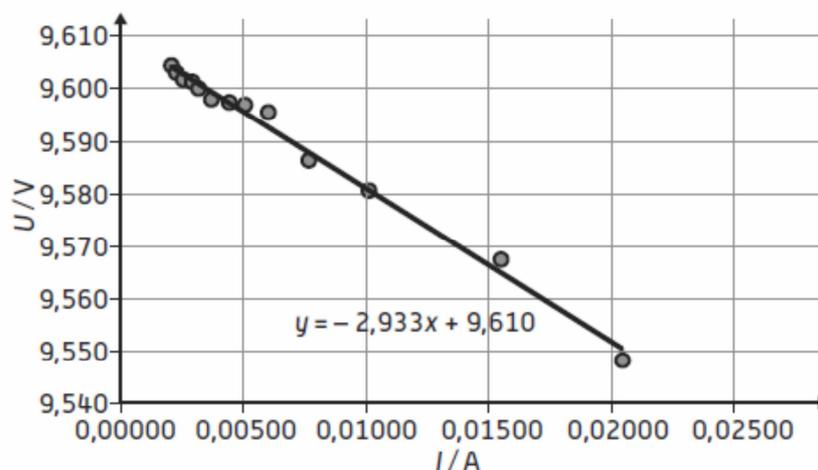
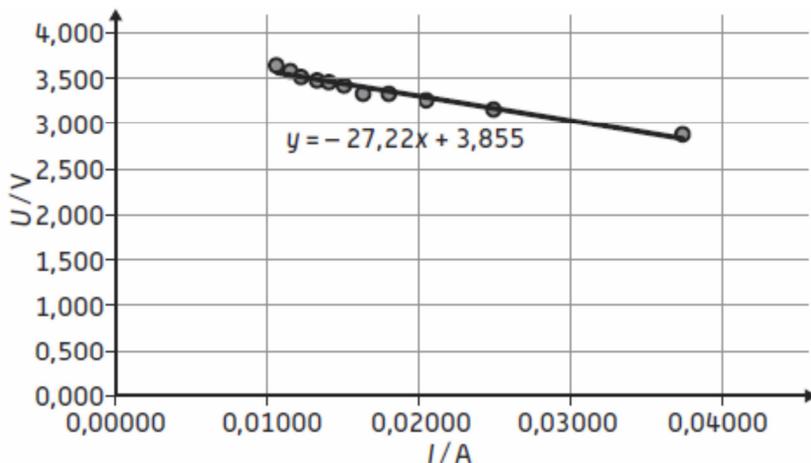


Gráfico II: Gráfico da diferença de potencial elétrico entre os terminais da pilha usada em função da corrente elétrica no circuito.



QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS

1. Indique, com base nos resultados experimentais, qual é a equação da curva característica de cada uma das pilhas.

A curva característica de uma pilha corresponde à equação da reta que traduz a função:

$U_{AB} = f(I)$. Assim, para cada pilha será a reta de ajuste aos respetivos dados experimentais, ou seja:

$$y = a + bx$$

Com:

$y = U_{AB}$, tensão nos terminais da pilha;

$a = \varepsilon_{pilha}$, força eletromotriz da pilha;

$b = -R_{i,pilha}$, módulo da resistência interna da pilha;

$x = I$, corrente elétrica que atravessa a pilha.

Então: $U_{AB} = \varepsilon_{pilha} - R_{i,pilha} I$

Para a pilha nova: $U_{AB} = 9,610 - 2,933 I$

Para a pilha usada: $U_{AB} = 3,855 - 27,22 I$

2. Com base na curva característica de cada uma das pilhas, indique o valor da força eletromotriz e da resistência interna das pilhas.

Na pilha nova: $\varepsilon_{pilha} = 9,610 \text{ V}$ e $R_{i,pilha} = 2,933 \Omega$

Na pilha usada: $\varepsilon_{pilha} = 3,855 \text{ V}$ e $R_{i,pilha} = 27,22 \Omega$

3. Compare os valores da força eletromotriz da pilha nova e da pilha usada, com base na curva característica de cada pilha.

O valor da força eletromotriz da pilha usada é menor pois, com a utilização da pilha, existirá uma alteração da componente eletroquímica desta diminuindo a diferença de potencial elétrico entre os seus terminais.

4. Com base na curva característica de cada pilha, o que é que acontece à resistência interna de uma pilha à medida que vai sendo utilizada?

A resistência interna aumenta com a utilização.

5. Usando a curva característica, determine a tensão elétrica entre os pontos A e B para um valor de corrente

elétrica previamente escolhido, de acordo com as condições experimentais.

Selecionar um valor intermédio de corrente elétrica, entre os valores máximo e mínimo obtidos experimentalmente, e substituir na equação da reta obtida anteriormente:

$$U_{AB} = \varepsilon_{pilha} - R_{i,pilha} I.$$

Por exemplo, no caso da pilha nova, se a corrente elétrica que atravessa o circuito for 0,00700 A, então, a tensão elétrica nos terminais da pilha seria:

$$U_{AB} = 9,610 - 2,933 I \Leftrightarrow U_{AB} = 9,610 - 2,933 \times 0,00700 \Leftrightarrow U_{AB} = 9,589 \text{ V}$$

6. Em que condições a pilha transforma mais energia, ou seja, se gasta mais facilmente?

A potência elétrica da pilha é máxima quando a pilha é nova, uma vez que apresenta menor resistência interna, e quando a resistência do circuito é próxima da resistência interna da própria pilha, pois nessas circunstâncias a potência, dada pelo produto $U \times I$, é máxima.

ATIVIDADE LABORATORIAL 3.1.

Radiação e potência elétrica de um painel fotovoltaico

OBJETIVO GERAL

Investigar a influência da irradiância e da diferença de potencial elétrico no rendimento de um painel fotovoltaico.

METAS ESPECÍFICAS

1. Associar a conversão fotovoltaica a transferência de energia da luz solar para um painel fotovoltaico que se manifesta no aparecimento de uma diferença de potencial elétrico nos seus terminais.
2. Montar um circuito elétrico e efetuar medições de diferença de potencial elétrico e de corrente elétrica.
3. Determinar a potência elétrica fornecida por um painel fotovoltaico.
4. Investigar o efeito da variação da irradiância na potência do painel, concluindo qual é a melhor orientação de um painel fotovoltaico de modo a maximizar a sua potência.
5. Construir e interpretar o gráfico da potência elétrica em função da diferença de potencial elétrico nos terminais de um painel fotovoltaico, determinando a diferença de potencial elétrico que otimiza o seu rendimento.

EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

1. Qual é a transformação fundamental de energia que ocorre num painel fotovoltaico?

Nos painéis fotovoltaicos a energia solar é transformada em energia elétrica.

2. Pretendendo-se determinar a potência elétrica fornecida por um painel fotovoltaico, quais as grandezas que devem ser medidas?

Como $P = U I$, será necessário medir a diferença de potencial (U) nas extremidades do recetor e a corrente elétrica (I) que percorre o circuito.

3. Como se pode medir a corrente elétrica que percorre o circuito e a diferença de potencial elétrico entre as extremidades do recetor?

Um amperímetro, instalado em série no circuito principal, mede a corrente elétrica que percorre esse circuito, enquanto um voltímetro, instalado em paralelo com o recetor, determina a diferença de potencial nas extremidades do mesmo. Note-se que a diferença de potencial nas extremidades do recetor é igual à tensão de saída do painel, uma vez que se trata de uma montagem em série e não existem outros elementos no circuito.

4. O que se deve fazer para estudar o efeito da irradiância no rendimento de um painel fotovoltaico?

Para estudar o modo como a irradiância influencia a potência útil do painel, pode-se variar a distância da lâmpada ou a inclinação do painel.

5. E para estudar o efeito da tensão de saída do painel no rendimento do mesmo, como proceder?

O efeito da tensão de saída do painel no rendimento do mesmo pode ser analisado recorrendo a um reóstato (resistor de resistência variável).

6. Quais as variáveis que devem ser controladas em cada um dos ensaios?

Deve-se estudar cada um dos fatores separadamente, mantendo constante todos os outros. Por exemplo, ao variar a intensidade luminosa deve manter-se constante a inclinação do painel face à radiação.

Em todos os ensaios deve ter-se sempre o cuidado de manter a distância da fonte de luz à célula e usar sempre a mesma fonte de luz.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

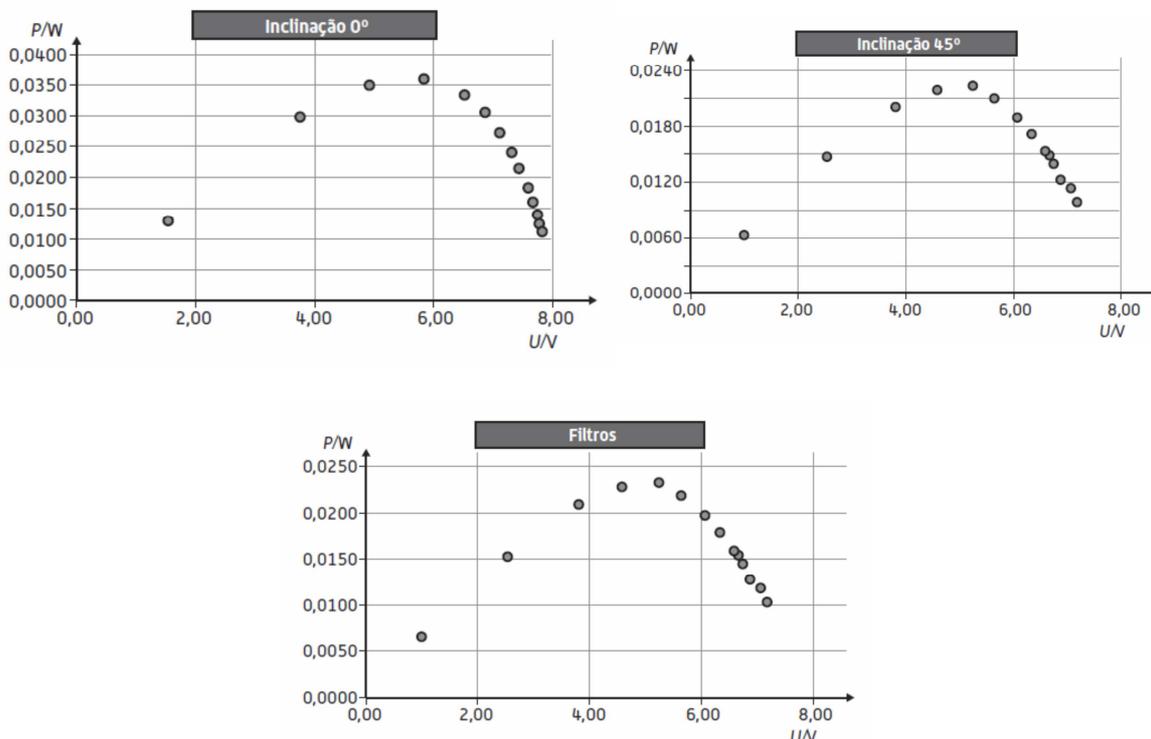
Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Voltímetro	Diferença de potencial elétrico	$\pm 0,01$ V
Amperímetro	Corrente elétrica	$\pm 0,01$ mA

Tabela II – Influência da tensão elétrica fornecida pelo painel								
Incidência perpendicular			Incidência 45°			Filtro		
U / V	I / A	P / W	U / V	I / A	P / W	U / V	I / A	P / W
1,52	$8,54 \times 10^{-3}$	0,0130	0,97	$6,45 \times 10^{-3}$	0,00623	0,99	$6,40 \times 10^{-3}$	0,00632
3,76	$7,92 \times 10^{-3}$	0,0297	2,58	$5,91 \times 10^{-3}$	0,0153	2,50	$5,80 \times 10^{-3}$	0,0145
4,93	$7,08 \times 10^{-3}$	0,0349	3,82	$5,34 \times 10^{-3}$	0,0204	3,80	$5,20 \times 10^{-3}$	0,0198
5,84	$6,12 \times 10^{-3}$	0,0357	4,61	$4,81 \times 10^{-3}$	0,0222	4,55	$4,75 \times 10^{-3}$	0,0216
U / V	I / A	P / W	U / V	I / A	P / W	U / V	I / A	P / W
6,54	$5,08 \times 10^{-3}$	0,0332	5,24	$4,28 \times 10^{-3}$	0,0224	5,20	$4,26 \times 10^{-3}$	0,0222
6,87	$4,43 \times 10^{-3}$	0,0304	5,74	$3,75 \times 10^{-3}$	0,0215	5,61	$3,70 \times 10^{-3}$	0,0208
7,12	$3,82 \times 10^{-3}$	0,0272	6,16	$3,21 \times 10^{-3}$	0,0198	6,02	$3,12 \times 10^{-3}$	0,0188
7,33	$3,26 \times 10^{-3}$	0,0239	6,39	$2,88 \times 10^{-3}$	0,0184	6,28	$2,70 \times 10^{-3}$	0,0170
7,44	$2,90 \times 10^{-3}$	0,0216	6,63	$2,49 \times 10^{-3}$	0,0165	6,52	$2,32 \times 10^{-3}$	0,0151
7,59	$2,40 \times 10^{-3}$	0,0182	6,76	$2,25 \times 10^{-3}$	0,0152	6,60	$2,20 \times 10^{-3}$	0,0145
7,68	$2,10 \times 10^{-3}$	0,0161	6,85	$2,07 \times 10^{-3}$	0,0142	6,70	$2,05 \times 10^{-3}$	0,0137
7,75	$1,82 \times 10^{-3}$	0,0141	6,96	$1,85 \times 10^{-3}$	0,0129	6,82	$1,78 \times 10^{-3}$	0,0121
7,80	$1,60 \times 10^{-3}$	0,0125	7,06	$1,66 \times 10^{-3}$	0,0117	7,00	$1,60 \times 10^{-3}$	0,0112
7,84	$1,45 \times 10^{-3}$	0,0114	7,14	$1,45 \times 10^{-3}$	0,0104	7,10	$1,38 \times 10^{-3}$	0,00980

1. Determine os valores da potência elétrica fornecida pelo painel fotovoltaico ao circuito, registando-os na tabela II.

2. Utilizando a calculadora gráfica ou uma folha de cálculo, trace os gráficos da potência elétrica fornecida ao circuito em função da tensão de saída do painel.



3. Compare os gráficos obtidos com os de outros grupos de trabalho.

QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS

1. Da análise dos gráficos da potência elétrica em função da diferença de potencial elétrica fornecida, indique o valor da tensão de saída que maximiza a potência fornecida pelo painel fotovoltaico, associando-lhe a respetiva incerteza de leitura em cada situação.

Deve procurar-se a abcissa do ponto de inflexão do gráfico $P = f(U)$.

Gráfico 1: $U = 5,84 \pm 0,01$ V

Gráfico 2: $U = 5,24 \pm 0,01$ V

Gráfico 3: $U = 5,20 \pm 0,01$ V

Nota: Quando os valores próximos da potência elétrica máxima são muito próximos, deve-se decidir por um valor médio de tensão de saída que maximiza a potência fornecida pelo painel fotovoltaico.

2. Identifique o valor máximo da potência elétrica fornecida pelo painel fotovoltaico ao circuito elétrico em cada situação.

Deve procurar-se a ordenada do ponto de inflexão do gráfico $P = f(U)$.

Gráfico 1: $P = 0,0357$ W

Gráfico 2: $P = 0,0224$ W

Gráfico 3: $P = 0,0222$ W

3. Comparando o valor máximo da potência elétrica fornecida pelo painel fotovoltaico para um incidência perpendicular ou com uma inclinação de 45° , a que conclusões chega? Qual é a inclinação que maximiza o rendimento do painel?

Os painéis devem estar orientados de modo a receberem o máximo de radiação incidente, sendo por vezes instalados em suportes móveis mudando de posição ao longo do dia para melhor receberem a radiação solar. Assim, para maximizar o rendimento de um painel fotovoltaico os raios devem incidir perpendicularmente ao painel.

4. Qual é o efeito dos filtros entrepostos entre a fonte de luz e o painel na potência elétrica fornecida ao circuito e, conseqüentemente, no seu rendimento?

A interposição de filtros entre a fonte de luz e o painel faz diminuir o rendimento deste, uma vez que reduz intensidade de luz incidente.

ATIVIDADE LABORATORIAL 3.2.

Capacidade térmica mássica

OBJETIVO GERAL

Determinar a capacidade térmica mássica de um material.

METAS ESPECÍFICAS

1. Identificar transferências de energia.
2. Estabelecer balanços energéticos em sistemas termodinâmicos, identificando as parcelas que correspondem a energia útil e a energia dissipada.
3. Medir temperaturas e energias fornecidas, ao longo do tempo, num processo de aquecimento.
4. Construir e interpretar o gráfico da variação de temperatura de um material em função da energia fornecida, traçar a reta que melhor se ajusta aos dados experimentais e obter a sua equação.
5. Determinar a capacidade térmica mássica do material a partir da reta de ajuste e avaliar a exatidão do resultado a partir do erro percentual.

EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

1. Que grandezas se devem medir para determinar a energia dissipada pela resistência elétrica de aquecimento durante o intervalo de tempo em que está ligada?

Como $E = U I \Delta t$, é necessário medir I , U e Δt usando, respetivamente, um amperímetro, colocado em série no circuito principal, um voltímetro, em paralelo com a resistência elétrica de aquecimento, e um cronómetro.

2. Para determinar a capacidade térmica mássica de uma substância, que grandezas é necessário medir para além da energia fornecida?

Como: $E = m c \Delta T$, para calcular a capacidade térmica mássica do material do bloco, e é necessário medir a massa, m , do bloco, com uma balança digital e a elevação de temperatura ΔT do bloco, com um termómetro ou um sensor de temperatura.

3. Uma resistência elétrica de aquecimento foi colocada na cavidade de um bloco cilíndrico metálico. Faça uma previsão da evolução da temperatura do metal, no intervalo de tempo em que a resistência esteve ligada e imediatamente após ser desligada.

Enquanto a resistência elétrica de aquecimento estiver ligada a temperatura deverá aumentar com o decorrer do tempo. Imediatamente após ser desligada a temperatura do metal continuará a aumentar ligeiramente devido à condução de calor que ainda ocorre do orifício que contém a resistência elétrica de aquecimento para o orifício que contém o sensor de temperatura. Só depois é que a temperatura deverá diminuir em virtude da emissão de radiação pelo corpo. A emissão de radiação ocorre sempre, o que pode justificar a dissipação de energia que ocorre durante o aquecimento e o arrefecimento gradual depois da resistência elétrica de aquecimento ser desligada.

4. Que processo(s) de transferência de energia ocorre(m) entre a resistência elétrica de aquecimento, o bloco e o ar que o rodeia?

Transferência de energia sob a forma de calor, por condução entre a resistência elétrica de aquecimento e o bloco e por condução e radiação entre o bloco e o meio envolvente, embora a transferência de energia por condução não seja muito significativa, uma vez que o ar é um mau condutor térmico.

5. Como se poderá proceder experimentalmente para minimizar a dissipação de energia do bloco?

Deve isolar-se o bloco para evitar perdas de energia para a vizinhança.

Colocar glicerina nos orifícios onde se vai introduzir a resistência elétrica de aquecimento e o sensor de temperatura para facilitar o contacto térmico.

Nunca escolher tempos de aquecimentos muito longos, pois isso leva a que haja maior dissipação de energia.

6. Repetindo a experiência com blocos de diferentes materiais, com o objetivo de determinar a capacidade térmica desses materiais, quais as variáveis que se devem controlar em cada um dos ensaios?

É necessário controlar a resistência elétrica e as características do circuito elétrico bem como a temperatura inicial e final.

7. Se os blocos calorimétricos de diferentes materiais forem aquecidos com a mesma fonte de energia até sofrerem a mesma elevação de temperatura, qual deles demorará mais tempo a aquecer? Justifique a resposta.

O material que apresentar maior valor de capacidade térmica mássica, pois precisará de mais energia para provocar a mesma variação de temperatura e mais tempo para que essa energia seja fornecida.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Voltímetro	Diferença de potencial elétrico	$\pm 0,0001$ V
Amperímetro	Corrente elétrica	$\pm 0,0001$ A
Termómetro	Temperatura	$\pm 0,5$ °C
Cronómetro	Tempo	$\pm 0,1$ s
Balança digital	Massa	$\pm 0,001 \times 10^{-3}$ kg

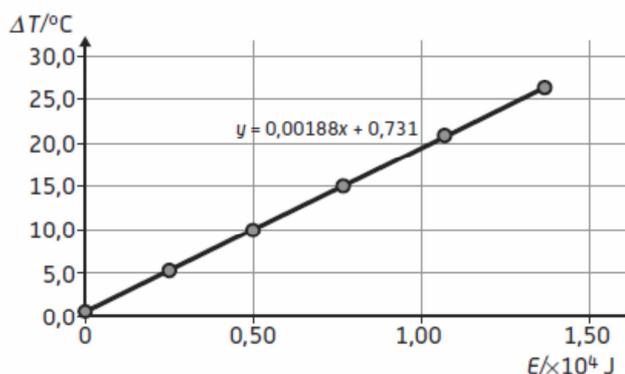
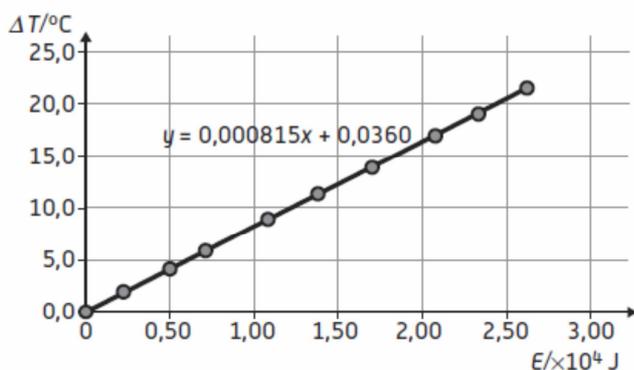
Tabela II – Variação da temperatura do bloco calorimétrico cilíndrico em função da energia fornecida					
Massa do bloco: $1,032 \text{ kg} \pm 0,001 \times 10^{-3} \text{ kg}$ Temperatura inicial: $26,0 \text{ °C} \pm 0,5 \text{ °C}$ Material do bloco: Alumínio					
t / s	T / °C	U / V	I / A	DT / °C	E / J
0	26,0	9,69	3,69	0,0	0,00
60	28,0	9,87	3,82	2,0	$2,23 \times 10^3$
120	30,0	10,37	4,00	4,0	$4,98 \times 10^3$

180	32,0	10,55	4,11	6,0	$7,08 \times 10^3$
240	35,0	10,75	4,19	9,0	$1,08 \times 10^4$
300	37,0	10,84	4,27	11,0	$1,39 \times 10^4$
360	40,0	10,93	4,32	14,0	$1,70 \times 10^4$
420	42,5	11,02	4,35	16,5	$2,01 \times 10^4$
480	45,0	11,08	4,38	19,0	$2,33 \times 10^4$
540	48,0	11,10	4,39	22,0	$2,63 \times 10^4$

Massa do bloco: $1,028 \text{ kg} \pm 0,01 \times 10^{-3} \text{ kg}$ Temperatura inicial: $26,0 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ Material do bloco: Cobre					
t / s	T / °C	U / V	I / A	DT / °C	E / J
0	26,0	9,64	3,71	0,0	0,00
60	32,0	10,06	3,89	6,0	$2,35 \times 10^3$
120	36,0	10,28	3,99	10,0	$4,92 \times 10^3$
180	41,0	10,37	4,08	15,0	$7,62 \times 10^3$
240	47,0	10,55	4,17	21,0	$1,06 \times 10^4$
300	52,0	10,70	4,23	26,0	$1,36 \times 10^4$

1. Complete a tabela II com os valores de variação de temperatura e da energia fornecida pela resistência elétrica de aquecimento ao bloco.

2. Utilizando a calculadora gráfica ou uma folha de cálculo, trace o gráfico da variação da temperatura do bloco em função da energia fornecida e determine a equação da reta que melhor se ajusta ao conjunto de pontos experimentais.



QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS

1. Deduza a expressão que permite determinar teoricamente o declive da reta que se obtém ao traçar o gráfico da variação da temperatura do bloco em função da energia fornecida pela resistência de aquecimento.

$$E = m c \Delta T \Leftrightarrow \Delta T = \frac{1}{m c} E$$

Sendo o gráfico de $\Delta T = f(E)$ então o declive será igual:

$$\text{declive} = \frac{1}{m c} = \frac{1}{C}$$

onde C é capacidade térmica e relaciona-se com a capacidade térmica mássica pela expressão

$$C = m c.$$

2. Calcule o valor da capacidade térmica (C) e da capacidade térmica mássica (c) do bloco.

Alumínio

$$\text{declive} = \frac{1}{C} \Leftrightarrow C = \frac{1}{\text{declive}} \Rightarrow C = \frac{1}{0,000815} = 1,23 \times 10^3 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{e } c = \frac{C}{m}, \text{ ou seja,}$$

$$c = \frac{1}{m \times \text{declive}} \Rightarrow c = \frac{1}{1,032 \times 0,000815} \Leftrightarrow c = 1,19 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Cobre

$$\text{declive} = \frac{1}{C} \Leftrightarrow C = \frac{1}{\text{declive}} \Rightarrow C = \frac{1}{0,00188} = 5,32 \times 10^2 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{e } c = \frac{C}{m}, \text{ ou seja,}$$

$$c = \frac{1}{m \times \text{declive}} \Rightarrow c = \frac{1}{1,028 \times 0,00188} \Leftrightarrow c = 5,17 \times 10^2 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

3. Compare o valor obtido experimentalmente com o valor tabelado para a capacidade térmica mássica, determinando o erro relativo em percentagem. A que pode ser devida esta diferença?

Alumínio

$$e_r = \frac{|\text{valor experimental} - \text{valor teórico}|}{\text{valor teórico}} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow e_r = \frac{|1,19 \times 10^3 - 900|}{900} = 0,322 \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow e_r = 32,2\%$$

Cobre

$$e_r = \frac{|\text{valor experimental} - \text{valor teórico}|}{\text{valor teórico}} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow e_r = \frac{|5,17 \times 10^2 - 387|}{387} = 0,336 \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow e = 33,6\%$$

A diferença entre o valor obtido experimentalmente e o valor tabelado deve-se ao facto de nesta experiência se considerar que toda a energia fornecida pela resistência de aquecimento é aproveitada pelo bloco para elevar a sua temperatura, no entanto, embora se tenha usado glicerina para minimizar as perdas de energia, há sempre perdas de calor para a vizinhança do sistema, havendo por isso dissipação de energia.

Para além disso, os valores tabelados dizem respeito a substâncias puras ou ligas isentas de impurezas, não sendo os blocos isentos de impurezas, os resultados serão com certeza afetados. Note-se que um baixo erro percentual corresponde a uma medição exata. A exatidão dessa medição também pode ser afetada por uma deficiente calibração dos instrumentos de medida utilizados.

4. Que diferenças se observariam nos gráficos obtidos com blocos cilíndricos diferentes? Compare o resultado com os diferentes grupos e tire as respetivas conclusões.

Quanto maior a capacidade térmica mássica do material menor o declive da reta, o que significa que para a mesma energia fornecida a variação de temperatura é menor ou que para provocar a mesma variação de temperatura a energia fornecida deverá ser maior, o que levará mais tempo a aquecer.

5. Se repetisse a experiência com blocos de materiais diferentes, mantendo constantes as condições da experiência, qual dos blocos apresentaria maior temperatura final? Justifique a sua resposta.

A elevação de temperatura que cada material sofre, sendo-lhe fornecida a mesma quantidade de energia, é tanto maior quanto menor o valor da capacidade térmica mássica, uma vez que dependendo da constituição do material, há materiais que sofrem diferentes variações de temperatura, comparativamente com outros materiais, quando no mesmo intervalo de tempo lhes é fornecida a mesma quantidade de energia. A capacidade térmica mássica permite-nos saber se o material tem alta ou baixa capacidade de absorver energia.

ATIVIDADE LABORATORIAL 3.3.

Balanco energético num sistema termodinâmico

OBJETIVO GERAL

Estabelecer balanços energéticos e determinar a entalpia de fusão do gelo.

METAS ESPECÍFICAS

1. Prever a temperatura final da mistura de duas massas de água a temperaturas diferentes e comparar com o valor obtido experimentalmente.
2. Medir massas e temperaturas.
3. Estabelecer balanços energéticos em sistemas termodinâmicos aplicando a Lei da Conservação da Energia, interpretando o sinal positivo ou negativo da variação da energia interna do sistema.
4. Medir a entalpia de fusão do gelo e avaliar a exatidão do resultado a partir do erro percentual.

EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

1. Qual é o principal mecanismo de transferência de energia que ocorre quando se misturam duas massas de água a temperaturas iniciais diferentes?

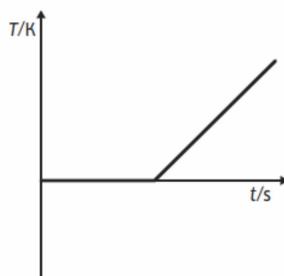
Transferência de energia sob a forma de calor, por condução e convecção, da água a maior temperatura para a água a menor temperatura.

2. Obtenha a expressão da temperatura final da mistura de duas massas de água m_1 e m_2 , com temperaturas iniciais diferentes, respetivamente, T_1 e T_2 , sabendo que m_1 é quatro vezes maior do que de m_2 e T_2 é 20 °C superior a T_1 . Considere desprezáveis as transferências de energia com o meio envolvente.

A temperatura final deverá ser igual para as duas massas de água e terá um valor intermédio das duas temperaturas iniciais. No entanto, não será uma temperatura média pois trata-se de massas diferentes logo a temperatura final deverá ser mais próxima da temperatura inicial da água com maior massa, a qual necessita de mais energia para variar a temperatura.

$$\begin{aligned}\Delta E &= 0 \Leftrightarrow \Delta E_{\text{água fria}} = -\Delta E_{\text{água quente}} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow m_1 c \Delta T_1 = -m_2 c \Delta T_2 \Rightarrow \\ &\Rightarrow m_1 \Delta T_1 = -m_2 \Delta T_2 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow 4 m_2 (T_f - T_1) = -m_2 (T_f - (T_1 + 20)) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow 4 T_f - 4 T_1 = -T_f + T_1 + 20 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow 5 T_f = 5 T_1 + 20 \Leftrightarrow T_f = \frac{5 T_1 + 20}{5} \text{ °C}\end{aligned}$$

3. Considere um recipiente com água à temperatura ambiente, à qual se adicionou água no estado sólido (um cubo de gelo), a uma temperatura de 0 °C. Apresente um esboço do perfil do gráfico da temperatura da água, inicialmente no estado sólido, em função do tempo, $T = f(t)$, até que esta atinja o equilíbrio térmico.



4. Relativamente à questão anterior, a energia que é fornecida ao cubo de gelo, sob a forma de calor, apresenta duas parcelas. Identifique-as.

A primeira parcela corresponde à energia necessária à fusão do gelo e a segunda à energia necessária à elevação da temperatura já no estado líquido, desde os 0 °C até ser atingido o equilíbrio térmico.

5. Quando um cubo de gelo, à temperatura de fusão, é adicionado a uma bebida, à temperatura ambiente, de onde provém a energia utilizada para fundir o cubo de gelo?

É transferida energia da bebida para o cubo de gelo.

6. Na realização desta atividade sugere-se a utilização de um calorímetro, recipiente de paredes finas envolvido por outro recipiente de paredes mais grossas e isolantes. Qual a finalidade do uso deste equipamento na atividade?

O calorímetro evita transferências de energia, sob a forma de calor, entre o mesmo e o meio ambiente, aproximando o sistema em estudo de um sistema isolado.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Termómetro	Temperatura	$\pm 0,5^\circ\text{C}$
Balança digital	Massa	$\pm 0,01 \times 10^{-3} \text{ kg}$

Tabela II – Registo dos resultados da mistura de duas massas de água			
	$m_{\text{água}} / \text{kg}$	$T_i / ^\circ\text{C}$	$T_f / ^\circ\text{C}$
Água fria	$120,72 \times 10^{-3}$	24,5	27,8
Água quente	$30,50 \times 10^{-3}$	44,8	

Tabela III – Registo de resultados da mistura de água com gelo			
	$m_{\text{água}} / \text{kg}$	$T_i / ^\circ\text{C}$	$T_f / ^\circ\text{C}$
Água quente	$120,17 \times 10^{-3}$	45,4	23,2
Gelo	$20,66 \times 10^{-3}$	0,0	

1. Efetue o balanço energético para cada uma das duas massas de água, identificando os sistemas que recebem e que fornecem energia.

$$\begin{aligned}\Delta E_{\text{água quente}} &= m c \Delta T \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta E_{\text{água quente}} &= 30,50 \times 10^{-3} \times 4186 \times (27,8 - 44,8) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \Delta E_{\text{água quente}} &= -2,17 \times 10^3 \text{ J}\end{aligned}$$

$T_f < T_i$ porque a água quente cede energia, sob a forma de calor, à água fria, por se encontrar a maior temperatura, conseqüentemente, a variação de energia interna da água quente será negativa

$$\begin{aligned}\Delta E_{\text{água fria}} &= m c \Delta T \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta E_{\text{água fria}} &= 120,72 \times 10^{-3} \times 4186 \times (27,8 - 24,5) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \Delta E_{\text{água fria}} &= 1,67 \times 10^3 \text{ J}\end{aligned}$$

$T_f > T_i$, atendendo a que a água fria recebe energia sob a forma de calor até se atingir o equilíbrio térmico. Conseqüentemente, a variação de energia interna da água fria será positiva.

2. Determine a energia transferida para o gelo a 0 °C, considerando o sistema isolado.

$$\begin{aligned}\Delta E &= 0 \Leftrightarrow \Delta E_{\text{gelo}} + \Delta E_{\text{água}} = 0 \Leftrightarrow \Delta E_{\text{gelo}} = -\Delta E_{\text{água}} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \Delta E_{\text{gelo}} &= -m c \Delta T_{\text{água}} \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta E_{\text{gelo}} &= -120,17 \times 10^{-3} \times 4186 \times (23,2 - 45,4) = 1,12 \times 10^4 \text{ J}\end{aligned}$$

QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS

1. Determine o valor teoricamente previsto da temperatura final da mistura das duas massas de água (água fria e água quente), se o sistema fosse perfeitamente isolado, e compare-o com o valor obtido experimentalmente.

$$\begin{aligned}\Delta E &= 0 \Leftrightarrow \Delta E_{\text{água fria}} = -\Delta E_{\text{água quente}} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow m_1 c \Delta T_1 &= -m_2 c \Delta T_2 \Rightarrow \\ \Rightarrow m_1 \Delta T_1 &= -m_2 \Delta T_2 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow 120,72 \times 10^{-3} \times (T_f - 24,5) &= -30,50 \times 10^{-3} \times (T_f - 44,8) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow 120,72 \times 10^{-3} T_f - 2,96 &= -30,50 \times 10^{-3} T_f + 1,37 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow T_f &= \frac{4,33}{0,151} = 28,7 \text{ °C}\end{aligned}$$

A temperatura final da água obtida experimentalmente é inferior ao valor previsto teoricamente, uma vez que ao efetuar o cálculo não é tido em consideração a dissipação de energia, ou seja, as perdas de energia para o meio envolvente.

2. Determine a variação da energia interna do sistema constituído pelas duas massas de água e interprete o sinal do resultado obtido.

$$\begin{aligned}\Delta E_i &= \Delta E_{\text{água quente}} + \Delta E_{\text{água fria}} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \Delta E_i &= -2,17 \times 10^3 + 1,67 \times 10^3 = -5,00 \times 10^2 \text{ J}\end{aligned}$$

A variação de energia interna do sistema deverá ser negativa porque como o equilíbrio térmico se atinge a uma temperatura superior à temperatura ambiente é transferida energia do sistema para a vizinhança.

Note-se que se adotaram estratégias para evitar esta transferência de energia, não sendo contudo possível ter um sistema perfeitamente isolado.

3. Atendendo à energia transferida para o gelo a 0 °C e considerando o sistema isolado, determine a variação de entalpia de fusão do gelo.

Desprezando a dissipação de energia:

$$\begin{aligned}\Delta E &= 0 \Leftrightarrow \Delta E_{\text{gelo}} + \Delta E_{\text{água}} = 0 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \Delta E_{\text{gelo}} &= -\Delta E_{\text{água}} \Leftrightarrow \Delta E_{\text{gelo}} = 1,12 \times 10^4 \text{ J}\end{aligned}$$

Como:

$$\begin{aligned}\Delta E_{\text{gelo}} &= \Delta E_{\text{fusão}} + \Delta E_{\text{água fria}} \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta E_{\text{gelo}} &= \Delta E_{\text{fusão}} + \Delta E_{\text{água fria}} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow 1,12 \times 10^4 &= m_{\text{gelo}} \Delta H + m_{\text{gelo}} c \Delta T_{\text{gelo}} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow 1,12 \times 10^4 &= 20,66 \times 10^{-3} \Delta H + 20,66 \times 10^{-3} \times 4186 \times (23,2 - 0) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \Delta H &= 4,45 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}\end{aligned}$$

4. Compare o valor obtido experimentalmente com o valor tabelado para a entalpia de fusão do gelo, determinando o erro percentual. A que se pode dever esta diferença?

$$\begin{aligned}e_r &= \frac{|\text{valor experimental} - \text{valor teórico}|}{\text{valor teórico}} \Rightarrow \\ \Rightarrow e_r &= \frac{|4,45 \times 10^5 - 3,33 \times 10^5|}{3,33 \times 10^5} = 0,336 \Leftrightarrow e_r = 33,6\%\end{aligned}$$

A diferença entre o valor obtido experimentalmente com o valor tabelado para a entalpia de fusão do gelo deve-se uma vez mais, a que não é tido em consideração a dissipação de energia, embora, na realidade, esta parcela não possa ser desprezada.

AL
1.1

ATIVIDADE LABORATORIAL

Queda livre: força gravítica e aceleração da gravidade

OBJETIVO GERAL

Determinar a aceleração da gravidade num movimento de queda livre e verificar se depende da massa dos corpos.

METAS ESPECÍFICAS

1. Medir tempos e determinar velocidades num movimento de queda.
2. Fundamentar o procedimento da determinação de uma velocidade com uma célula fotoelétrica.
3. Determinar a aceleração num movimento de queda (medição indireta), a partir da definição de aceleração média, e compará-la com o valor tabelado para a aceleração da gravidade.
4. Avaliar a exatidão do resultado e calcular o erro percentual, supondo uma queda livre.
5. Concluir que, na queda livre, corpos com massas diferentes experimentam a mesma aceleração.

EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

INTRODUÇÃO

Quando se deixa cair um corpo de uma determinada altura próxima da superfície terrestre, em condições em que é possível desprezar a resistência do ar, diz-se que o mesmo entra em queda livre. Sobre o grave, corpo em queda livre, apenas atua a força gravítica.

Durante a queda, como a força aplicada tem intensidade constante e sentido do movimento, o módulo da velocidade do corpo aumenta linearmente com o tempo e o grave adquire um movimento retilíneo uniformemente acelerado em que a componente escalar da aceleração é dada por:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

Esta aceleração, constante para qualquer corpo em queda, é designada aceleração gravítica e, ao nível médio das águas do mar, tem módulo $9,8 \text{ m s}^{-2}$ ($\approx 10 \text{ m s}^{-2}$).

A determinação do módulo da velocidade é obtida indiretamente com um digitímetro associado a uma célula fotoelétrica. O digitímetro começa a contar o tempo quando o corpo passa à frente da célula, interrompendo o seu feixe luminoso, e termina a contagem quando este atravessar o feixe por completo.

O digitímetro regista então o intervalo de tempo, Δt , que um corpo de comprimento, Δx , demora a passar em frente à célula, pelo que se pode determinar a componente escalar da velocidade nessa posição através da expressão:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

1. Em certas condições é possível afirmar que um corpo se encontra em queda livre. Identifique-as.

Um corpo diz-se em queda livre quando está apenas sujeito à força gravítica, podendo desprezar-se a resistência do ar. Para tal o corpo deve ser pequeno e deslocar-se a velocidades relativamente reduzidas.

2. Represente os vetores resultante das forças, velocidade e aceleração num determinado instante de um corpo em queda livre.



3. Relacione a variação da velocidade do corpo com as características da aceleração adquirida durante o movimento de queda livre.

Como a força a que o corpo está sujeito é a força gravítica de intensidade constante e aplicada no sentido do movimento, a velocidade do grave vai aumentar linearmente com o tempo durante a queda. Como a velocidade aumenta em módulo sempre na mesma proporção, segundo uma trajetória retilínea, a aceleração terá a direção do movimento, o mesmo sentido que a velocidade do corpo e um valor constante durante o movimento.

4. Classifique, justificando, o movimento do corpo em queda livre.

Trata-se de um movimento retilíneo uniformemente acelerado, uma vez que a velocidade está a aumentar uniformemente e a aceleração tem a mesma direção e sentido da velocidade.

5. Indique algumas condições que devem ser controladas durante a realização da atividade.

As variáveis a controlar serão: a posição de onde é largado o corpo e a velocidade com que é largado; as posições onde são colocadas as células fotoelétricas, que devem ser as mesmas em cada ensaio; a forma como o corpo atravessa as células fotoelétricas deve ser sempre igual e sempre na zona central do corpo; os corpos de diferentes massas devem ter formas e tamanhos semelhantes.

6. Nesta atividade a componente escalar da aceleração no movimento de queda será determinada indiretamente a partir da definição de aceleração média. Justifique esta opção.

Durante a queda livre a intensidade da força gravítica aplicada é constante pelo que o módulo da velocidade aumenta linearmente com o tempo e a aceleração a que o corpo em queda fica sujeito é, portanto, constante. Assim, durante a queda a aceleração em cada instante será igual à aceleração média no intervalo de tempo de queda podendo ser determinada pela expressão $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Célula fotoelétrica e eletroímã com marcador de tempo (digitímetro)
- Craveira
- Balança
- Dois corpos com massas diferentes
- Suporte universal
- Duas garras e duas nozes

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. **Construir** tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.

2. **Identificar e registar** as características de todos os instrumentos de medição e as respetivas incertezas de

leitura na tabela I.

3. **Medir** a massa dos corpos e registar o valor na tabela II.
4. **Medir** o diâmetro/comprimento dos corpos e registar o valor na tabela II.
5. **Efetuar** a montagem esquematizada na figura.
6. **Colocar** a célula fotoelétrica na posição assinalada de modo a que o corpo a intercepe durante o movimento de queda livre.
7. **Ligar** a célula fotoelétrica ao digitímetro e utilizar o eletroímã para largar o corpo.
8. **Registar** o tempo de passagem do corpo pela célula fotoelétrica, Δt_1 , na tabela II.
9. **Repetir** o ensaio três vezes.
10. **Ligar** o eletroímã ao digitímetro, selecionar o modo adequado de leitura, e largar o corpo.
11. **Registar** o tempo de queda, Δt_{total} , na tabela II.
12. **Repetir** o ensaio três vezes.
13. **Repetir** os procedimentos utilizando outro corpo de massa diferente.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Digitímetro	Tempo	$\pm 0,00001$ s
Craveira	Diâmetro	$\pm 0,0001$ m
Balança	Massa	$\pm 0,00001$ kg

Tabela II – Registo das medições				
Corpo	m / kg	Δx / m	Δt_1 / s	Δt_{total} / s
1	$0,03488 \pm 0,00001$	$0,0195 \pm 0,0001$	0,00610	0,35038
			0,00562	0,35097
			0,00584	0,35358

Tabela III – Determinação da aceleração do corpo				
Corpo	Δ_1 / s	v_1 / m s ⁻¹	Δ_{total} / s	$a = g$ / m s ⁻²
1	$0,00558 \pm 0,00052$	3,50	$0,35164 \pm 0,00194$	9,95

Cálculo da incerteza absoluta de observação para o intervalo de tempo Δt_1 :

$$d_1 = |0,00610 - 0,00558| = 0,00052 \text{ s}$$

$$d_2 = |0,00562 - 0,00558| = 0,00004 \text{ s}$$

$$d_3 = |0,00584 - 0,00558| = 0,00026 \text{ s}$$

A incerteza absoluta de observação será 0,00052 s, pois é o maior dos desvios calculados.

A incerteza absoluta associada ao valor mais provável será 0,00052 s, pois é a maior das incertezas associadas à medição e uma vez que a incerteza absoluta de leitura é 0,00001 s.

Cálculo da incerteza absoluta de observação para o intervalo de tempo Δt_{total} :

$$d_1 = |0,35038 - 0,35164| = 0,00126 \text{ s}$$

$$d_2 = |0,35097 - 0,35164| = 0,00067 \text{ s}$$

$$d_3 = |0,35358 - 0,35164| = 0,00194 \text{ s}$$

A incerteza absoluta de observação será 0,00194 s, pois é o maior dos desvios calculados.

A incerteza absoluta associada ao valor mais provável será 0,00194 s, pois é a maior das incertezas associadas à medição e uma vez que a incerteza absoluta de leitura é 0,00001 s.

Cálculo do módulo da velocidade:

$$v = \frac{\text{diâmetro}}{\text{intervalo de tempo}} \Rightarrow v = \frac{0,0195}{0,00558} \Rightarrow v = 3,50 \text{ m s}^{-1}$$

Cálculo do módulo da aceleração:

$$a = \frac{v_1 - v_0}{\Delta t_{\text{total}}} \Rightarrow a = \frac{3,50 - 0}{0,35164} \Rightarrow a = 9,95 \text{ m s}^{-2}$$

QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS

1. Explique porque é possível utilizar a expressão $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ no cálculo do módulo aproximado da velocidade.

Como o intervalo de tempo de passagem no sensor é muito pequeno, pode considerar-se que a velocidade do corpo se mantém praticamente constante enquanto atravessa a célula. É, assim, possível calcular um valor aproximado dessa velocidade com uma expressão relativa a um movimento retilíneo uniforme.

2. Compare o módulo da aceleração da gravidade com o valor de referência, indicando o erro relativo em percentagem. Que concluiu quanto à exatidão do resultado?

$$\begin{aligned} \text{Erro relativo} &= \frac{|x - x_r|}{x_r} \times 100 \Rightarrow \\ \Rightarrow \text{Erro relativo} &= \frac{|9,95 - 9,81|}{9,81} \times 100 \Rightarrow \text{Erro relativo} = 1,43\% \end{aligned}$$

3. Compare os módulos da aceleração da gravidade obtidos para cada um dos corpos estudados.

Os resultados deverão permitir concluir que, desprezando a resistência do ar, a aceleração da gravidade é independente da massa do corpo. Convém, contudo, referir que o valor da aceleração da gravidade não é uma constante universal, uma vez que depende do planeta assim como da altitude e latitude do lugar onde o corpo se encontra.

4. Aponte possíveis erros que poderão ter afetado os resultados obtidos.

Alinhamento das células fotoelétricas.

A proximidade das posições selecionadas, uma vez que quanto mais próximas forem as posições escolhidas maior é o erro experimental.

A forma como o corpo passou pela célula pode não corresponder ao comprimento medido.

AL
1.1

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL ALTERNATIVO

Com recurso à calculadora gráfica, *Lab Cradle* e *Vernier Photogates*

O procedimento a seguir descrito pode servir como alternativa ao apresentado no manual, quando não é possível garantir que a velocidade inicial seja nula. Assim são utilizadas duas células fotoelétricas ligadas à máquina de calcular através de um interface (*Lab Cradle*) que registam o tempo de passagem do corpo, permitindo posteriormente, por medição indireta, obter os módulos da velocidade e da aceleração.

As células fotoelétricas permitem a medição dos tempos de passagem do corpo em cada célula e do intervalo de tempo de passagem entre as duas células, sendo independente da altura de queda do corpo ou do tempo que decorre entre o acionamento do registo através da calculadora e da largada do corpo.

Se se pretender uma atividade mais célere, é possível obter diretamente o valor da velocidade a partir da calculadora, tal como é descrito no final do procedimento. Contudo, com este método é inviabilizado o cumprimento do descritor 1: “Medir tempos e determinar velocidades num movimento de queda”.

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Calculadora *TI-Nspire CX*
- *Lab Cradle*
- Duas *Vernier Photogates* (células fotoelétricas)
- Suporte universal com garra e noz
- Pinça de madeira
- Dois corpos com massas diferentes
- Balança
- Craveira

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1. Construir** tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.
- 2. Identificar** e registar as características de todos os instrumentos de medição e as respetivas incertezas de leitura na tabela I.
- 3. Efetuar** a montagem esquematizada na figura, atendendo à ligação entre as células fotoelétricas e ao seu alinhamento.
- 4. Medir** a massa dos corpos e registar o valor na tabela II.
- 5. Medir** o diâmetro/comprimento dos corpos e registar o valor na tabela II.
- 6. Ligar** a célula fotoelétrica superior à entrada digital 1 [*dig/sonic 1*] da calculadora.



Figura 1

7. Ligar a calculadora e abrir um novo documento com a aplicação *Vernier DataQuest*.

• Se a célula fotoelétrica for reconhecida aparece um ecrã semelhante ao da figura 1.

• Se a célula fotoelétrica não for reconhecida, premir a tecla **menu** e seleccionar sequencialmente: “**1: Experiência**”, “**B: Configuração avançada**”, “**2: configurar sensor**”.

Selecione a entrada “**4: TI-Nspire Lab Cradle: Dig1**” (figura 2). Na janela **Selecionar sensor**, clicar na opção **Photogate** e **OK**.

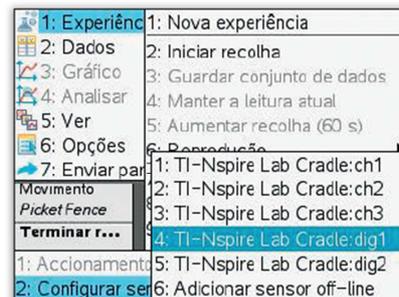


Figura 2

8. Seleccionar o modo de recolha de dados premindo a tecla **menu** e seleccionar sequencialmente os números: “**1: Experiência**”, “**7: Modo de recolha**”, “**4: Tempo de Photogate**”. Na janela **Tempo de Photogate** escolher a opção: “**Apenas estado da porta**” e **OK** (figura 3).



Figura 3

9. Na janela **Detalhes da recolha** em “**Terminar a recolha de dados**” seleccionar a opção “**Após eventos Num**”. No campo **Número de eventos**, escrever **4** (figura 4).

Nota: Este modo de recolha apenas permite registar os instantes em que o feixe é sucessivamente interrompido, funcionando de modo semelhante a um digitímetro. No entanto, é possível obter diretamente os instantes em que o ponto médio do corpo passa em cada célula fotoelétrica bem como os respetivos valores de velocidade do corpo, se na janela **Tempo de Photogate** escolher a opção: “**Porta e pulsação**” e **OK**. Seguidamente configurar os detalhes da recolha de dados, indicando o comprimento / diâmetro do corpo, seleccionar em “**Terminar a recolha de dados**”: “**Após eventos Num**”. No campo **Número de eventos**, escrever **4**.

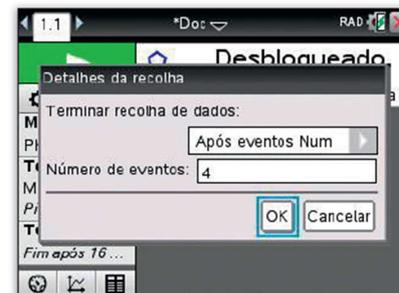


Figura 4

10. Acionar a tecla verde (botão iniciar) para iniciar a recolha dos dados e largar o objeto. Guardar os dados obtidos (figura 5)



Figura 5

11. Definir o número de casa decimais dos resultados premindo a tecla **menu** e seleccionar sequencialmente os números: “**2: Dados**”, “**1: Opções de coluna**”, “**1: Tempo**”. Na janela **Opções de coluna**, no campo “**Precisão**”, inserir o valor **4** (figura 6).

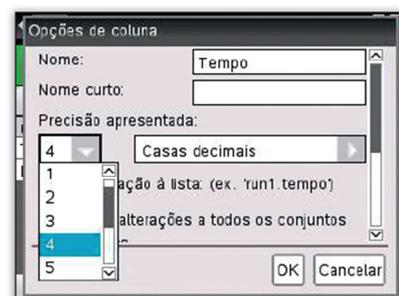


Figura 6

12. Registrar os instantes de passagem do corpo pelas células fotoelétricas na tabela II.

13. Repetir o ensaio 3 vezes.

14. Repetir os procedimentos 10 e 11 utilizando outro corpo de massa diferente.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Photogate	Tempo	$\pm 0,0001 \text{ s}^*$
Craveira	Comprimento	$\pm 0,00005 \text{ m}$
Balança	Massa	$\pm 0,00001 \text{ kg}$

*Nota: a incerteza de leitura do photogate depende do número de casas decimais definida pelo utilizador para os resultados.

Tabela II – Registo das medições						
Corpo	m / kg	Δx / m	t_1 / s	t_2 / s	t_3 / s	t_4 / s
1	$0,00850 \pm 0,00001$	$0,02575 \pm 0,00005$	7,2471	7,2621	7,4607	7,4679
			8,0072	8,0241	8,2306	8,2375
			4,3346	4,3514	4,5553	4,5625

Tabela III – Determinação da aceleração do corpo						
Corpo	Δt_1 / s ($t_2 - t_1$)	Δ_1 / s	Δt_2 / s ($t_4 - t_3$)	ΔE_2 / s	Δt_{total} / s ($t_4 - t_2$)	Δ_{total} / s
1	0,0150	$0,0162 \pm 0,0012$	0,0072	$0,0071 \pm 0,0002$	0,2058	$0,2101 \pm 0,0043$
	0,0169		0,0069		0,2134	
	0,0168		0,0072		0,2111	
Corpo	D_1 / s	v_1 / m s^{-1}	D_2 / s	v_2 / m s^{-1}	D_{total} / s	$a = \text{g / m s}^{-2}$
1	$0,0162 \pm 0,0012$	1,59	$0,0071 \pm$	3,63	$0,2101 \pm$	9,71

Cálculo da incerteza absoluta de observação para o intervalo de tempo Δt_1 :

$$d_1 = |0,0150 - 0,0162| = 0,0012 \text{ s}$$

$$d_2 = |0,0169 - 0,0162| = 0,0007 \text{ s}$$

$$d_3 = |0,0168 - 0,0162| = 0,0006 \text{ s}$$

A incerteza absoluta de observação será 0,0012 s, pois é o maior dos desvios calculados.

A incerteza absoluta associada ao valor mais provável será 0,0012 s, pois é a maior das incertezas associadas à medição e uma vez que a incerteza absoluta de leitura é 0,0001 s.

Cálculo do módulo da velocidade v_1 :

$$v = \frac{\text{comprimento}}{\text{intervalo de tempo}} \Rightarrow v = \frac{0,02575}{0,0162} \Rightarrow v = 1,59 \text{ m s}^{-1}$$

Cálculo do módulo da aceleração:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t_{\text{total}}} \Rightarrow a = \frac{3,63 - 1,59}{0,2101} \Rightarrow a = 9,71 \text{ m s}^{-2}$$

AL
1.1

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL ALTERNATIVO

Com recurso ao programa *Tracker*

De acordo com as sugestões apresentadas pelo Programa de Física e Química A (Ministério da Educação e Ciência, 2014), o estudo do movimento de um corpo pode ser realizado recorrendo à gravação e análise de um vídeo, utilizando o *software* gratuito *Tracker*. Contudo este procedimento inviabiliza o cumprimento de dois dos descritores da atividade laboratorial (*descritor 1: Medir tempos e determinar velocidades num movimento de queda; descritor 2: Fundamentar o procedimento da determinação de uma velocidade com uma célula fotoelétrica*).

Durante a captação das imagens para a análise do movimento de queda e lançamento na vertical deve manter-se a câmara suficientemente afastada de modo a captar toda a trajetória do corpo em movimento. Além disso, a filmagem deve ser realizada num local em que o corpo em movimento contraste com o fundo (por exemplo, uma esfera negra que se move sobre uma parede branca), de modo a que seja perceptível nos fotogramas o movimento do corpo. Nas imagens deve, ainda, colocar-se um objeto com dimensões conhecidas, uma régua por exemplo.

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- *Software Tracker*
- Câmara de filmar digital
- Computador

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. **Fazer** a gravação do vídeo do movimento de queda de um corpo (em alternativa pode recorrer-se a um vídeo já existente).
2. **Abrir** o programa *Tracker*.
3. **Clicar** em “**Ficheiro**”: “**Abrir**” para abrir o ficheiro de vídeo.
4. **Selecionar** os fotogramas do vídeo que interessa analisar, clicando em , que se encontra na barra de ferramentas. Na janela **Clip Settings** indicar qual o primeiro fotograma na caixa “**Start frame**” e o último fotograma do intervalo na caixa “**End frame**” (figura 1).

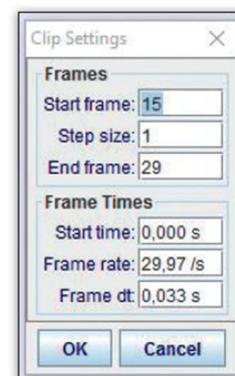


Figura 1

5. **Clicar** em  na barra de controlo para definir a escala e selecionar “**Fita de calibração**”. Surge na imagem uma dupla seta em que as suas extremidades podem ser ajustadas às extremidades do objeto cujas dimensões são conhecidas (figura 2). Se necessário fazer *zoom* da imagem com o *scroll* do rato de modo a ser mais preciso.
6. **Clicar** no número que aparece no centro da régua e escrever o valor correspondente ao comprimento real do objeto (em metros).

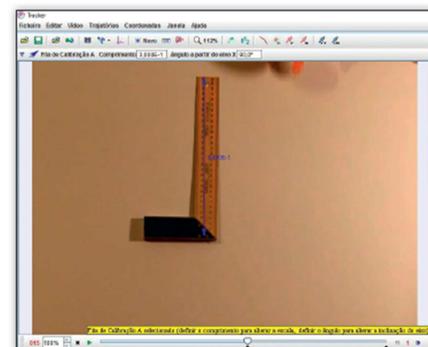


Figura 2

7. **Selecionar**  na barra de ferramentas para definir um referencial.

Deslocar o eixo de coordenadas clicando sobre a origem do eixo e, mantendo a tecla esquerda do rato acionada, arrastar o ponto sobre o vídeo até à posição inicial do corpo, fazendo coincidir o eixo vertical com a direção do movimento (figura 3).

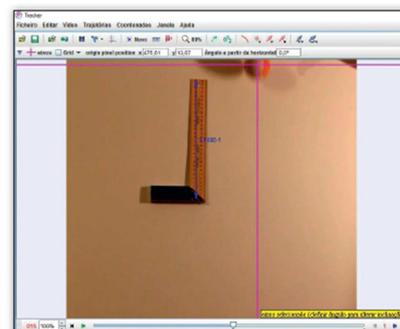


Figura 3

8. **Selecionar “Novo”** na barra de ferramentas e optar pelo marcador **“Massa Pontual”**. Carregando na tecla *shift* do teclado do computador e clicando a tecla esquerda do rato sobre o corpo em estudo, o ponto é marcado e o vídeo avança para o fotograma seguinte, onde se repete o procedimento (figura 4).

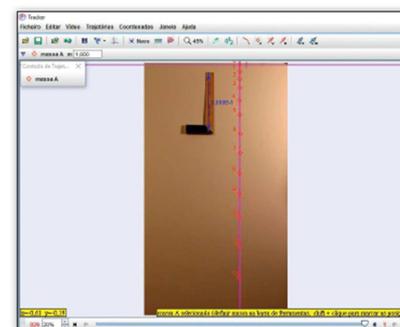


Figura 4

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

1. **Obter** os gráficos $y = f(t)$ e $v_y = f(t)$, clicando na seta que se encontra no canto superior direito do *software*. Selecionar **“Diagrama”** e indicar o número de gráficos a exibir nesta janela. Atribuir aos eixos verticais de cada gráfico as variáveis y e v_y , respetivamente (figura 5).

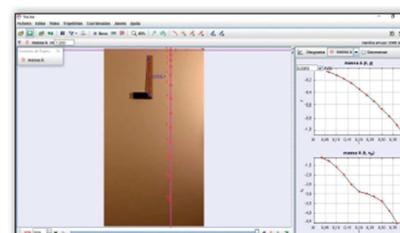


Figura 5

2. **Pressionar** a tecla direita do rato com o cursor sobre o gráfico posição-tempo e selecionar a opção **“Analisar”**. Clicar na função **“Analyze”** da janela **“Data tool”**, e selecionar **“Curve Fits”** de modo a definir a curva de ajuste (figura 6).

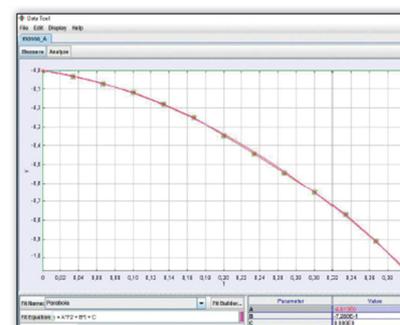


Figura 6

3. **Obter** a equação do movimento selecionando a opção **Parabola** em **“Fit name”**. Registrar o valor referente ao parâmetro A da equação (figura 7) e determinar o valor da aceleração.

Fit Name: Parabola	Fit Builder...
Fit Equation: $y = A*t^2 + B*t + C$	
<input type="checkbox"/> Autofit rms dev: 5,831E-3	

Parameter	Value
A	-4,813E0
B	-7,280E-1
C	-2,738E-4

Figura 7

AL
1.2

ATIVIDADE LABORATORIAL

Forças nos movimentos retilíneos acelerado e uniforme

OBJETIVO GERAL

Identificar forças que atuam sobre um corpo, que se move em linha reta num plano horizontal, e investigar o seu movimento quando sujeito a uma resultante de forças não nula e nula.

METAS ESPECÍFICAS

1. Identificar as forças que atuam sobre um carrinho que se move num plano horizontal.
2. Medir intervalos de tempo e velocidades.
3. Construir um gráfico da velocidade em função do tempo, identificando tipos de movimento.
4. Concluir qual é o tipo de movimento do carrinho quando a resultante das forças que atuam sobre ele passa a ser nula.
5. Explicar, com base no gráfico velocidade-tempo, se os efeitos do atrito são ou não desprezáveis.
6. Confrontar os resultados experimentais com os pontos de vista históricos de Aristóteles, de Galileu e de Newton.

EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

INTRODUÇÃO

Melhorando as ideias de Galileu, Newton enunciou as leis fundamentais do movimento, mais conhecidas por Leis de Newton.

A Segunda Lei de Newton estabelece a relação entre força e aceleração, que se traduz pela expressão:

$$F_R = m \vec{a}$$

Esta expressão permite concluir que, se a intensidade da força resultante for constante, então o módulo da aceleração adquirida pelo corpo é também constante, o que significa que o movimento é uniformemente variado, podendo ser acelerado ou retardado.

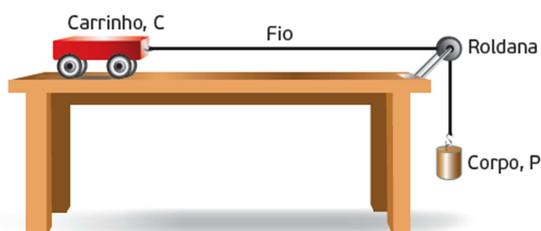
Se a resultante das forças que atuam num corpo for nula, a aceleração do corpo é nula, o que permite concluir que não há variação da velocidade:

$$F_R = \vec{0} \Rightarrow \vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \Delta \vec{v} = \vec{0} \Rightarrow \vec{v}_i = \vec{v}_f$$

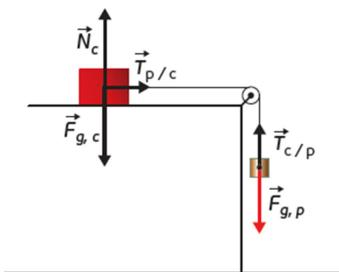
Por outras palavras, quando a resultante das forças é nula, se um corpo estiver em repouso continuará em repouso, se estiver em movimento, manter-se-á em movimento com a velocidade constante.

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

Considere o esquema representado. Admita que o atrito entre o carrinho C e a superfície do tampo da mesa é desprezável.



1. Represente as forças que atuam sobre o carrinho C e sobre o corpo suspenso P.

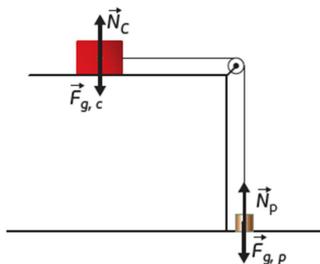


2. Mostre que o conjunto se encontra em movimento enquanto o corpo P está suspenso. Classifique o movimento do conjunto atendendo à relação entre os sentidos dos vetores velocidade, força resultante e aceleração.

No carrinho C:	No corpo P:
$F_{R,y} = 0 \Rightarrow F_{g,c} = N_c$	$F_{R,x} = 0$
$F_{R,x} = T \Rightarrow T = m_C a$	$F_{R,y} = F_{g,p} - T \Rightarrow F_{g,p} - T = m_P a$

Os corpos movem-se, pois, ambos apresentam aceleração não nula num dos eixos. Como os corpos estão ligados o valor da aceleração deve ser o mesmo. A velocidade tem a direção e o sentido do movimento. Sendo a força resultante em cada um dos corpos no sentido do movimento, a aceleração será no mesmo sentido, pelo que adquirem movimento retilíneo uniformemente acelerado.

3. Se o fio for suficientemente comprido, o corpo P acaba por tocar no chão antes do carrinho C chegar ao fim da mesa. Para esta situação represente as forças que atuam nos corpos.



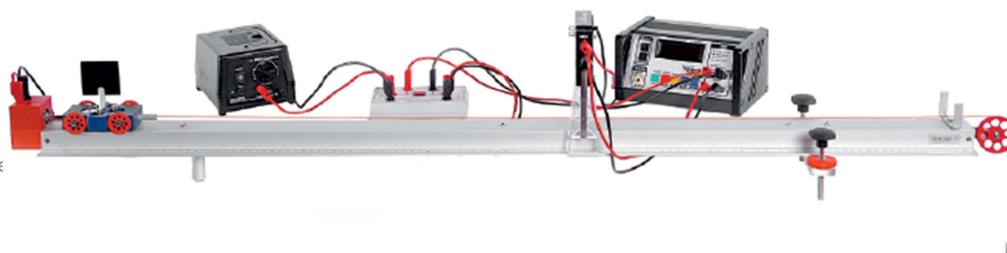
4. Preveja, justificando, que movimento deverá apresentar o carrinho depois do corpo P embater no solo.

Quando o corpo P atinge o solo, admitindo que não existe atrito entre o carrinho e a calha, o carrinho deve adquirir movimento retilíneo uniforme, mantendo a velocidade que possuía no instante anterior a P embater no solo, uma vez que a resultante das forças que sobre ele atua é nula (Primeira Lei de Newton).

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Calha dinâmica
- Carrinho com tira opaca estreita
- Roldana
- Fios
- Eletroíman
- Células fotoelétricas com marcador de tempo (digitímetro)
- Craveira
- Suporte universal
- Garra e noz
- Corpo para suspender

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. **Construir** tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.
2. **Identificar** e **registar** as características de todos os instrumentos de medição e as respetivas incertezas de leitura na tabela I.
3. **Medir** o comprimento da tira opaca estreita do carrinho e **registar** o valor na tabela II.
4. **Efetuar** a montagem esquematizada na figura.
5. **Marcar** vários pontos na calha onde se pretende determinar o módulo da velocidade.
6. **Colocar** a célula fotoelétrica num dos pontos assinalados de modo a que a tira opaca do carrinho a intercete durante a passagem.
7. **Largar** o carrinho utilizando o eletroíman.
8. **Registar** o tempo de passagem da tira pela célula fotoelétrica, Δt , na tabela II.
9. **Repetir** o mesmo procedimento para os restantes pontos marcados na calha.
10. **Ligar** o eletroíman ao digitímetro, selecionar o modo adequado de leitura e largar o carrinho.
11. **Registar** o tempo decorrido entre a largada do carrinho, no eletroíman, até à passagem pela célula fotoelétrica Δt_{total} , na tabela II.
12. **Repetir** o procedimento para todos os pontos marcados na calha.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Digitímetro	<i>Tempo</i>	$\pm 0,0001$ s
Régua/craveira	<i>Comprimento</i>	$\pm 0,0005$ m

Como o intervalo de tempo é medido em aparelho digital, considera-se a incerteza absoluta igual a uma unidade do último dígito de leitura.

Como o comprimento da tira opaca é medido com uma fita métrica (instrumento de medida analógico), a incerteza absoluta é igual a metade do valor da menor divisão da escala.

Tabela II – Registo das medições			
Comprimento da tira opaca estreita: $0,0500$ m $\pm 0,0005$ m			
Posição	Δt / s	v / m s ⁻¹	Δt_{total} / s
A	0,2760	0,181	1,0569
B	0,2065	0,242	1,5682
C	0,1722	0,290	1,9872
D	0,1500	0,333	2,3206
E	0,1367	0,366	2,5959
F	0,1333	0,375	2,7433
G	0,1327	0,377	2,8657
H	0,1308	0,382	3,0825
I	0,1315	0,380	3,3311

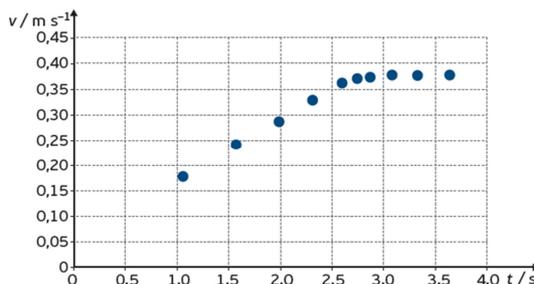
J	0,1311	0,381	3,6388
---	--------	-------	--------

1. Calcule os módulos da velocidade do corpo, ao atravessar a célula fotoelétrica, em cada posição, registando os valores na tabela II.

Módulo da velocidade para a posição A:

$$v = \frac{\text{largura da tira}}{\text{intervalo de tempo}} \Rightarrow v = \frac{0,0500}{0,2760} \Leftrightarrow v = 0,181 \text{ m s}^{-1}$$

2. Utilizando a calculadora gráfica ou uma folha de cálculo, trace o gráfico da componente escalar da velocidade do carrinho em função do tempo.



3. Compare o gráfico obtido com o de outros grupos de trabalho.

QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS

1. Tendo em conta o gráfico obtido, caracterize o movimento do carrinho ao longo da calha.

O carrinho teve dois tipos de movimentos. Inicialmente o movimento do carrinho foi retilíneo uniformemente acelerado, uma vez que a velocidade do carrinho aumentou linearmente com o tempo. Depois o movimento foi retilíneo uniforme, ou seja, a velocidade do carrinho manteve-se constante.

2. Relacione o movimento do carrinho com a resultante das forças que nele atuaram.

Enquanto o carrinho teve movimento acelerado, a força resultante foi diferente de zero e igual à tensão exercida no fio.

Quando o corpo embate no chão, deixou de haver força exercida pelo fio passando a ser nula a resultante das forças que atuaram no carrinho, pelo que adquiriu movimento retilíneo uniforme.

3. Tendo em conta os resultados experimentais verifique se os efeitos das forças de atrito são ou não desprezáveis.

Os efeitos da força de atrito não serão desprezáveis se a velocidade não se mantiver constante depois do corpo P embater no solo.

4. Comente os resultados experimentais e confronte-os com as leis apresentadas por Aristóteles, Galileu e Newton sobre o movimento dos corpos.

Os resultados obtidos permitem concluir o que Galileu, e mais tarde Newton, afirmaram, ou seja, que para que um corpo continue em movimento não é necessário que uma força esteja a atuar sobre esse corpo. Se na prática um corpo parar isso deve-se à atuação da força de atrito.

AL
1.2

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL ALTERNATIVO

Com recurso à calculadora gráfica e CBR 2

Note-se que a esta atividade laboratorial se aplica o descritor 25 das metas transversais: “Elaborar um relatório, ou síntese, sobre uma atividade prática, em formatos diversos”.

O procedimento que se descreve a seguir enquadra-se nas sugestões apresentadas pelo Programa de Física e Química A (Ministério da Educação e Ciência, 2014), que indica que a análise do gráfico velocidade-tempo pode ser realizada utilizando um sistema de aquisição automático de dados que disponibiliza a velocidade do carrinho em função do tempo.

Na elaboração da montagem deve ter-se em atenção que o corpo suspenso atinja o solo antes do carrinho completar o seu trajeto na calha de forma a determinar a velocidade do carrinho quer quando o fio o está a puxar, quer quando o fio deixa de estar em tensão.

O CBR deve estar bem alinhado com a calha de modo a acompanhar todo o movimento do carrinho.

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Calculadora TI-Nspire CX
- CBR 2
- Calha dinâmica
- Carrinho com tira opaca estreita
- Roldana
- Fios
- Corpo para suspender

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Efetuar a montagem esquematizada na figura.
2. Definir no CBR o interruptor de sensibilidade para *track* (figura 1).
3. Ligar o cabo (USB) de ligação à entrada digital do CBR e à calculadora.



Figura 1

4. Definir um intervalo de tempo apropriado para a recolha dos dados, premindo a tecla **menu** e selecionar sequencialmente os números: “1: Experiência”, “7: Modo de recolha”, “1: Baseado no tempo” (figura 2).

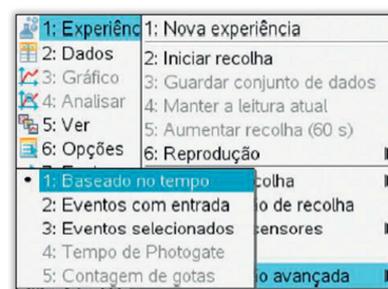


Figura 2

5. Inserir os valores em **Taxas (amostras / segundo)** e da **Duração (segundos)** da recolha de dados (por exemplo, 100 amostras / s e duração de 1,5 s) e selecionar “OK” (figura 3).

6. **Acionar** a tecla do canto superior esquerdo (iniciar) e largar o carrinho.

7. **Guardar** os dados obtidos.

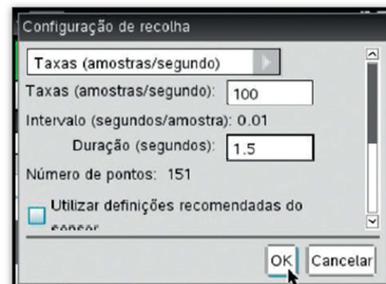


Figura 3

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

1. **Obter** os gráficos de posição-tempo e velocidade-tempo.

2. **Eliminar** os dados que não interessam selecionando a zona que se pretende eliminar. Premir a tecla **menu** e selecionar sequencialmente os números: “2: Dados”, “6: Rasurar dados”, “1: Na região selecionada” (figura 4).

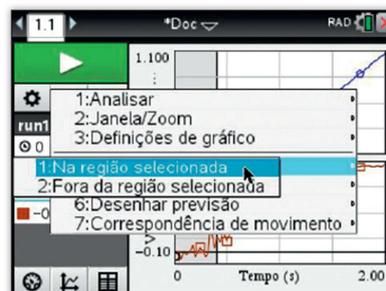


Figura 4

3. **Comparar** o gráfico obtido com o de outros grupos de trabalho (figura 5).

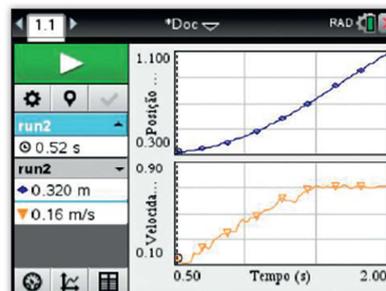


Figura 5

AL
1.2

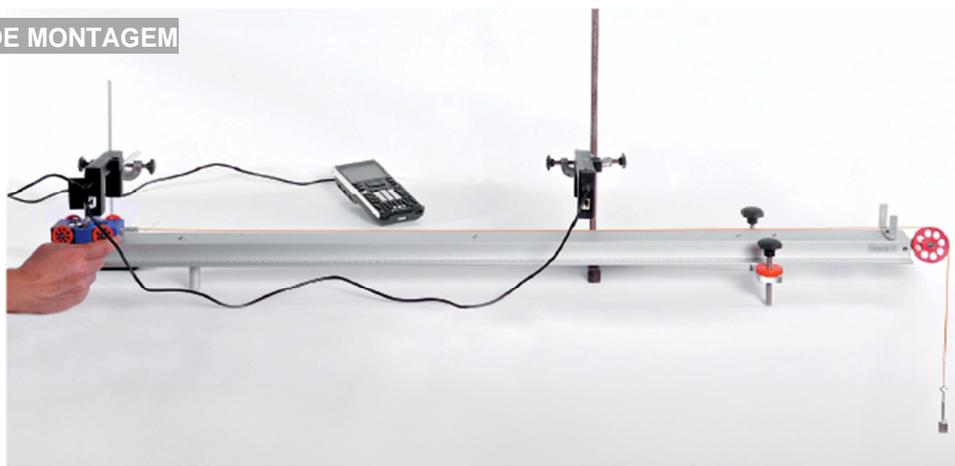
PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL ALTERNATIVO

Com recurso à calculadora gráfica, *Lab Cradle* e *Vernier Photogates*

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Calculadora *TI-Nspire CX*
- *Lab Cradle*
- Duas a quatro *Vernier Photogates* (células fotoelétricas)
- Suporte universal com garra e noz
- Calha dinâmica
- Carrinho com tira opaca estreita
- Roldana
- Régua
- Fios
- Corpo para suspender

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1. Construir** tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.
- 2. Identificar** e **registar** as características de todos os instrumentos de medição e as respetivas incertezas de leitura na tabela I.
- 3. Medir** o comprimento da tira opaca estreita do carrinho e registar o valor na tabela II.
- 4. Efetuar** a montagem esquematizada na figura, atendendo à ligação entre as células fotoelétricas e ao seu alinhamento.
- 5. Marcar** vários pontos na calha onde se pretende medir a velocidade.
- 6. Posicionar** uma das células fotoelétricas no início da calha e a outra num dos pontos assinalados de modo a que a tira opaca do carrinho as intercepe durante a passagem.
- 7. Ligar** a célula fotoelétrica que se encontra no início da calha à entrada digital 1 [dig/sonic 1] da calculadora.
- 8. Ligar** a calculadora e abrir um novo documento com a aplicação *Vernier DataQuest*.
 - Se a célula fotoelétrica for reconhecida aparece um ecrã semelhante ao da figura 1.



Figura 1

• Se a célula fotoelétrica não for reconhecida, premir a tecla **menu** e seleccionar sequencialmente: “**1: Experiência**”, “**B: Configuração avançada**”, “**2: configurar sensor**”. Seleccionar a entrada “**4: TI-Nspire Lab Cradle:Dig1**” (figura 2). Na janela **Selecionar sensor**, clicar na opção **Photogate** e **OK**.

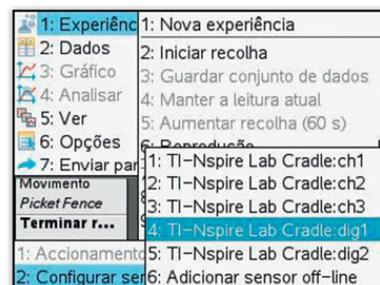


Figura 2

9. Seleccionar o modo de recolha de dados premindo a tecla **menu** e seleccionar sequencialmente os números: “**1: Experiência**”, “**7: Modo de recolha**”, “**4: Tempo de Photogate**”. Na janela **Tempo de Photogate** escolher a opção: “**Apenas estado da porta**” e **OK** (figura 3).



Figura 3

10. Na janela **Detalhes da recolha** em terminar a recolha de dados **seleccionar** a opção: “**Após eventos Num**”. No campo **Número de eventos**, escrever **4** (figura 4).

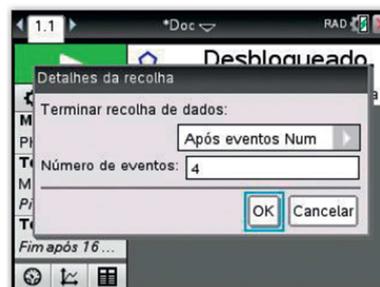


Figura 4

Nota: Este modo de recolha apenas permite registar os instantes em que o feixe é sucessivamente interrompido, funcionando de modo semelhante a um digitímetro. No entanto, é possível obter diretamente os instantes em que o ponto médio do corpo passa em cada célula fotoelétrica bem como os respetivos valores de velocidade do carrinho, se na janela **Tempo de Photogate** escolher a opção: “**Porta e pulsação**” e **OK**. Seguidamente configurar os detalhes da recolha de dados, indicando o comprimento da tira opaca do carrinho, seleccionar em terminar a recolha de dados: “**Após eventos Num**”. No campo **Número de eventos**, escrever **4**.

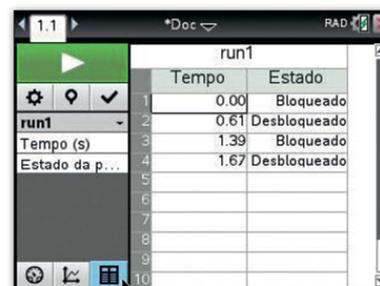


Figura 5

11. Acionar a tecla verde para iniciar a recolha dos dados e largar o carrinho. Guardar os dados obtidos (figura 5).

12. Definir o número de casa decimais dos resultados premindo a tecla **menu** e seleccionar sequencialmente os números: “**2: Dados**”, “**1: Opções de coluna**”, “**1: Tempo**”. Na janela **Opções de coluna**, no campo “**Precisão**”, inserir o valor **4** (figura 6).

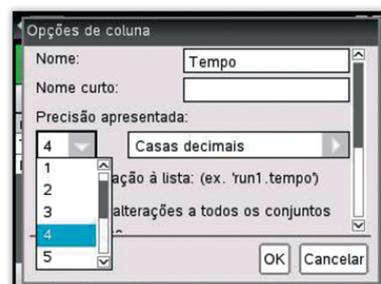


Figura 6

13. Registrar os instantes de passagem da tira opaca do carrinho pelas células fotoelétricas na tabela II.

14. Repetir o mesmo procedimento para os restantes pontos marcados na calha.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Células fotoelétricas	<i>Tempo</i>	$\pm 0,0001 \text{ s}^*$
Régua	<i>Comprimento</i>	$\pm 0,0005 \text{ m}$

***Nota:** a incerteza de leitura do *photogate* depende do número de casas decimais definida pelo utilizador para os resultados.

Tabela II – Registo das medições							
Comprimento da tira opaca estreita: $0,0500 \text{ m} \pm 0,0005 \text{ m}$							
Posição	t_1 / s	t_2 / s	t_3 / s	t_4 / s	$\frac{\Delta t}{\text{s}}$ ($t_4 - t_3$)	$v / \text{m s}^{-1}$	$\frac{\Delta t_{\text{total}}}{\text{s}}$ ($t_4 - t_2$)
A	- 0	0,6120	1,3929	1,6689	0,2760	0,181	1,0569

OBJETIVO GERAL

Investigar características de um som (frequência, intensidade, comprimento de onda, timbre) a partir da observação de sinais elétricos resultantes da conversão de sinais sonoros.

METAS ESPECÍFICAS

1. Identificar sons puros e sons complexos.
2. Comparar amplitudes e períodos de sinais sinusoidais.
3. Comparar intensidades e frequências de sinais sonoros a partir da análise de sinais elétricos.
4. Medir períodos e calcular frequências dos sinais sonoros, compará-los com valores de referência e avaliar a sua exatidão.
5. Identificar limites de audição no espectro sonoro.
6. Medir comprimentos de onda de sons.

EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

INTRODUÇÃO

As ondas sonoras são ondas mecânicas que resultam de variações de pressão, que se propagam no tempo e no espaço, transportando energia.

A propagação temporal de uma onda pode caracterizar-se pelo período, T , correspondente ao tempo de duração de uma oscilação completa, e pela frequência, que indica o número de oscilações efetuadas por unidade de tempo, sendo, por isso, inversa do período. A frequência mede-se em hertz ($\text{Hz} = \text{s}^{-1}$) e depende da fonte sonora, mas não do meio de propagação.

Na propagação da onda, as partículas do meio oscilam em torno da sua posição inicial, criando zonas de maior e menor pressão. À variação máxima relativamente à posição de equilíbrio, chama-se amplitude. O comprimento de onda é a distância entre dois pontos da onda na mesma fase de vibração, sendo a sua unidade SI o metro.

As ondas sonoras podem ser detetadas pelo diafragma de um microfone, que vibra, convertendo-as em sinais elétricos com as mesmas características do sinal sonoro. Pelo contrário, um altifalante converte sinais elétricos em som, colocando uma membrana a vibrar.

Para visualizar e caracterizar sinais elétricos utiliza-se um osciloscópio. Este aparelho é utilizado em diversas áreas profissionais, desde a engenharia à medicina, uma vez que, através de um conversor adequado, é possível transformar em sinais elétricos qualquer tipo de grandeza física. Os osciloscópios podem ser analógicos ou digitais, sendo os últimos os que apresentam maior número de funcionalidades.

O osciloscópio mostra como um sinal elétrico varia no tempo. O eixo das ordenadas (Oy) representa a amplitude do sinal (através da diferença de potencial elétrico ou tensão elétrica) e o eixo das abcissas (Ox) representa o tempo. Deste modo, a amplitude e o período de um sinal podem ser determinados diretamente através do gráfico no ecrã do osciloscópio.



- 1 POWER (liga/destiga o osciloscópio)
- 2 INTENSITY (regula a intensidade do feixe)
- 3 FOCUS (regula a focagem do feixe)
- 4 TRIG LEVEL (sincroniza o sinal)
- 5 HOLD OFF (ajusta o sinal no tempo)
- 6 MODE (selecciona o sinal a visualizar no ecrã)
- 7 ◀POS▶ (desloca a linha de base na horizontal)
- 8 TIME/DIV (base de tempo – indica o intervalo de tempo correspondente a uma

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

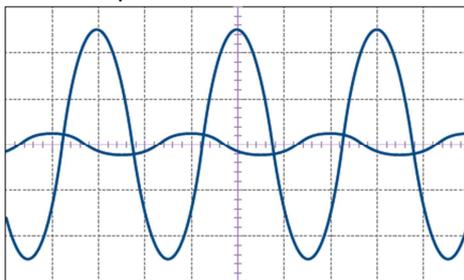
1. Qual é a característica da onda sonora que está relacionada com a altura do som?

A altura do som depende da frequência da onda sonora sendo alto ou agudo se possuir frequência elevada e baixo ou grave se for de baixa frequência.

2. Apresente a expressão que permite determinar o período de uma onda através da análise do sinal obtido por um osciloscópio.

$$T = n^{\circ} \text{ de divisões de um ciclo} \times \text{Time/Div}$$

3. A figura representa o ecrã de um osciloscópio onde se visualizam dois sinais elétricos. A base de tempo está regulada para 2,0 ms / div.



- 3.1. Compare a frequência dos dois sinais.

Os sinais apresentam a mesma frequência. O número de divisões de um pico ao pico consecutivo para as duas ondas é três pelo que as ondas apresentam o mesmo período e consequentemente a mesma frequência.

- 3.2. Calcule o valor do desfasamento temporal entre os dois sinais.

Como de um ponto de amplitude máxima de uma onda ao ponto de amplitude máxima da outra onda é uma divisão, o desfasamento temporal é de 2,0 ms.

- 3.3. Considere que os sinais apresentados representam dois sinais sonoros.

- a) Identifique o som mais intenso.

O som mais intenso é aquele que apresenta maior amplitude de pressão.

- b) Os sons apresentados são puros ou complexos? Justifique.

Os sons representados são sons puros uma vez que se apresentam como ondas sonoras harmónicas de frequência bem definida.

MATERIAL E EQUIPAMENTO

– Osciloscópio de feixe duplo

– Cabos coaxiais BNC e fios de ligação

- Gerador de sinais
- 2 microfones
- Auscultadores
- Altifalante
- Diapasões de diferentes frequências

I – CARACTERÍSTICAS DE ONDAS SONORAS E PROPRIEDADES DO SOM

ESQUEMA DE MONTAGEM



Figura 1A



Figura 1B

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1. Construir** tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.
- 2. Identificar e registar** as características de todos os instrumentos de medição e as respetivas incertezas de leitura na tabela I.
- 3. Ligar** o gerador de sinais à entrada CHA do osciloscópio (11), de acordo com a montagem da figura 1A.
- 4. Ligar** o osciloscópio (POWER) e selecionar o CHA em MODE (6). Ajustar a linha de base (comutador 13a na posição GND) em intensidade (2), focagem (3) e posição (9). Posteriormente, colocar o comutador 13a na posição DC.
- 5. Ligar** o gerador de sinais e selecionar uma frequência de aproximadamente 100 Hz.
- 6. Selecionar** uma escala de tempo TIME/DIV (8) adequada e ajustar o TRIG LEVEL (4) de modo a visualizar uma onda com um pequeno número de ciclos. Registrar os valores da escala de tempo e o número de divisões correspondente a um ciclo completo na tabela I.
- 7. Repetir** o procedimento anterior para uma frequência de 1 kHz.
- 8. Variar** a intensidade do sinal atuando no botão AMPL do gerador de sinais e observar o que acontece ao sinal representado no osciloscópio.

PROCEDIMENTO ALTERNATIVO (PONTOS 3 A 8)

- 3. Ligar** o microfone à entrada CHA do osciloscópio.
- 4. Ligar** o osciloscópio (POWER) e ajustar a linha de base (comutador 13 na posição GND) em intensidade, focagem e posição. Posteriormente, colocar o comutador 13 na posição DC.
- 5. Fazer** vibrar um dos diapasões percutindo-o com o martelo.
- 6. Selecionar** uma escala de tempo TIME/DIV adequada e ajustar o TRIG LEVEL de modo a visualizar uma onda com um pequeno número de ciclos. Registrar os valores da escala de tempo e o número de divisões correspondente a um ciclo completo na tabela I.
- 7. Repetir** o procedimento anterior usando o outro diapasão com frequência diferente.
- 8. Percutir** o diapasão com maior intensidade e observar o que acontece ao sinal representado no osciloscópio.

Utilização da calculadora gráfica...

O osciloscópio pode ser substituído por uma calculadora gráfica com interface de recolha de dados e microfone.

Calculadora: *TI-Nspire CX*, *Lab Cradle* e microfone *Vernier*.

1. Colocar a calculadora no *Lab Cradle* e ligar o microfone *Vernier* ao *Lab Cradle* no canal 1.
2. Ligar a calculadora (o microfone deverá ser logo reconhecido como sensor de pressão, aparecendo um ecrã semelhante ao da (figura 2).
3. Definir o nível de referência como zero:
 - > Premir a tecla **menu**;
 - > Selecionar sequencialmente os números: “**1: Experiência**”, “**9: Configurar sensores**”, depois selecionar o ícone “Zero” (figura 3)
4. Escolher um intervalo de tempo adequado para a visualização de um pequeno número de ciclos:
 - > Premir a tecla **menu**;
 - > Selecionar sequencialmente os números: “**1: Experiência**”, “**7: Modo de recolha**”, “**1: Baseado no tempo**”; Inserir a duração da recolha de dados (0,01 s) e selecionar “**Ok**” (figura 4).
5. Acionar o botão do canto superior esquerdo (iniciar).

II -

DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DE UM SINAL SONORO

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. **Ligar** dois microfones às entradas CHA e CHB do osciloscópio, como ilustrado na figura 5. Selecionar, alternadamente, os canais CHA e CHB em MODE e ajustar a linha de base para cada canal em intensidade, focagem e posição. Posteriormente, colocar o comutador na posição DC.
2. **Selecionar** o modo DUAL e verificar que os microfones se encontram bem alinhados em frente ao altifalante, de modo a que os dois sinais obtidos fiquem sobrepostos no ecrã.
3. **Assinalar** a posição anterior sobre a mesa de trabalho e afastar progressivamente um dos microfones, até observar de novo os sinais com os seus máximos alinhados no ecrã.
4. **Medir** e registar na tabela III a distância relativamente à posição inicial do microfone. Repetir o procedimento anterior de modo a obter três medições.

III – ESTUDO DO TIMBRE E DOS LIMITES DE AUDIBILIDADE

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. **Desconectar** o microfone da entrada CHB e selecionar CHA em MODE.
2. **Produzir** no microfone diferentes sinais sonoros, por exemplo, percutindo com o martelo um diapasão e emitindo os sons correspondentes às vogais “i” e “o” por cada elemento do grupo identificando e registando as diferenças nos sinais obtidos no ecrã do osciloscópio.
3. **Ligar** os auscultadores ao gerador de sinais.
4. **Selecionar** um sinal com frequência de 1 kHz. Amplificar o sinal de modo a que seja bem perceptível.
5. **Variar** a frequência, aumentando ou diminuindo relativamente ao valor anterior, sem alterar a amplificação. Registrar os valores aproximados da gama de frequências dos sinais audíveis.
6. **Repetir** o procedimento anterior com os diferentes elementos de grupo.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Escala de tempo e incerteza de leitura			
Frequência da fonte sonora / Hz	Intervalo de tempo (TIME / DIV) / s	Incerteza de leitura	N.º de divisões de um ciclo completo
400	$0,5 \times 10^{-3}$	$0,05 \times 10^{-3}$	5
1000	$0,2 \times 10^{-3}$	$0,02 \times 10^{-3}$	5

Nota: a utilização de instrumentos digitais, que possibilitam medições com sensibilidades semelhantes, podem apresentar um erro relativo nulo.

Tabela III – Distância entre microfones (Exemplos para um sinal com frequência de 1000 Hz e com temperatura do ar de 15,0 °C)		
Medição	Distância / m	Distância média
1	$0,3400 \pm 0,0005$	$0,3400 \text{ m} \pm 0,88\%$
2	$0,3430 \pm 0,0005$	
3	$0,3380 \pm 0,0005$	

Cálculo da incerteza absoluta de observação para a distância:

$$d_1 = |0,3400 - 0,3400| = 0,0000 \text{ m}$$

$$d_2 = |0,3430 - 0,3400| = 0,0030 \text{ m}$$

$$d_3 = |0,3380 - 0,3400| = 0,0020 \text{ m}$$

Sendo a incerteza absoluta de $\pm 0,0030 \text{ m}$, então:

$$\text{incerteza relativa } \% = \frac{\text{incerteza absoluta}}{\text{resultado da medição}} \times 100 \pm \text{incerteza relativa } \% = \frac{0,0030}{0,3400} \times 100 = 0,88\%$$

Tabela II – Período e frequência dos sinais			
Frequência da fonte sonora / Hz	Período / s	Frequência / Hz	$\square_r(\%)$
400	$2,50 \times 10^{-3}$	$4,00 \times 10^2$	0
1000	$1,00 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^3$	0

QUEST
 ÕES
 PÓS-
 LABOR
 ATORI

AIS

- 1.** Relacione a amplitude e a frequência das ondas, respetivamente, com a intensidade e a altura dos sons.

Quanto maior for a amplitude da onda sonora, maior é a intensidade do som. Quanto maior for a frequência da onda mais alto ou mais agudo é o som.

- 2.** Classifique os sons produzidos pelo gerador de sinais/diapasão e pela voz/instrumentos musicais.

O som produzido pelo gerador de sinais e pelo diapasão é um som harmónico (som puro). O som produzido pela voz ou pelos instrumentos musicais é complexo.

- 3.** Qual é a relação entre o afastamento de um microfone da fonte sonora e a amplitude do sinal?

Quanto maior for o afastamento entre a fonte sonora e o microfone, menor será a amplitude da onda captada por este pois à medida que um som se propaga no ar vai perdendo energia. Como a energia de uma onda sonora depende da frequência e da amplitude e atendendo a que a frequência não muda, diminuindo a energia da onda diminui a amplitude do sinal.

- 4.** Qual é a grandeza física a que corresponde a distância de afastamento entre os dois microfones, quando se sobrepõem os sinais? Justifique a resposta.

Como os sinais se sobrepõem quando os dois picos voltam a coincidir e a distância entre dois picos consecutivos corresponde ao comprimento de onda, então, a distância registada entre os dois microfones corresponde ao comprimento de onda.

- 5.** Os sons emitidos pelos diferentes elementos do grupo não produziram sinais iguais. Justifique este facto.

Ao emitir o som correspondente a cada vogal, os alunos deverão verificar a diferença de timbre uma vez que as ondas obtidas são diferentes. Cada onda resulta da combinação do som fundamental com os seus harmónicos, sendo estes diferentes em número e proporção de pessoa para pessoa, tal como se verifica com os instrumentos musicais.

- 6.** Compare os limites de audição do espectro sonoro com os limites de audição identificados experimentalmente.

Nesta atividade, os alunos deverão verificar que o ouvido humano deteta frequências compreendidas entre 20 Hz e 20 000 Hz. Poderão ainda reconhecer que, para uma mesma intensidade sonora, os sons agudos são melhor percecionados do que os sons graves.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL ALTERNATIVO

Com recurso à calculadora gráfica, *Lab Cradle* e sensor de diferença de potencial elétrico

SUGESTÕES METODOLÓGICAS

Note-se que a esta atividade laboratorial se aplica o descritor 25 das metas transversais: “Elaborar um relatório, ou síntese, sobre uma atividade prática, em formatos diversos”.

Sugere-se a utilização de um gerador de sinais digital, para que se possa definir com exatidão a frequência do sinal produzido uma vez que os geradores analógicos apenas permitem obter múltiplos de frequência.

O procedimento a seguir descrito é uma alternativa à utilização do osciloscópio e microfone para a análise das características das ondas sem que haja interferências do ruído do meio envolvente.

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Calculadora *TI-Nspire CX*
- *Lab Cradle*
- Sensor de diferença de potencial elétrico
- Gerador de sinais
- Fios de ligação e crocodilos

I – CARACTERÍSTICAS DE ONDAS SONORAS E PROPRIEDADES DO SOM

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1. Construir** tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.
- 2. Colocar** a calculadora no *Lab Cradle* e ligar o sensor de diferença de potencial elétrico ao *Lab Cradle* no canal 1.
- 3. Ligar** os terminais do sensor de diferença de potencial elétrico ao gerador de sinais.
- 4. Ligar** a calculadora (o sensor deverá ser logo reconhecido como sensor de diferença de potencial elétrico, aparecendo um ecrã semelhante ao da figura 1).
- 5. Ligar** o gerador de sinais.
- 6. Selecionar** uma frequência de aproximadamente 0,2 Hz e acionar a tecla verde para iniciar a recolha dos dados para um intervalo de tempo de 15 s. Guardar o gráfico obtido (figura 2).
- 7. Repetir** o procedimento anterior para uma frequência de 0,4 Hz (figura 3).

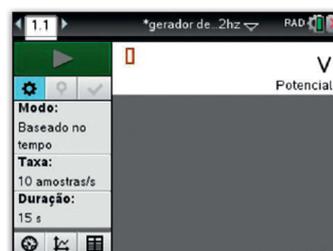


Figura 1

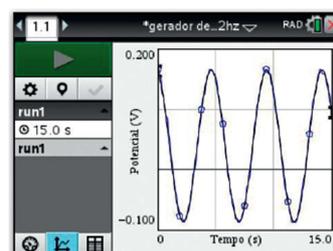


Figura 2

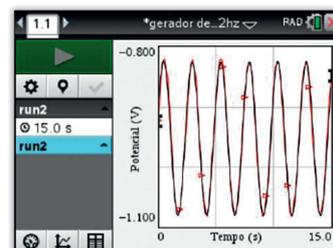


Figura 3

8. Selecionar os dois conjuntos de dados de modo a analisá-los em simultâneo e registar as observações (figura 4).

9. Variar a intensidade do sinal atuando na tecla AMPL do gerador de sinais e iniciar a recolha dos dados de modo a obter dois conjuntos de dados. Guardar os gráficos obtidos.

10. Comparar os gráficos, selecionando os dois ensaios anteriores e registar as observações (figura 5).

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

1. Determinar a equação de onda de cada um dos sinais, premindo a tecla **menu** e selecionar sequencialmente os números: **“4: Analisar”**, **“6: Ajuste da curva”**, **“8: Sinusoidal”** (figura 6).

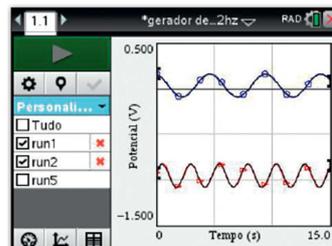


Figura 4

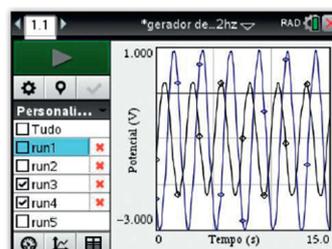


Figura 5

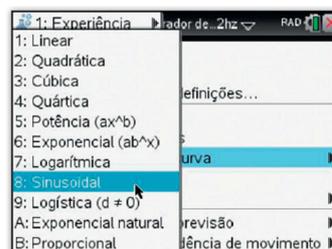


Figura 6

2. Para cada um dos sinais gerados, comprove o valor da frequência da fonte sonora determinando os valores do período, da frequência e o erro relativo associado, registando-os na tabela I.

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Período e frequência dos sinais			
Frequência da fonte sonora / Hz	Período / s	Frequência / Hz	\square , (%)
0,200	4,67	0,210	5,0
0,400	2,46	0,407	1,8

A frequência do sinal é determinada a partir da equação de onda (Figura 7):

$$\text{Como } y = A \sin(\omega t) \text{ e } \omega = 2 \pi f$$

$$\text{então } b = \omega = 2 \pi f$$

$$\text{logo } f = \frac{b}{2 \pi} = \frac{1,32}{2 \pi} = 0,210 \text{ Hz}$$

$$e_i = \frac{|\text{valor experimental} - \text{valor teórico}|}{\text{valor teórico}} \Rightarrow e_i = \frac{|0,210 - 0,200|}{0,200} = 0,050 \Leftrightarrow e_i = 5,0\%$$



Figura 7

2.2 ATIVIDADE LABORATORIAL

Velocidade de propagação do som

OBJETIVO GERAL

Determinar a velocidade de propagação de um sinal sonoro.

METAS ESPECÍFICAS

1. Medir a velocidade do som no ar (medição indireta).
2. Comparar o valor obtido para a velocidade do som com o tabelado, avaliar a exatidão do resultado e calcular o erro percentual.

EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

INTRODUÇÃO

Esta atividade laboratorial tem por objetivo determinar o intervalo de tempo que um som produzido na extremidade de uma mangueira, de comprimento conhecido, demora a atingir a outra extremidade estabelecendo o quociente entre estas duas grandezas físicas (comprimento e tempo) pode determinar-se a velocidade de propagação do som no ar. a velocidade de propagação avalia a maior ou menor facilidade com que um som se propaga num dado meio e depende da elasticidade e da densidade do meio. de um modo geral, verifica-se que quanto maior for a massa das partículas que constituem o meio material, maior é a dificuldade com que o som se propaga, uma vez que a inércia das partículas é maior. por outro lado, quanto mais fortes forem as interações entre as partículas mais rapidamente cada uma delas volta à sua posição de equilíbrio e mais rapidamente a onda se move. assim, a velocidade de propagação de um som é, em geral, maior nos meios sólidos do que nos meios líquidos e, por sua vez, maior nestes do que nos meios gasosos.

O outro fator que influencia a velocidade de propagação de um som é a temperatura, especialmente quando o meio é gasoso. verifica-se que para valores de temperatura entre $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, a velocidade do som no ar pode ser determinada, de forma aproximada, pela equação: $v = 331,4 + 0,607 t$, com a velocidade em metros por segundo e a temperatura em grau celsius.

seja qual for o tipo de ondas, mecânicas ou eletromagnéticas, decorre sempre um intervalo de tempo entre a emissão do sinal e a sua receção. a velocidade de propagação das ondas será tanto maior, quanto menor for o intervalo de tempo que a onda necessita para percorrer a distância entre a fonte e o recetor do sinal.

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

1. Indique os fatores de que depende a velocidade de propagação do som.

A velocidade de propagação do som depende da elasticidade, densidade e temperatura do meio, grandezas que são afetadas pela massa das partículas e pela força de interação entre elas.

(Nota: a expressão matemática para a velocidade de propagação de uma onda elástica é dada por: $v = \sqrt{\frac{k}{\rho_0}}$ em que k é a constante elástica do meio e ρ_0 é a massa volúmica do meio, que depende da temperatura e da humidade.)

2. Justifique o uso de uma mangueira de plástico e não de borracha para a realização da atividade.

Dada a elevada elasticidade da borracha, parte da energia transportada pela onda sonora iria ser absorvida, diminuindo

gradualmente a sua amplitude (atenuação), podendo comprometer a obtenção de um sinal de saída.

3. Um som harmónico e um som complexo, quando produzidos nas mesmas condições, apresentam a mesma velocidade de propagação no ar? Fundamente a sua resposta.

A velocidade de propagação não depende da fonte sonora ou do tipo de som produzido, apenas do meio de propagação. Sendo o mesmo meio de propagação, o ar, então a velocidade de propagação do som será igual.

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Computador
- Audacity (software para análise de som)
- Mangueira de plástico de elevado comprimento (cerca de 20 m)
- Microfone pequeno
- Dois blocos de madeira
- Fita métrica
- Termómetro

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1. Construir** tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.
- 2. Identificar e registar** as características de todos os instrumentos de medição e as respetivas incertezas de leitura na tabela I.
- 3. Medir** com rigor o comprimento da mangueira e o valor da temperatura ambiente do laboratório. Registar os dados na tabela II.
- 4. Enrolar** a mangueira de modo a que as duas extremidades estejam próximas entre si.
- 5. Ligar** o microfone ao computador, colocando-o junto de uma das extremidades da mangueira.
- 6. Selecionar** um programa de edição de som, por exemplo o Audacity, e ativar o modo de gravação.
- 7. Produzir**, com os dois blocos de madeira, um som seco e próximo da extremidade da mangueira. Terminar a gravação.
- 8. Ampliar** a imagem. Selecionar o pico de maior intensidade (som original) e o de menor intensidade (som captado pelo microfone após percorrer a mangueira).
- 9. Registar**, na tabela II, os instantes correspondentes aos picos de maior e menor intensidade, utilizando a escala do programa.
- 10. Repetir** o procedimento para 5 ensaios.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Incerteza de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Fita métrica	Comprimento	$\pm 0,0005$ m
Termómetro	Temperatura	$\pm 0,5$ °C

Tabela II – Intervalo de tempo entre picos	
Comprimento da mangueira: $21,0000$ m + $0,0005$ m	Temperatura: $20,0$ °C $\pm 0,5$ °C

Ensaio	Instante do pico de maior intensidade (t_i) / s	Instante do pico de menor intensidade (t_f) / s	Δt / s	$\Delta t_{\text{médio}}$
1	1,262	1,323	0,061	0,062 s \pm 0,001 s
2	1,341	1,404	0,063	
3	1,202	1,264	0,062	
4	1,354	1,415	0,061	
5	1,405	1,467	0,062	

1. Determine os intervalos de tempo entre o som original e o som captado pelo microfone após percorrer a mangueira, de modo a completar a tabela II.

QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS

1. Determine o módulo da velocidade do som no ar a partir dos dados obtidos experimentalmente.

$$v = \frac{d}{\Delta t_{\text{médio}}} = \frac{21,000}{0,062} = 339 \text{ m s}^{-1}$$

2. Compare o valor obtido experimentalmente com o valor teórico da velocidade do som tabelado nas condições em que se realizou a atividade e determine o erro relativo percentual.

$$v_{\text{Som teórico}} = 331,4 + 0,607 T$$

$$\text{Para uma temperatura de } 20 \text{ }^\circ\text{C: } v_{\text{Som teórico}} = 331,4 + 0,607 \times 20 = 344 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{\text{Som experimental}} = 339 \text{ m s}^{-1}$$

$$e_1 = \frac{|\text{valor experimental} - \text{valor teórico}|}{\text{valor teórico}} \Rightarrow e_1 = \frac{|339 - 344|}{344} = 0,0117 \Leftrightarrow e_1 = 1,17\%$$

3. Se o comprimento da mangueira fosse o dobro, quais seriam as grandezas afetadas?

Se o comprimento da mangueira fosse o dobro seria afetada a distância percorrida pelo som, que também passaria para o dobro. Como o meio de propagação se mantém, a velocidade de propagação não seria afetada por essa alteração pelo que o intervalo de tempo que o som demoraria a percorrer a mangueira também passaria para o dobro. Além disso, como a distância percorrida era maior, a energia perdida pelo som aumentaria pelo que a amplitude do pulso depois de percorrer a mangueira seria menor e mais difícil de identificar.

4. Preveja o módulo da velocidade do som, se a atividade se realizasse com uma temperatura ambiente superior à registada. Justifique a sua resposta.

O módulo da velocidade de propagação iria aumentar cerca de 0,6 m s⁻¹, por cada °C de aumento de temperatura.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL ALTERNATIVO

com recurso a calculadora gráfica e *lab cradle* e microfone *vernier*

Deve sensibilizar-se os alunos para o facto de a incerteza nas medições diretas se transmitir às medições indiretas, mas não se exige o respetivo cálculo. Assim sendo, é importante apresentar os resultados com o número correto de algarismos significativos.

Para a realização da atividade é importante que seja minimizado o barulho na sala de aula, para que não haja interferências no sinal obtido.

Grupos diferentes podem usar tubos de diferentes comprimentos e compararem resultados.

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Calculadora *TI-Nspire CX*
- *Lab Cradle*
- Microfone *Vernier*
- Tubo com 1 a 2 metros de comprimento (com uma das extremidades tapada)
- Fita métrica
- Tapa metálica
- Termómetro
- Suporte universal com garra e noz

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Construir tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.

2. Identificar e registar as características de todos os instrumentos de medição e as respetivas incertezas de leitura na tabela I.

3. Medir com rigor o comprimento do tubo e o valor da temperatura ambiente do laboratório. Registar os dados na tabela II.

4. Colocar a calculadora no *Lab Cradle* e ligar o microfone *Vernier* ao *Lab Cradle* no canal 1.

5. Ligar a calculadora e abrir um novo documento com a aplicação *Vernier DataQuest* (o microfone deverá ser logo reconhecido como sensor de pressão, aparecendo um ecrã semelhante ao da figura 1).

6. Posicionar o cursor sobre o campo “Pressão do som” e premir de modo a abrir a janela “Definições do medidor”. Definir nível de referência como zero (figura 2).

7. Posicionar o cursor sobre o campo “Taxa”, abrir a janela “Taxa” e definir para 5000 amostras por segundo (figura 3).

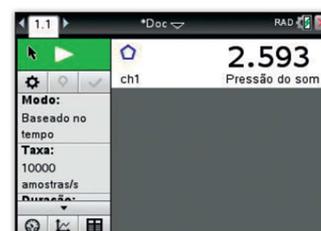


Figura 1

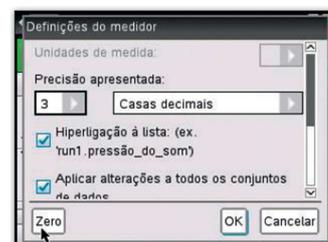


Figura 2

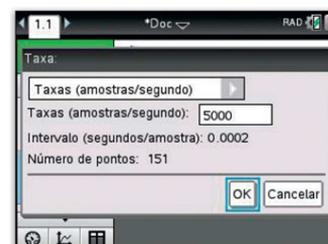


Figura 3

8. Configurar o modo de recolha dos dados. Premir a tecla **menu** e seleccionar sequencialmente: “**1: Experiência**”, “**B: Configuração Avançada**”, “**1: Acionamento**”, “**1: Configurar**”.

9. Procurar “*Insira o limiar do acionador*” e inserir o valor **0,1**. No campo “*Insira a percentagem de pontos antes do evento*” introduzir o valor **5** e seleccionar “Ok” (figura 4).

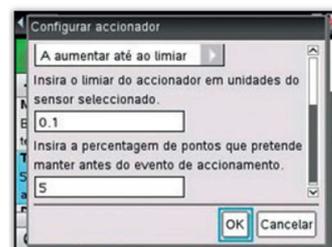


Figura 4

10. Acionar a tecla verde (botão iniciar). No ecrã, surgirá a mensagem “*A aguardar pelo evento de accionamento...*” (figura 5)



Figura 5

11. Produzir um som seco com a tampa metálica junto do sensor.

12. Deslocar o cursor de modo a identificar os instantes correspondentes ao pico de maior intensidade (som emitido) e o de menor intensidade (primeira reflexão) e registar os valores, na tabela II (figura 6).

13. Guardar os dados obtidos e repetir o procedimento para 5 ensaios

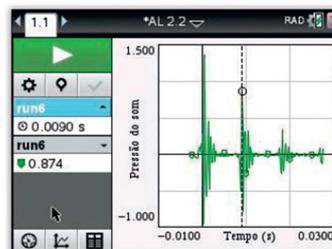


Figura 6

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Fita métrica	Comprimento	$\pm 0,0005$ m
Termómetro	Temperatura	$\pm 0,5$ °C

Tabela II – Intervalo de tempo				
Comprimento do tubo: 1,5000 m \pm 0,0005 m Temperatura: 15,0 °C \pm 0,5 °C				
Ensaio	Instante do som emitido (t) / s	Instante da 1.ª reflexão (t) / s	Δt / s	$\Delta t_{\text{médio}}$ / s
1	0,0000	0,0090	0,0090	0,0089 \pm 0,0001
2	0,0000	0,0088	0,0088	

3	0,0000	0,0088	0,0088	
4	0,0000	0,0090	0,0090	
5	0,0000	0,0090	0,0090	

OBJETIVO GERAL

Investigar os fenómenos de absorção, reflexão, refração e reflexão total, determinar o índice de refração de um meio em relação ao ar e prever o ângulo crítico.

METAS ESPECÍFICAS

1. Avaliar a capacidade refletora e a transparência de diversos materiais quando neles se faz incidir luz e a diminuição da intensidade do feixe ou a mudança da direção do feixe de luz.
2. Medir ângulos de incidência e de reflexão, relacionando-os.
3. Medir ângulos de incidência e de refração.
4. Construir o gráfico do seno do ângulo de refração em função do seno do ângulo de incidência, determinar a equação da reta de ajuste e, a partir do seu declive, calcular o índice de refração do meio em relação ao ar.
5. Prever qual é o ângulo crítico de reflexão total entre o meio e o ar e verificar o fenómeno da reflexão total para ângulos de incidência superiores ao ângulo crítico, observando o que acontece à luz enviada para o interior de uma fibra ótica.
6. Identificar a transparência e o elevado valor do índice de refração como propriedades da fibra ótica que guiam a luz no seu interior.

EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

INTRODUÇÃO

A ótica é o ramo da física que estuda os fenómenos relacionados com a luz. Uma vez que a visão é um dos sentidos que melhor permite a aquisição do conhecimento, desde a Antiguidade foram vários os físicos que procuraram entender os princípios por que se regem esses fenómenos óticos.

Quando uma radiação incide sobre uma superfície que separa dois meios com propriedades óticas distintas (diferentes índices de refração) pode sofrer diferentes fenómenos em simultâneo: a absorção, que provoca uma diminuição da intensidade do feixe enquanto atravessa o novo meio, a reflexão e a refração, que provocam uma mudança na direção da luz. Quando a luz muda de direção há, no entanto, uma relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão ou de refração, medidos em relação à normal da superfície de separação dos dois meios, dada pelas Leis da Reflexão ou da Refração da Luz, respetivamente.

No caso particular em que uma radiação se desloca num meio e incide na superfície que o separa de outro meio com índice de refração inferior existe um ângulo limite a partir do qual nenhuma radiação é refratada, observando-se o fenómeno da reflexão total. É nesse fenómeno que se baseia o funcionamento das fibras óticas.

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

1. Que fenómenos óticos podem ocorrer como resultado da interação da radiação com a matéria, comuns a vários tipos de ondas?

Reflexão, refração, reflexão total, absorção e difração.

2. Será que todos os materiais interagem do mesmo modo com a radiação?

Não, a repartição da energia incidente pela parte refletida, transmitida ou absorvida depende da natureza do material, da frequência da radiação e da inclinação do raio incidente.

3. Que relação existe entre os ângulos de incidência e de reflexão quando um feixe incide numa superfície refletora polida?

Na reflexão especular que ocorre numa superfície polida os ângulos de incidência e de reflexão são iguais.

4. A partir da lei da refração de Snell-Descartes, deduza a expressão que permite determinar o ângulo limite ou crítico numa reflexão total. Preveja qual é o ângulo crítico de reflexão total entre um meio, com índice de refração 1,47, e o ar.

A partir da Lei de Snell-Descartes obtém-se:

$$n_1 \operatorname{sen} a_i = n_2 \operatorname{sen} a_R$$

Considerando $a_R = 90^\circ$:

$$n_1 \operatorname{sen} a_C = n_2 \operatorname{sen}(90^\circ) \Leftrightarrow n_1 \operatorname{sen} a_C = n_2 \Leftrightarrow \operatorname{sen} a_C =$$

Considerando que $n_1 = 1,47$ (índice de refração do material) e que $n_2 \approx 1$, então:

$$\operatorname{sen} a_C = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \operatorname{sen} a_C = \frac{1}{1,47} = 0,680 \Rightarrow a_C = 42,8^\circ$$

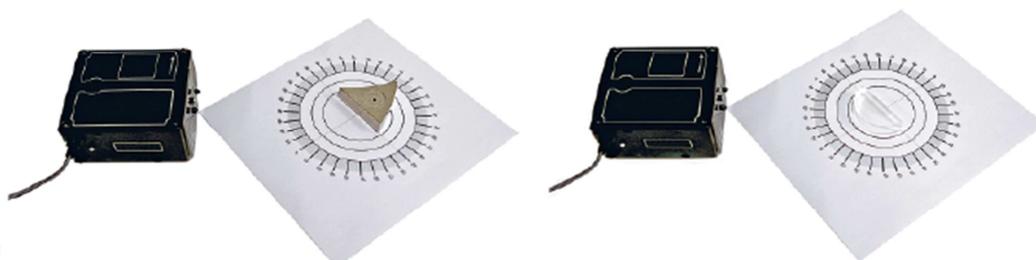
5. De acordo com a expressão anteriormente deduzida, estabeleça a relação entre o ângulo crítico e o índice de refração relativo entre dois meios.

Para que se verifique o fenómeno da reflexão total da luz, o índice de refração do meio 1 (n_1) tem de ser superior ao índice de refração do meio 2 (n_2). Quanto menor for o valor do quociente dos índices de refração dos meios, menor será a amplitude do ângulo crítico.

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Fonte de luz (caixa de raios ou *laser*)
- Banco de ótica
- Disco graduado (ou disco de Hartl)
- Espelho plano
- Lâmina de faces paralelas (ou lâmina transparente de secção semicircular)
- Anteparos de materiais diferentes (acrílico, vidro, madeira, alumínio, plástico, ...)
- Luxímetro
- Fibra ótica

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Construir tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.

I – OBSERVAÇÃO DE FENÓMENOS ÓTICOS EM DIFERENTES MATERIAIS

- 2. Montar**, no banco de ótica, a fonte de luz (fonte de luz pontual) e o luxímetro.
- 3. Intercalar** cada um dos anteparos de materiais diferentes entre a fonte de luz pontual e o luxímetro.
- 4. Verificar** a variação da intensidade luminosa registada no luxímetro para os diferentes materiais.
- 5. Identificar**, para cada material, o fenómeno ótico que mais se evidencia. Registrar as observações.

II – VERIFICAÇÃO DAS LEIS DA REFLEXÃO DA LUZ

- 6. Montar** no banco de ótica a fonte de luz (no caso da caixa de raios, seleccionar um único raio) e o disco graduado, de acordo com o esquema de montagem.
- 7. Colocar** sobre o disco graduado um espelho plano de modo que o feixe luminoso incida perpendicularmente à superfície polida do espelho (ângulo de incidência, $\alpha_i = 0^\circ$).
- 8. Rodar** o disco com o espelho para variar o ângulo de incidência e medir o respetivo ângulo de reflexão.
- 9. Registrar** as amplitudes do ângulo de incidência (α_i) e do ângulo de reflexão (α_r) na tabela I.
- 10. Repetir** os pontos 8 e 9 do procedimento para obter três medições diferentes.

III – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO DE UMA LÂMINA DE FACES PARALELAS

- 11. Substituir** o espelho plano por uma lâmina de faces paralelas ou uma lâmina transparente de secção semicircular.
- 12. Rodar** o disco com a lâmina transparente de secção semicircular de vidro para variar o ângulo de incidência e medir o respetivo ângulo de refração.
- 13. Registrar** as amplitudes do ângulo de incidência (α_i) e do ângulo de refração (α_R) na tabela II.
- 14. Repetir** os pontos 12 e 13 do procedimento para obter cinco medições diferentes.

IV – DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO CRÍTICO

- 15. Apontar** o feixe luminoso à lâmina de faces paralelas ou uma lâmina transparente de secção semicircular, obtendo um ângulo de incidência com amplitude de 0° .
- 16. Aumentar** lentamente a amplitude do ângulo de incidência até verificar que a amplitude do ângulo de refração é de 90° (na 2.ª face da lâmina). Registrar a amplitude do ângulo limite ou ângulo crítico.
- 17. Continuar** a aumentar a amplitude do ângulo de incidência e registar as observações.
- 18. Observar** a propagação do feixe de luz numa fibra ótica, apontando uma das suas extremidades à fonte de luz.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Verificação das leis da reflexão		
	Ângulo de incidência (α_i) / °	Ângulo de reflexão (α_r) / °
1	30,0 ± 0,5	31,0 ± 0,5
2	40,0 ± 0,5	40,0 ± 0,5
3	60,0 ± 0,5	60,0 ± 0,5

Tabela II – Verificação das leis da refração				
	α_i / °	α_r / °	sen α_i	sen α_r
1	20,0 ± 0,5	13,0 ± 0,5	0,342	0,225
2	30,0 ± 0,5	19,0 ± 0,5	0,500	0,326
3	45,0 ± 0,5	27,0 ± 0,5	0,707	0,454
4	60,0 ± 0,5	35,0 ± 0,5	0,866	0,574
5	70,0 ± 0,5	38,0 ± 0,5	0,940	0,616

1. Complete a tabela II calculando os valores do seno dos ângulos de incidência e de refração.
2. Utilizando a calculadora gráfica ou uma folha de cálculo, trace o gráfico do seno do ângulo de refração em função do seno do ângulo de incidência.

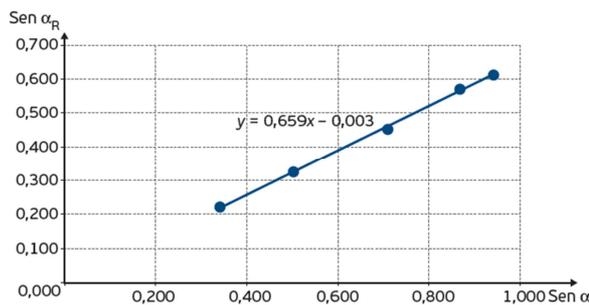
3. Determine a equação da declive, calcule o índice de

$$\frac{\text{sen } \alpha_i}{\text{sen } \alpha_r} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \frac{\text{sen } \alpha_r}{\text{sen } \alpha_i} = \frac{1}{n_2}$$

logo:

$$\text{declive} = 0,659$$

$$\frac{1}{n_2} = 0,659 \Leftrightarrow n_2 = 1,52$$



imentais e a partir do seu
) ao ar.

valor do índice de refração do material,

QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS

1. Dos materiais testados, quais os que são transparentes à luz visível?

São materiais transparentes o vidro e o acrílico pois verifica-se que o valor registado no luxímetro praticamente não sofre alteração quando se intercalam estes materiais entre a fonte e o detetor.

2. Nas situações em que, interpondo diversos materiais, o luxímetro não detetou radiação, é possível concluir que esta foi totalmente absorvida pelo material? Justifique.

Os fenómenos óticos como a reflexão, refração e absorção podem ocorrer simultaneamente daí que, o facto de o detetor não perceber radiação não implica, que esta tenha sido completamente absorvida.

3. Relacione os ângulos de incidência com os respetivos ângulos de reflexão e verifique se os resultados estão de acordo com a Lei da Reflexão da Luz.

A amplitude do ângulo de incidência é igual à do ângulo de reflexão.

4. Tendo em conta o valor obtido para o índice de refração do material que constitui a lâmina de faces paralelas em relação ao ar, identifique esse material.

O valor do índice de refração do material em relação ao ar é 1,52, assim e de acordo com a tabela apresentada na página 219 do manual podemos identificar o material como vidro crown.

5. Relacione o funcionamento da fibra ótica com as observações efetuadas quando o ângulo de incidência é superior ao ângulo crítico.

A fibra ótica é constituída por um núcleo e um revestimento de materiais diferentes, sendo o núcleo um material com índice de refração mais elevado em relação ao do revestimento. Quando, no núcleo, o ângulo de incidência da radiação é superior ao ângulo crítico, ocorre reflexão total da luz. As múltiplas reflexões da luz, no interior da fibra ótica, permitem o transporte da informação a uma velocidade próxima da velocidade da luz no vazio.

6. Indique quais as características determinantes na escolha do material que constitui a fibra ótica.

O núcleo deve ser constituído por um material transparente, de modo a minimizar as perdas de informação, e com um elevado índice de refração, de modo que não ocorra refração.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL ALTERNATIVO

com recurso a um conjunto de micro-ondas

Dado que no mercado estão disponíveis diferentes conjuntos de micro-ondas, será necessária a devida adaptação do protocolo a seguir apresentado aos materiais que compõem o conjunto existente na escola.

Apesar da potência do sinal emitido estar dentro dos valores de segurança standardizados, o professor deve alertar os alunos para não olhar diretamente para a saída do emissor a curtas distâncias, quando este se encontra em funcionamento.

Como o feixe de micro-ondas produzido é divergente, é necessário elevar a posição do emissor e do recetor relativamente à bancada de trabalho, para permitir o alinhamento com o centro dos anteparos utilizados e evitar também reflexões indesejadas.

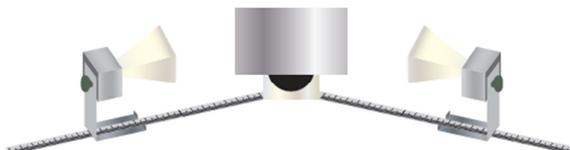
O emissor deve ser preferencialmente colocado no braço fixo do goniómetro, mantendo-se constante a posição entre o feixe de micro-ondas e os materiais sobre os quais incide. A montagem do recetor no braço móvel do goniómetro permite uma melhor deteção do sinal.

O prisma de cera pode ser substituído por um prisma oco de plástico, cujo interior se pode encher com líquidos de diferentes densidades (água, parafina, glicerina).

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Emissor e recetor de radiação micro-ondas (montados em suportes)
- Fonte de alimentação
- Goniómetro
- Placas de materiais diferentes (metal, madeira, vidro, acrílico, ...)
- Prisma de cera (parafina)

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Construir tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.

I – OBSERVAÇÃO DE FENÓMENOS ÓTICOS EM DIFERENTES MATERIAIS

2. Colocar o emissor e o recetor perfeitamente alinhados e com a mesma polarização, tendo o cuidado de colocar o emissor no braço fixo do goniómetro e o recetor no braço móvel para permitir uma melhor deteção do sinal de saída.

3. Ligar o emissor e o recetor. Interpor materiais variados (folha de papel branca, placa de metal, placa de vidro, placa de madeira, prisma de cera) sempre à mesma distância do emissor e observar o que acontece à intensidade medida.

II – VERIFICAÇÃO DAS LEIS DA REFLEXÃO

4. Afastar e aproximar lentamente o recetor observando o que sucede à intensidade medida.

5. Dispor, no goniómetro, o emissor de micro-ondas, a placa de metal e o recetor de modo que o emissor faça um ângulo de 20° com a placa de metal (ângulo de incidência). Rodar o braço do recetor até encontrar a posição em que é máxima a leitura medida e registar na tabela a amplitude do ângulo de reflexão.

6. Repetir o procedimento anterior para obter três medições diferentes.

7. Substituir a placa de metal pela placa de madeira, e em seguida pela placa de vidro (ou acrílico) e comparar a capacidade refletora destes materiais para a radiação micro-ondas.

III – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO

8. Colocar o prisma de cera entre o emissor e o recetor, de modo que o feixe do emissor incida perpendicularmente na primeira superfície. Rodar o braço móvel do recetor e localizar o ângulo para o qual se deteta um feixe com intensidade máxima (ângulo de refração).

9. Registrar as amplitudes do ângulo de incidência (α_i) e do ângulo de refração (α_R) na tabela II. Repetir o procedimento anterior para obter cinco medições diferentes.

IV – DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO CRÍTICO

10. Alinhar o emissor e o recetor. Colocar o prisma de cera entre o emissor e o recetor, de forma que o feixe do emissor incida perpendicularmente na primeira superfície. Anotar a intensidade medida.

11. Rodar o braço do recetor e ajustar a posição de forma a encontrar a leitura de intensidade máxima.

12. Registrar as observações efetuadas.

OBJETIVO GERAL

Investigar o fenómeno da difração e determinar o comprimento de onda da luz de um *laser*.

METAS ESPECÍFICAS

1. Identificar o fenómeno da difração a partir da observação das variações de forma da zona iluminada de um alvo com luz de um laser, relacionando-as com a dimensão da fenda por onde passa a luz.
2. Concluir que os pontos luminosos observados resultam da difração e aparecem mais espaçados se se aumentar o número de fendas por unidade de comprimento.
3. Determinar o comprimento de onda da luz do laser.
4. Justificar o uso de redes de difração em espectroscopia, por exemplo na identificação de elementos químicos, com base na dispersão da luz policromática que elas originam.

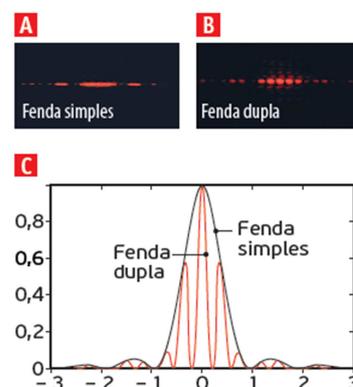
EXPLORAÇÃO DA ATIVIDADE LABORATORIAL

INTRODUÇÃO

A difração é um fenómeno que permite que uma onda atravesse fendas ou contorne obstáculos, sendo mais notória ou apreciável quando estes apresentam dimensões da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda que, para a luz visível, é da ordem de grandeza 10^{-6} m. A difração é explicada pelo princípio de Huygens segundo o qual quando os pontos de uma fenda ou de um obstáculo são atingidos pela frente de onda, estes tornam-se fontes de onda secundárias que mudam a direção de propagação da onda principal.

Considerando que uma radiação monocromática de uma fonte simples distante atravessa uma fenda estreita e é, posteriormente, intercetada por um alvo, a imagem apresentada no alvo é formada por um máximo central largo e intenso, e uma série de máximos mais estreitos e menos intensos dos dois lados do máximo central, designados por máximos secundários (figura 1A). Para um dado comprimento de onda, a largura do máximo central varia inversamente com a largura da fenda.

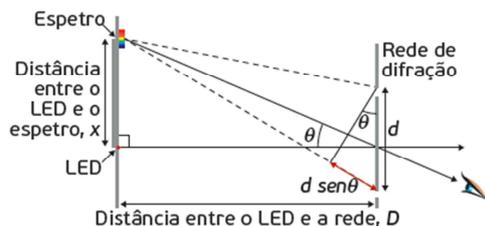
Quando existe mais do que uma fenda (por exemplo, uma fenda dupla), em cada uma delas existirá um fenómeno semelhante de difração. São, assim, criadas duas ondas a partir de cada fenda que se irão sobrepor criando interferência construtiva ou destrutiva o que resulta em zonas de franja clara ou escura, respetivamente (figura 1B). À medida que aumenta o número de fendas por unidade de comprimento, os pontos luminosos aparecem mais espaçados.



1. Fenómenos de difração produzida por uma fenda simples (A) e uma fenda dupla (B), e gráfico da intensidade da luz produzida (C).

Uma rede de difração é um conjunto elevado de linhas ou fendas paralelas, todas com a mesma largura, a , e com

a mesma distância, d , entre os inícios de duas linhas consecutivas. Com a rede de difração é possível observar o espectro de emissão visível de um LED (figura 2).



$$\operatorname{tg} \theta = \frac{x}{D}$$

$$d = \frac{1}{n.^\circ \text{ fendas}} \text{ (mm)}$$

2. Esquema para observação do espectro de emissão visível de um LED a partir de uma rede de difração.

A posição de uma radiação do espectro, mantendo fixa a distância entre o LED e a rede de difração, é dada por $n \lambda = d \operatorname{sen} \theta$, onde $n = 1$ para o primeiro máximo visível.

Através de redes de difração obtém-se, por dispersão policromática, o espectro de uma fonte de luz. A partir dos comprimentos de onda medidos é possível identificar a composição química da matéria constituinte da fonte, como acontece no estudo das estrelas, uma vez que cada elemento químico possui o seu próprio espectro.

QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS

1. Explique a razão pela qual o fenómeno da difração é mais perceptível nas ondas sonoras do que nas ondas luminosas.

O fenómeno da difração torna-se perceptível quando as dimensões dos obstáculos ou orifícios são da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda. Assim, como as ondas sonoras audíveis têm comprimentos de onda que variam entre os 2 cm e os 20 m, difratam-se facilmente em diversos obstáculos.

2. Numa difração de fenda simples, qual é o efeito causado pelo aumento da largura da fenda?

O aumento da largura da fenda produz uma diminuição da largura do máximo central, uma vez que são inversamente proporcionais.

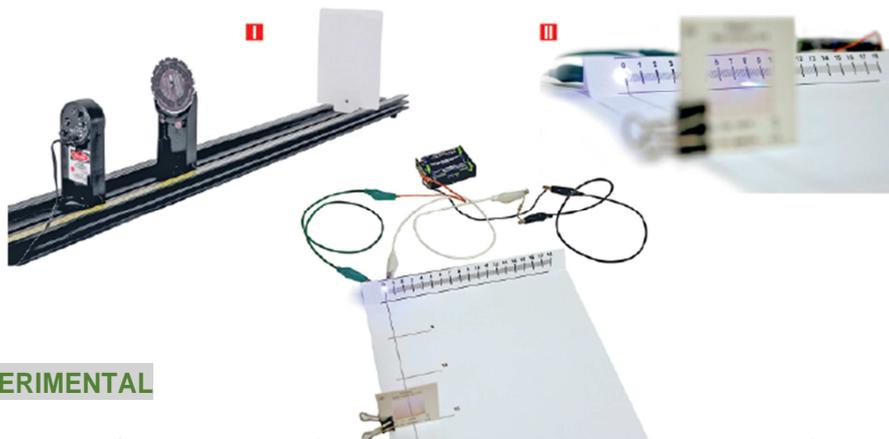
3. Considere uma rede de difração com 20 mm que possui 10000 linhas. Calcule a distância entre duas fendas consecutivas, em unidades SI e em mm.

$$d = \frac{20 \times 10^{-3}}{10\,000} = 2,0 \times 10^{-6} \text{ m} = 2,0 \mu\text{m}$$

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Laser
- Fenda simples de abertura variável
- Conjunto de fendas de várias aberturas
- Banco de ótica
- LED
- Rede de difração (300 a 600 linhas / mm)
- Grampo para segurar a rede de difração
- 3 Pilhas de 1,5 V e respetivo suporte
- Uma resistência de) 200 Ω
- Fios de ligação
- Régua impressa

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1. Construir** tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.
- 2. Identificar** e **registar** as características de todos os instrumentos de medição e as respetivas incertezas de leitura na tabela I.

I – VERIFICAÇÃO DO FENÓMENO DA DIFRAÇÃO

- 3. Montar** o *laser* e uma fenda simples de abertura variável, de acordo com o esquema de montagem.
- 4. Apontar** o feixe do *laser* perpendicularmente para uma fenda de abertura variável e, iniciando com a abertura máxima, observar no alvo as variações na forma da zona iluminada à medida que se vai fechando a fenda. Registar as observações.
- 5. Intercalar** diferentes redes de difração entre o feixe do *laser* e o alvo de modo a aumentar o número de fendas por unidade de comprimento. Observar e registar as alterações no padrão de difração.

II – DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DA LUZ EMITIDA POR UM LED

- 6. Efetuar** a montagem do circuito elétrico de modo a ligar em série as 3 pilhas, o LED e a resistência.
- 7. Dobrar** a régua impressa, e colocar o LED através de um orifício no zero da escala horizontal.
- 8. Colocar** a rede de difração a uma certa distância do LED e registar esse valor na tabela II.
- 9. Olhar** através da rede de difração e observar o espectro que se forma sobre a régua.
- 10. Identificar** a radiação central desse espectro e registar a distância ao LED na tabela II.
- 11. Repetir** os procedimentos 8 a 10 alterando a posição da rede de difração de modo a obter cinco medições diferentes.

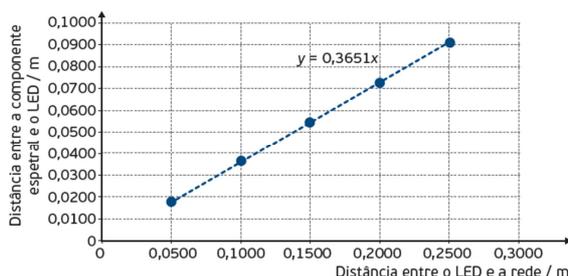
REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de valores obtidos na realização da atividade.

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Régua	Comprimento	$\pm 0,0005$ m

Tabela II – Determinação do comprimento de onda		
	Distância entre o LED e a rede / m	Distância entre o LED e o espetro / m
1	0,0500	0,0180
2	0,1000	0,0370
3	0,1500	0,0550
4	0,2000	0,0730
5	0,2500	0,0910

1. Utilizando a calculadora gráfica ou uma folha de cálculo, trace o gráfico da distância do LED ao espetro em função da distância entre o LED e a rede de difração.



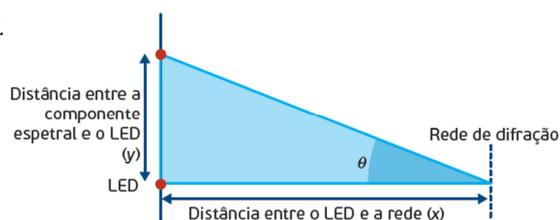
2. Determine a equação da reta que melhor se ajusta ao conjunto de pontos experimentais e indique o significado físico do declive da reta.

Através do gráfico, obtém-se a seguinte equação da reta: $y = 0,3651 x$.

A análise da figura permite concluir que:

$$\frac{x}{y} = \operatorname{tg} \theta$$

Logo, o declive da reta corresponde à tangente do ângulo θ .



QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS

1. Estabeleça a relação entre a abertura da fenda e a imagem observada no alvo (largura do máximo central).

À medida que diminuiu a largura da fenda, observa-se uma franja central (máximo central) mais larga e menos nítida. Assim, para um mesmo comprimento de onda, a largura do máximo central varia inversamente com a largura da fenda.

2. Relacione o aumento do número de fendas com o padrão de difração obtido.

À medida que aumenta o número de fendas por unidade de comprimento, a distância de separação entre estas diminui, as franjas principais ficam menos intensas, mais largas e espaçadas, diminuindo assim o número total de franjas observadas.

Nota: Isto acontece porque a distância entre os máximos principais depende da distância de separação entre as fendas.

Se, por outro lado, o espaçamento entre as fendas for mantido constante, à medida que aumenta o número de fendas, as franjas observadas tornam-se mais estreitas e nítidas, mantendo as mesmas posições. Aparecem ainda franjas secundárias de menor intensidade entre as franjas principais. Estas franjas secundárias aumentam em quantidade com o aumento do número de fendas, contudo, as suas intensidades tornam-se tão pequenas que ficam impercetíveis.

3. Considerando o número de linhas por milímetro indicado na rede de difração utilizada, calcule a distância entre duas fendas consecutivas (D) em unidades SI.

Considerando, por exemplo, uma rede de difração com 600 linhas / mm, então:

$$d = \frac{1 \times 10^{-3}}{600} = 1,67 \times 10^{-6} \text{ m}$$

4. A partir dos dados experimentais, determine o comprimento de onda (λ) da luz emitida pelo LED. Compare o resultado obtido com o valor de referência no espectro visível para a cor do LED, determinando o erro relativo em percentagem.

Exemplo para um LED amarelo:

$$\text{declive da reta} = \text{tg } \theta = 0,3651 \Rightarrow \theta = 20,06^\circ$$

$$n \lambda = d \text{ sen } \theta \Rightarrow 1 \lambda = 1,67 \times 10^{-6} \times \text{sen}(20,06^\circ) \Leftrightarrow \lambda = 5,73 \times 10^{-7} \text{ m} = 573 \text{ nm}$$

A radiação de cor amarela apresenta um valor tabelado de 570 nm, pelo que o valor obtido é bastante aproximado.

$$e_r = \frac{e_a}{x_r} \pm e_r = \frac{|573 - 570|}{570} = 0,005 \Leftrightarrow e_r(\%) = 0,5\%$$

5. Como é que uma rede de difração pode ser usada para identificar um elemento químico? Justifique.

Cada elemento químico apresenta um padrão de riscas espectrais único que permite a sua identificação. Fazendo passar a luz emitida por esse elemento por uma rede de difração é possível determinar o comprimento de onda da radiação e, assim, comparar com os espectros padrão dos elementos químicos o que permite a sua identificação.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL ALTERNATIVO

Com recurso a *laser*

Note-se que a esta atividade laboratorial se aplica o descritor 25 das metas transversais: “Elaborar um relatório, ou síntese, sobre uma atividade prática, em formatos diversos.

De acordo com as Orientações e sugestões do Programa, a expressão $n \lambda = d \sin \theta$ deve ser fornecida ao aluno sempre que a atividade “Comprimento de onda e difração” seja objeto de avaliação.

Sugere-se que se alerte os alunos para os perigos inerentes à utilização de um *laser*. É obrigatório o uso de óculos de proteção.

Para garantir a segurança dos alunos a potência do *laser* utilizado não deve ser superior a 1 mW, embora um *laser* de 5 mW não apresente qualquer risco se não se olhar diretamente para o feixe de luz. A acuidade visual depende do comprimento de onda da radiação emitida pelo *laser*. No verde a sensibilidade é cerca de cinco vezes maior do que no vermelho e, no vermelho, é bastante mais visível um feixe de 630 nm do que 670 nm.

Numa rede de difração à medida que o número de fendas por unidade de comprimento aumenta, o espaçamento entre elas diminui.

II – DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DA LUZ EMITIDA POR UM LASER

MATERIAL E EQUIPAMENTO

- *Laser*
- Rede de difração (300 a 600 linhas / mm)
- Banco de ótica
- Alvo com folha de papel milimétrico

ESQUEMA DE MONTAGEM



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1. Construir** tabelas semelhantes às sugeridas em [REGISTOS E TRATAMENTO DE RESULTADOS] para registo dos resultados experimentais.
- 2. Identificar e registar** as características de todos os instrumentos de medição e as respetivas incertezas de leitura na tabela I.
- 3. Efetuar** a montagem esquematizada na figura, tendo em atenção que o alvo deve ser colocado perpendicularmente ao banco de ótica.
- 4. Medir** a distância entre a rede de difração e o alvo e registar esse valor na tabela II.
- 5. Ligar** o *laser* e obscurecer a sala de modo a observar os pontos luminosos formados no alvo.
- 6. Marcar** a lápis, no papel milimétrico, as posições do máximo central (mais intenso) e dos máximos de

1.^a ordem (pontos adjacentes à esquerda e à direita) produzidos no alvo.

7. Ligar as luzes da sala e medir a distância entre o máximo central e qualquer um dos máximos de 1.^a ordem. Registrar esse valor na tabela II.

8. Repetir os procedimentos 4 a 7 alterando a posição da rede de difração de modo a obter cinco medições diferentes.

REGISTO E TRATAMENTO DE RESULTADOS

Exemplos de tabelas a construir, no caderno de apontamentos do aluno, para o registo dos resultados da atividade.

Tabela I – Incertezas de leitura		
Instrumento de medida	Grandeza medida	Incerteza de leitura
Régua		

Tabela II – Determinação do comprimento de onda		
	Distância entre a rede de difração e o alvo / m	Distância entre o máximo central e o máximo de 1. ^a ordem / m
1		

