

INSTITUTO DE
EDUCAÇÃO
—
ULISBOA

RECURSOS STEM PARA A APRENDIZAGEM DOS ALUNOS

Coordenação
Mónica Baptista

Coordenação

Mónica Baptista

Autores

André Silva

Horácio Fernandes

Iva Martins

João Paulo Costa

Mónica Baptista

Paulo Maurício

Teresa Conceição

Desenho gráfico e paginação

Assessoria do IE-ULisboa

ISBN

78-989-8753-67-0

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto ref.^a PTDC/CED-EDG/31480/2017.

Por favor, cite esta publicação como:

Baptista, M. (Coord) (2023). *Recursos STEM para a aprendizagem dos alunos*.

Lisboa: REDESCOLA – Instituto de Educação da Universidade de Lisboa.

Capítulo 1 - Introdução	5
Capítulo 2 - Eletricidade	9
Circuitos elétricos: Engenharia reversa	11
Objetivos de aprendizagem	11
Público-alvo	11
Apresentação da tarefa	11
Guião do aluno	13
Exploração da tarefa	14
Materiais condutores e isolantes elétricos	17
Objetivos de aprendizagem	17
Público-alvo	17
Apresentação da tarefa	17
Guião do aluno	19
Exploração da tarefa	22
Lei de Ohm e Choques elétricos	24
Objetivos de aprendizagem	24
Público-alvo	24
Apresentação da tarefa	24
Guião do aluno	26
Exploração da tarefa	28
Capítulo 3 - Transformações de Energia	30
Objetivos de aprendizagem	30
Público-alvo	30
Apresentação da tarefa	30
Guião do aluno	33
Exploração da tarefa	36

Capítulo 4 - Funcionamento dos painéis fotovoltaicos	45
Objetivos de aprendizagem	45
Público-alvo	45
Apresentação da tarefa	45
Guião do aluno	48
Exploração da tarefa	51
Capítulo 5 - O Pêndulo Gravítico	55
Objetivos de aprendizagem	55
Público-alvo	55
Apresentação da tarefa	55
Guião do aluno	56
Exploração da tarefa	58
Capítulo 6 - Atrito e movimento no plano inclinado	71
Objetivos de aprendizagem	71
Público-alvo	71
Apresentação da tarefa	71
Guião do aluno	74
Exploração da tarefa	76

Mónica Baptista

STEM é um acrónimo em inglês de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, que surgiu nos anos 90, nos Estados Unidos, pela *National Science Foundation* (NSF) (inicialmente, SMET)¹, como forma de consubstanciar uma linha de propostas educativas que visavam satisfazer a necessidade de cativar alunos e futuros profissionais para estas quatro áreas do conhecimento (Bybee, 2013, Sanders, 2009). Esta necessidade traduziu-se, nos EUA, em reformas curriculares como, por exemplo, o desenvolvimento dos *Next Generation Science Standards* (NGSS, 2013), nos quais há uma forte ênfase no STEM.

A Educação STEM foi-se expandindo gradualmente a nível internacional (Sanders, 2009) e atualmente é reconhecida globalmente como fundamental para a aumento do interesse dos alunos por carreiras STEM (Reeve, 2021) e para a promoção da sua literacia STEM. Perante o crescimento do movimento STEM, têm surgido internacionalmente várias iniciativas de reformulação dos currículos e de criação de ambientes de aprendizagem que deem relevo à Educação STEM, bem como financiamentos de projetos de investigação nesta área (Erduran, 2020).

Não obstante a sua expansão, na literatura não há um consenso em relação ao significado de Educação STEM. Porém, são vários os autores que defendem que a Educação STEM implica a integração curricular das quatro áreas do conhecimento a nível interdisciplinar ou transdisciplinar (e.g., Sanders, 2009). Nos últimos cinco anos, temos vindo a assistir a um aumento de investigações que propõe modelos de integração das quatro áreas do conhecimento (S-T-E-M). Um exemplo é o estudo desenvolvido por Thibaut e colegas (2018) que, a partir de uma revisão de literatura, desenvolvem um modelo com cinco ideias-chave (Figura 1.1): (1) *integração dos conteúdos das disciplinas STEM*. Essa integração implica tornar os conteúdos (i.e., conceitos) de cada disciplina explícitos para os alunos, ajudando-os a desenvolver os seus conhecimentos e competências; (2) *aprendizagem baseada na resolução de problemas*. Trata-se de uma metodologia essencial para envolver os alunos em problemas reais, vinculados a um contexto motivador; (3) *inquiry*. É descrito como sendo uma metodologia que envolve os alunos em diferentes processos (e.g. questionamento, recolha e interpretação de dados, experimentação, etc.), tendo em vista resolverem um problema inicial; (4) *aprendizagem baseada em design*. O *design* permite envolver ativamente os alunos na resolução de problemas práticos, na construção de modelos e protótipos, na sua testagem e avaliação dos protótipos. Trabalhar o design thinking dos estudantes

¹ Sanders (2009) refere que a mudança de SMET para STEM, feita pela NSF, foi apenas uma questão de o tornar mais apelativo.

permite-lhes desenvolver outras formas de pensar, associadas ao imaginar, criar, fazer e otimizar; (5) *trabalho cooperativo*. O recurso ao trabalho cooperativo possibilita o desenvolvimento de competências de trabalho em grupo, negociação de significados e de comunicação.

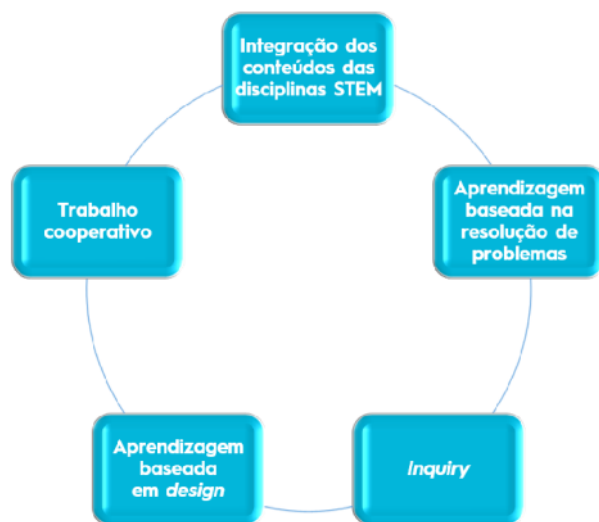


Figura 1.1 Modelo de integração STEM (adaptado de Thibaut e colegas, 2018)

A Educação STEM tem ganhado espaço, nos últimos anos, no campo da investigação, e é claro o interesse da comunidade científica neste âmbito (Li, Wang, Xiao & Froyd, 2020). Por exemplo, são diversos os estudos existentes sobre os benefícios da Educação STEM, levando os alunos a interessarem-se pelas disciplinas STEM, nos ensinos básico e secundário (e.g. Knezek, Christensen, Tyler-Wood & Periathiruvadi, 2013), a seguirem carreiras em áreas STEM (e.g., Shahali et al., 2017; Kitchen, Sonnert & Sadler, 2018) e a realizarem aprendizagens (e.g., Gazibeyoglu & Aydin, 2019; Tati, Firman & Riandi, 2017). No estudo conduzido por Gazibeyoglu e Aydin (2019), os autores investigaram os efeitos de atividades STEM nas aprendizagens dos alunos e nas suas perspetivas sobre a tipologia de atividades realizadas. Como instrumentos de recolha de dados, utilizaram um questionário com respostas abertas, para avaliar as opiniões dos alunos, e um teste de avaliação de conhecimentos, aplicado antes e depois da realização das atividades. No grupo experimental, os tópicos foram abordados seguindo uma metodologia de *inquiry*. Os resultados mostraram que a realização de atividades STEM, centradas nos tópicos forças e energia, se traduziu numa melhoria dos resultados académicos dos alunos do grupo experimental, quando comparados com o grupo de controlo.

De referir que, a investigação sobre programas STEM e os seus benefícios para os alunos, se centra, essencialmente, em contextos não formais de ensino, tais como *workshops* (e.g., Schnittka et al., 2015), ou programas de formação desenvolvidos nas universidades (e.g., Beier et., 2019). Para além disso, focam-se sobretudo na avaliação dos efeitos dessas abordagens, em termos da motivação e interesse pelo prosseguimento de carreiras científicas.

O projeto GoSTEM, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, procurou ir mais longe e conhecer os efeitos de um programa STEM, implementado durante dois anos, em contexto formal e não formal, no interesse dos alunos pelas aulas de física, na sua intenção de seguirem carreiras STEM e nas suas aprendizagens. Para isso, um programa STEM foi concebido por investigadores das instituições de ensino superior, em conjunto com professores dos ensinos básico e secundário. O programa consistiu no desenvolvimento de várias tarefas STEM, baseadas no modelo de Thibaut e colegas (2018), e na sua implementação em contexto formal (i.e., nas salas de aula pelos professores) e não formal (i.e., em workshops que decorreram nas instituições do ensino superior). O programa STEM foi concretizado em 43 agrupamentos de escolas e envolveu cerca de 66 professores e 1100 alunos.

Esta publicação resulta de uma compilação de recursos desenvolvidos no quadro do projeto GoSTEM. Mais concretamente, reúne cinco tarefas contruídas durante o programa STEM e que foram selecionadas pela equipa do IE-ULisboa. Para cada uma das tarefas apresentam-se sugestões de implementação em contexto formal, bem como alguns exemplos de produções escritas dos alunos.

Assumindo o formato de e-Book, este livro organiza-se em seis capítulos. O primeiro capítulo enquadra e descreve sumariamente os objetivos do projeto GoSTEM. O capítulo 2 destina-se ao tema eletricidade, o capítulo 3 ao tema transformações de energia, o capítulo 4 ao tema funcionamento dos painéis fotovoltaicos, o capítulo 5 ao tema pêndulo gravítico e o capítulo 6 ao tema atrito e movimento no plano inclinado.

Referências

- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA press.
- Erduran, S. (2020). Nature of “STEM”? *Science & Education*, 29, 781-784.
- Knezek, G., Christensen, R., Tyler-Wood, T., & Periathiruvadi, S. (2013). Impact of environmental power monitoring activities on middle school student perceptions of STEM. *Science Education International*, 24(1), 98-123.
- Next Generation Science Standarts [NGSS]. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. The National Academies Press.
- Reeve, E. M. (2021). The need for STEM education: now more than ever! *Southeast Asian Journal of STEM Education*, 2(1), 94-110.
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM Education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-27.
- Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Pauw, J. B., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P., Depaepe, F. (2018). Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 1-12.
- Gazibeyoglu, T., & Aydin, A. (2019). The effect of STEM-based activities on 7th grade students' academic achievement in force and energy unit and students' opinions about these activities. *Universal Journal of Educational Research*, 7(5), 1275-1285. <https://doi.org/10.13189/ujer.2019.070513>

Tati, T., Firman, H., & Riandi, R. (2017). The Effect of STEM Learning through the Project of Designing Boat Model toward Student STEM Literacy. *Journal of Physics: Conference Series*, 895(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/895/1/012157>

Beier, M., Kim, M., Saterbak, A., Leautaud, V., Bishnoi, S., Gilberto, J. (2019). The effect of authentic project-based learning on attitudes and career aspirations in STEM, *Journal Research in Science Teaching*, 56, 3-23.

Kitchen, J. A., Sonnert, G., & Sadler, P. M. (2018). The impact of college- and university-run high school summer programs on students' end of high school STEM career aspirations. *Science Education*, 102(3), 529-547. <https://doi.org/10.1002/sce.21332>

Schnittka, C., Evans, M., Drape, T., & Won, S. (2015). Looking for learning in after school spaces: Studio STEM. *Research in Science Education*, 46, 389-412. <https://doi.org/10.1007/s11165-015-9463-0>.

Shahali, E. H. M., Halim, L., Rasul, M. S., Osman, K., & Zulkifeli, M. A. (2017). STEM learning through engineering design: Impact on middle secondary students' interest towards STEM. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(5), 1189-1211. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00667a>

Teresa Conceição, André Silva & Mónica Baptista

Relevância do tema

A Eletricidade é uma parte fundamental da educação científica, uma vez que está subjacente a muitos fenómenos naturais. A compreensão dos princípios da Eletricidade é essencial para compreender como funciona o mundo. Por exemplo, ajuda-nos a compreender como a corrente elétrica flui através de circuitos elétricos, como funcionam os motores elétricos, e como medir a tensão e corrente elétrica.

Na educação tecnológica e de engenharia, a Eletricidade é um componente crítico, uma vez que é a fonte de alimentação de muitos dispositivos e sistemas. A energia elétrica alimenta máquinas, computadores e veículos. O conhecimento da Eletricidade é também essencial para a conceção e construção de sistemas elétricos, tais como centrais elétricas e redes elétricas.

Na educação matemática, os princípios da Eletricidade são utilizados no cálculo de grandezas elétricas, tais como a tensão, a corrente elétrica e a resistência elétrica. Estes princípios são também aplicados na resolução de problemas matemáticos relacionados com circuitos e sistemas elétricos.

Em suma, o estudo da Eletricidade é uma parte integrante da Educação STEM, fornecendo a base para a compreensão e aplicação de princípios científicos, tecnológicos, de engenharia, e matemáticos.

Estrutura do capítulo

Este capítulo encontra-se organizado em três partes: Parte I, 'Circuitos elétricos-Engenharia reversa', parte II, 'Materiais condutores e isolantes elétricos', e parte III, 'Lei de Ohm e choques elétricos'. As três tarefas que se apresentam em cada uma das partes permitem, no seu conjunto, têm os seguintes objetivos gerais:

- desenvolver a literacia científica dos alunos, porque contribui para despertar o seu interesse e compreensão acerca do mundo que os rodeia, nas áreas STEM;
- fomentar o interesse dos alunos para prosseguirem carreiras científicas;
- fomentar a igualdade de género nas áreas STEM;
- saber o conceito de Engenharia Reversa e trabalhá-lo;
- proporcionar trabalho prático, para o desenvolvimento do raciocínio e a capacidade de resolver problemas (observação, formulação de hipóteses e interpretação);

- proporcionar o trabalho prático em grupo, contribuindo para a capacidade de o aluno desenvolver relações interpessoais;
- promover a comunicação entre os alunos e com o professor, por escrito e oralmente, sobre as aprendizagens e obstáculos dos alunos, usando linguagem científica;
- promover a imaginação e a criatividade.

Circuitos elétricos: Engenharia reversa

Objetivos de aprendizagem

- Saber conceitos básicos de eletricidade (corrente elétrica, tensão, força eletromotriz, fonte e recetor de energia, resistência elétrica, circuitos elétricos em série e em paralelo, funcionamento de um circuito elétrico simples).
- Planificar e montar circuitos elétricos simples, esquematizando-os.
- Avaliar a associação de recetores em série e em paralelo.
- Verificar, experimentalmente, os efeitos da corrente elétrica.
- Reconhecer regras básicas de segurança na montagem de circuitos elétricos, devido à utilização de correntes elétricas baixas, ambientes secos, equipamento adequado ao uso com a corrente elétrica e uso de materiais em boas condições.

Público-alvo

Alunos com idades compreendidas entre os 14 e 15 anos.

Apresentação da tarefa

Nesta tarefa recorre-se ao conceito de engenharia reversa, que é o processo de examinar um produto ou sistema para compreender como foi concebido, como funciona, e como pode ser modificado ou reproduzido. O princípio da engenharia reversa envolve a desconstrução de um produto ou sistema nos seus componentes e a análise de cada um deles para compreender como funciona no seu conjunto. A engenharia reversa é, frequentemente, utilizada para criar produtos ou sistemas semelhantes, para identificar vulnerabilidades ou falhas em produtos ou sistemas existentes, ou para melhorar os projetos existentes. Por exemplo, a engenharia reversa pode envolver a análise do hardware, software de um produto ou sistema, bem como dos seus componentes físicos e materiais.

A engenharia reversa é normalmente utilizada em campos tais como engenharia, informática, e pode envolver uma vasta gama de técnicas, incluindo desmontagem de software, análise de placas de circuitos e outros componentes eletrónicos, e exame de protótipos ou de modelos físicos. No entanto, é importante notar que a engenharia reversa pode estar sujeita a restrições legais e éticas, particularmente quando envolve produtos ou sistemas patenteados ou com direitos de autor.

No campo da educação recorre-se ao princípio da engenharia reversa como um meio dos alunos desenvolverem conhecimentos, habilidades e atitudes importantes no seu percurso escolar.

A parte I, da tarefa, 'Circuitos elétricos: Engenharia reversa' inicia pedindo aos alunos que representem um grupo de engenheiros, técnicos e eletricitas que trabalham numa empresa de equipamentos elétricos, cujo trabalho consiste em analisar e descobrir como funciona um novo produto, de uma empresa concorrente, que está a ser um sucesso de vendas. O objetivo consiste em melhorar ou inovar o produto para depois construir um semelhante. Logo a seguir, os alunos são

desafiados a observar o produto, que consiste em caixas de cartão, designadas de 'Caixa Mistério'. As 'Caixa Mistério', estão fechadas, de modo que os alunos não tenham acesso ao seu interior. Uma das 'Caixa Mistério', contém, no seu interior, um circuito elétrico em série, as outras, um circuito em paralelo. No exterior de todas as 'Caixa Mistério' são visíveis duas lâmpadas e dois fios condutores. Os fios condutores, quando unidos, fecham o circuito elétrico, fazendo acender as duas lâmpadas. Ao manipularem as 'Caixa Mistério', a dada altura, os alunos desatarraxam uma das lâmpadas, de uma das 'Caixa Mistério', por ex., a que contém um circuito elétrico em série no seu interior, fazendo com a segunda lâmpada, no exterior, se apague. Este fenómeno intriga os alunos.

Já na 'Caixa Mistério', que contém no seu interior o circuito elétrico em paralelo, uma das lâmpadas permanece acesa, mesmo quando a outra lâmpada é desatarraxada. Como já referido em cima, o interior das 'Caixa Mistério', não é acessível aos alunos no início da atividade. Após estes fenómenos intrigantes, porque os alunos não sabem explicá-los, seguem-se momentos de exploração das 'Caixas Mistério', formulação de hipóteses, e previsões; pede-se aos alunos para registar o que observam no exterior das 'Caixa Mistério', no seu grupo, quando manipulam variáveis. Só depois de todos os grupos concluírem este momento de exploração de materiais, são, então, convidados a abrir as 'Caixa Mistério'. Nessa altura, analisam o seu interior, procuram compreender a causa dos fenómenos observados no exterior das 'Caixa Mistério', quando se encontravam fechadas, simulam os circuitos elétricos da 'Caixa Mistério' em grupo, com os materiais que estão disponíveis nas mesas dos alunos, representam esquematicamente o circuito elétrico, explicam a causa do(s) fenómeno(s) observado(s), antes de abrir as 'Caixa Mistério'. Posteriormente, os grupos comparam duas das 'Caixa Mistério', uma que contém um circuito em série, e outra um circuito em paralelo. Nessa altura, os alunos identificam as diferenças e as semelhanças das duas 'Caixa Mistério', comparam as respetivas representações dos circuitos que eles próprios desenharam e comunicam à turma o funcionamento da sua 'Caixa Mistério'.

Recursos

Caixa Mistério – 1 unidade/grupo

Para construção de uma 'Caixa Mistério':

- lâmpadas de 5 A ou Led – 2 unidades;
- fios de cobre isolados. Os fios que estão no exterior da 'Caixa Mistério' devem ter crocodilos nas extremidades para fácil contacto;
- pilha alcalina cuja tensão alimente as necessidades energéticas do circuito;
- fita isoladora;
- cola quente.

Guião do aluno

Parte I

Circuitos Elétricos: Engenharia Reversa

Engenharia reversa é o processo de descobrir os princípios tecnológicos e o funcionamento de um dispositivo, objeto ou sistema, através da análise da sua estrutura, função e operação. Objetivamente a **engenharia reversa** consiste em, por exemplo, desmontar uma máquina para descobrir como ela funciona. Desta forma, podemos admitir que a evolução tecnológica nem sempre é marcada pela inovação, mas pelo constante melhoramento de produtos já existentes. São muitos os exemplos de empresas tecnológicas que competem entre si no mesmo segmento de negócio, aplicando esta técnica para se manterem competitivas no mercado.



(Adaptado de <https://engenharia360.com/engenharia-reversa>)

Imaginem que são um grupo de engenheiros, técnicos e eletricitas que trabalham numa empresa de equipamentos elétricos e o vosso chefe pediu-vos para analisarem e descobrirem como funciona um novo produto, de uma empresa concorrente, que está a ser um sucesso de vendas, para depois desenvolver um semelhante.



Prestem atenção à 'Caixa Mistério'. Apliquem a técnica de engenharia reversa para compreender o seu funcionamento e desenhar uma outra com o mesmo princípio.

1. Observem e testem a 'Caixa Mistério', sem a abrir. Registem o que observam.
2. Com o material que têm à vossa disposição, tentem reproduzir o que está dentro da 'Caixa Mistério'.
3. Façam um desenho ou tirem uma fotografia da montagem que realizaram. Façam a representação esquemática da montagem que realizaram.
4. Abram a 'Caixa Mistério' e analisem o seu interior.
5. Comparem o que encontraram no interior da caixa com a montagem que fizeram e registem as vossas conclusões.

Exploração da tarefa

A exploração da tarefa começa com a leitura de um texto introdutório sobre o significado de 'Engenharia Reversa' e a sua discussão na turma. Seguidamente, apresenta-se uma 'Caixa Mistério' a cada grupo de alunos. As 'Caixa Mistério' têm, no seu interior, umas um circuito elétrico em série, outras, um circuito elétrico em paralelo. No exterior das 'Caixa Mistério' são visíveis duas lâmpadas e dois cabos com crocodilos; os cabos, inicialmente, são apresentados aos alunos, estão desconectados. A figura 2.1. apresenta dois exemplos das "Caixa Mistério" usadas nesta tarefa.



Figura 2.1
Exemplos de "Caixa Mistério"

À semelhança do conceito de Engenharia Reversa, os alunos são incentivados a manusear os materiais que se encontram no exterior das 'Caixa Mistério', fazer previsões, levantar hipóteses sobre os componentes que estão dentro das 'Caixa Mistério' e como estão organizados. Na 'Caixa Mistério' que contém o circuito elétrico em série, os alunos, a dada altura, observam que quando fecham o circuito (unem os dois crocodilos) as duas lâmpadas acendem, e quando desatarraxam uma das lâmpadas, a outra lâmpada apaga-se. Na 'Caixa Mistério' que contém o circuito elétrico em paralelo, os alunos observam outro fenómeno, quando fecham o circuito (unem os dois crocodilos), as duas lâmpadas acendem, tal como na 'Caixa Mistério' anterior. Porém, ao desatarraxar uma das lâmpadas, a outra lâmpada permanece acesa. A propósito destes dois fenómenos gera-se uma discussão na turma acerca das causas e dos efeitos observados com as 'Caixa Mistério'. Estes fenómenos intrigam os alunos por não saberem explicá-los.

A figura em baixo apresenta um desses momentos.



Figura 2.2

Discussão em torno do que se encontra dentro das 'Caixas Mistério' e do seu funcionamento'

Após esta fase inicial, cada grupo é convidado a reproduzir uma réplica da sua 'Caixa Mistério', sem a abrir. Os materiais estão em cima das mesas e os alunos exploram os materiais, causas e efeitos.

Concluída esta etapa, os alunos, finalmente, abrem a 'Caixa Mistério' e têm oportunidade de a explorar por dentro. Nessa altura, usam, novamente, os materiais que têm à sua disposição para simular o circuito elétrico das 'Caixa Mistério', variando as variáveis e observando o padrão das luzes acesas/apagadas, consoante as variáveis que manipulam. A figura 2.3, apresenta um dos momentos em que os alunos constroem uma réplica da sua 'Caixa Mistério'.

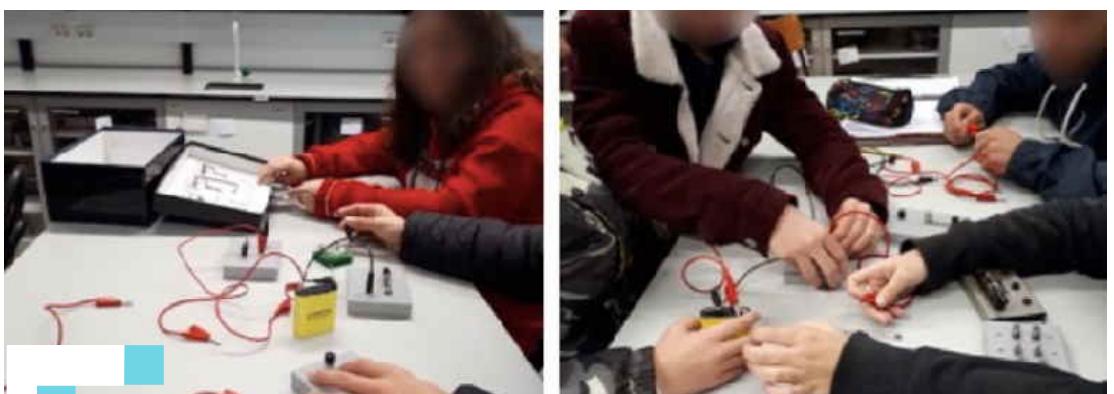


Figura 2.3

Exploração das relações causa-efeito dos fenómenos elétricos das 'Caixa Mistério', aberta

Depois dos alunos replicarem o circuito elétrico da sua 'Caixa Mistério', discutem na turma o seu funcionamento, o nome dos componentes elétricos, e como é que a sua organização origina fenómenos diferentes.

Já quase no final da tarefa, os alunos fazem uma representação do interior da sua 'Caixa Mistério' e do seu exterior. A figura 2.4. apresenta exemplos dos alunos:

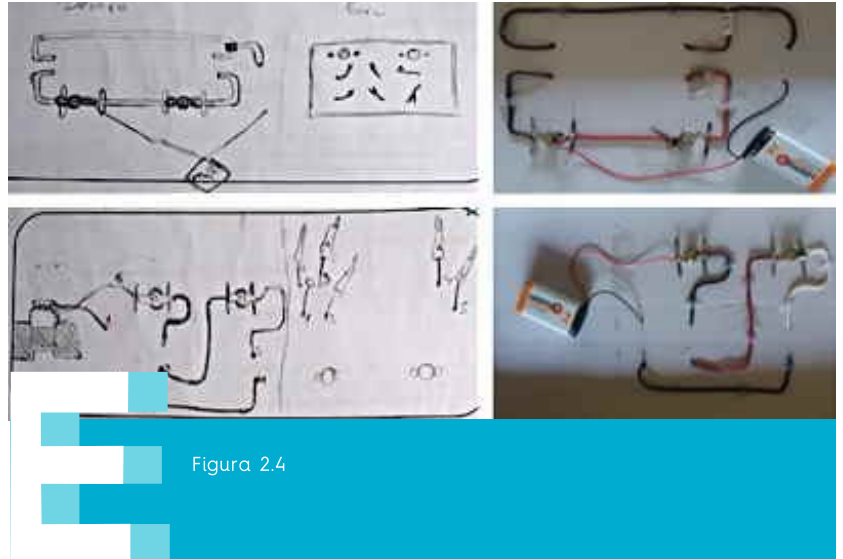


Figura 2.4

Por fim, os alunos apresentam a sua réplica de caixa à turma, comunicando o que melhoraram ou inovaram. A figura 2.5. apresenta os alunos a melhorar a fixação dos componentes elétricos no interior da sua réplica.

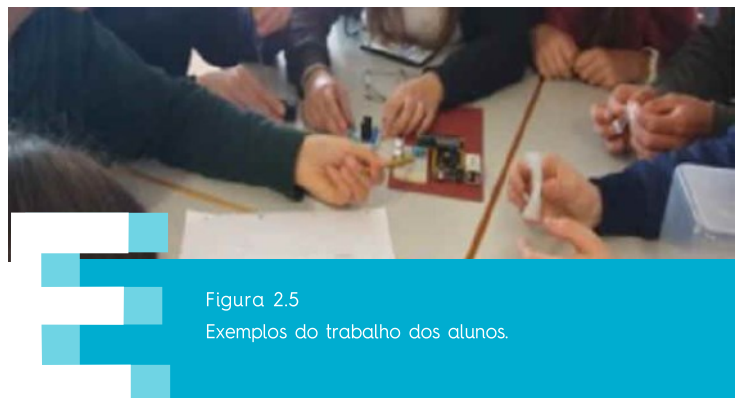


Figura 2.5

Exemplos do trabalho dos alunos.

Recolha de dados

A abordagem utilizada para coletar os dados envolve:

- montagem de circuitos elétricos pelos alunos e fotografias dos alunos, antes de abrir a 'Caixa Mistério';
- montagem e desenhos de circuitos elétricos pelos alunos e fotografias dos alunos, depois de abrir a 'Caixa Mistério';
- réplica melhorada ou inovada construída pelos alunos.

Link para vídeo: <https://youtu.be/6uFX-7DyeTk>

Materiais condutores e isolantes elétricos

Objetivos de aprendizagem

- Planificar e montar circuitos elétricos simples, esquematizando-os.
- Distinguir materiais isolantes de condutores elétricos.
- Saber o significado de ductilidade, maleabilidade e condutividade elétrica de materiais.
- Medir grandezas físicas (tensão elétrica, corrente elétrica, e resistência) recorrendo a aparelhos de medição e usando as unidades apropriadas.
- Selecionar um bom condutor elétrico a partir de um conjunto de vários materiais isolantes e condutores elétricos, através de medições da corrente elétrica que percorre o material.
- Justificar regras básicas de segurança na utilização e montagem de circuitos elétricos, comunicando os seus raciocínios.

Público-alvo

Alunos com idades compreendidas entre os 14 e 15 anos.

Apresentação da tarefa

A tarefa 'Circuitos elétricos – Materiais condutores e isolantes elétricos' inicia com uma banda desenhada, em que um dos personagens levanta um problema relacionado com a condutividade elétrica dos materiais: 'O cobre é um bom condutor de eletricidade! Mas será que podemos utilizar outros materiais?'. À partida antecipa-se que os alunos com idades compreendidas entre os 14 e os 15 anos não sabem responder à questão colocada pelo personagem da banda desenhada. O modo como a tarefa está concebida leva os alunos a planear uma atividade prática que permite, no final da tarefa, dar resposta ao problema, realizar a atividade com recolha de dados, explicar os dados, consultar informação em diferentes formatos, e, finalmente, responder ao problema e cito: 'O cobre é um bom condutor de eletricidade! Mas será que podemos utilizar outros materiais?'

Numa fase posterior da tarefa, já depois dos alunos terem resolvido o problema, acedem a um simulador PhET e simulam o circuito elétrico que usaram na atividade prática para medir a condutibilidade elétrica dos diferentes materiais. A tarefa finaliza propondo aos alunos usar o conceito de 'engenharia reversa', com a finalidade de "dar uma nova vida" a um brinquedo a pilhas que já não utilizam.

Os materiais isolantes e condutores elétricos são um exemplo de tópicos da educação STEM, porque são fundamentais para a compreensão dos princípios básicos da Eletricidade, que são importantes para uma série de áreas de estudo, desde a física até a engenharia elétrica. Os alunos, ao aprender sobre materiais isolantes e condutores elétricos, podem entender como a eletricidade é conduzida em diferentes materiais, bem como as propriedades elétricas desses materiais, tais como a resistência e a condutividade elétrica. Estas aprendizagens, também, podem ajudar os alunos a entender como é que os dispositivos elétricos funcio-

nam, como é que os circuitos elétricos são construídos e como é que a eletricidade é usada em tecnologias modernas. Os alunos podem, ainda, aprender sobre questões relacionadas com a segurança elétrica, como evitar choques e incêndios elétricos e aprender sobre questões relacionadas com a segurança elétrica, sustentabilidade, como sejam o uso eficiente de energia elétrica e a reciclagem de materiais elétricos.

Em suma, os materiais isolantes e os condutores elétricos são um tópico importante na educação STEM, pois ajudam os alunos a aprender conceitos fundamentais de eletricidade, bem como a aplicação desses conceitos em tecnologias modernas.

Recursos

- Fios condutores elétricos revestidos de borracha e com crocodilos – 7 unidades/grupo.
- Amperímetro ou multímetro – 1 unidade/grupo.
- Resistência – 1 unidade/grupo.
- Fonte de energia de baixa tensão (< 10 volt).
- Materiais que possam ser facilmente introduzidos no circuito elétrico (ex. fio de cobre, stick de alumínio, prego de ferro, prego de aço inox, pedaço de madeira (seca), stick de vidro, borracha, um pedaço de plástico (PET), mina de grafite, água da torneira, destilada e salgada, num copo).

Guião do aluno

Parte II

Materiais condutores e isolantes elétricos

1. Leiam a banda desenhada.



2. Planifiquem uma atividade que vos permita dar resposta à questão apresentada na banda desenhada.
3. Realizem a atividade que planificaram.
4. Agrupem os materiais que utilizaram na vossa atividade e classifiquem-nos como condutores ou isoladores de corrente elétrica.
5. Identifiquem o melhor material tendo em conta os seguintes critérios:
 - a) Condutividade,
 - b) Valor comercial,
 - c) Facilidade na produção de fios longos e de pequeno diâmetro (ductilidade/maleabilidade),

(SUGESTÃO: Consultem a tabela em anexo para fundamentarem a vossa resposta).
6. Justifiquem a vossa escolha e respondam à questão apresentada na banda desenhada.
7. Façam um esquema do circuito que construíram na atividade que realizaram, identificando cada um dos componentes.
8. Acedam ao simulador do PhET, escolhendo a opção de laboratório de montagem de circuitos. Façam a montagem do vosso circuito.

9. Identifiquem o sentido convencional da corrente e comparem com o sentido real dos elétrons.
10. Expliquem o que observaram.

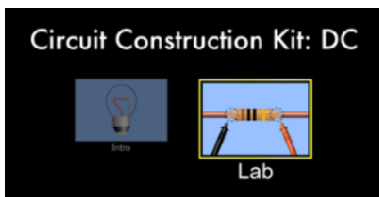
Vão mais além...

Apliquem o conceito de Engenharia Reversa a um brinquedo que já não utilizem e que funcione a pilhas. Reutilizem o brinquedo, de modo a construírem um objeto inovador.

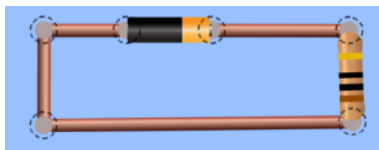
Anexo

Guia de utilização do PHET – Circuit Construction Kit

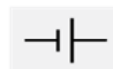
1. Aceder à página da simulação: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/circuit-construction-kit-dc>.
2. Poderá fazer download da simulação ou iniciar imediatamente a partir do browser de internet, para isso, pressionando o botão Play na janela de apresentação.
3. Selecionar o modo “Lab”.



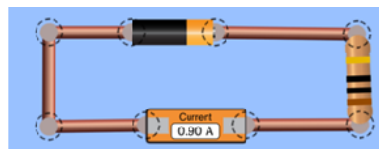
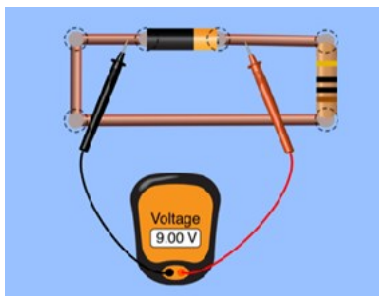
4. No lado esquerdo temos acesso aos componentes onde podemos começar por fazer um circuito simples.



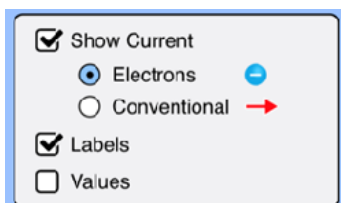
Nota: Em alternativa de representação, poderá ser utilizada a forma tradicional esquemática. Opção canto inferior esquerdo.



5. A simulação inclui ferramentas para realizar medições da diferença de potencial e intensidade de corrente. O voltímetro e o amperímetro podem ser escolhidos na janela do lado direito. Exemplo:



6. No canto superior direito encontramos a opção de mostrar o sentido convencional da corrente ou o sentido real dos eletrões, podendo ser alternado entre um e outro, ou então omitido, como nos casos acima.



Exploração da tarefa

A banda desenhada da tarefa começa por ser lida na turma, em voz alta, com cada aluno a representar um personagem, enfatizando-se que é colocado um problema na banda desenhada que os alunos têm de resolver com autonomia: 'O cobre é um bom condutor de eletricidade! Mas será que podemos utilizar outros materiais?'. Este problema intriga os alunos por não saberem responder e, pelo facto, da banda desenhada os incentivar a testar diferentes materiais.

A tarefa segue o modelo dos 5E's de Bybee (2019), cuja estrutura orienta os alunos a passar pelas seguintes etapas: (i) planejar uma experiência que permita responder ao problema colocado pelo personagem da banda desenhada. O planeamento requer que os alunos desenhem um circuito elétrico, que meça a corrente elétrica dos materiais que se encontram à disposição dos alunos. Para isso, têm de desenhar o circuito elétrico que vão usar, e incluir um amperímetro, com o cuidado de ter dois cabos elétricos com crocodilos nas extremidades, de modo que a corrente elétrica percorra os materiais a testar, permitindo, assim, a medição da respetiva corrente elétrica; (ii) realizar a experiência planeada, que consiste em montar o circuito elétrico de acordo com o planeado e recolher dados da corrente elétrica dos materiais que os alunos têm à sua disposição. Nesta etapa, os alunos envolvem-se na montagem e funcionamento do circuito elétrico, medição da corrente elétrica, registo dos dados e organização dos dados e reconhecem que a grandeza da corrente elétrica é um modo indireto de avaliar a condutividade elétrica dos materiais. Após recolha e organização dos dados obtidos, os alunos agrupam os materiais em dois grupos: os que são condutores elétricos e os isolantes elétricos.

Para selecionar o melhor condutor elétrico disponível, os alunos têm de interpretar um conjunto de informações, uma parte recolhida pelos alunos durante a atividade prática (corrente elétrica do material X), e uma tabela com informação sobre propriedades físicas dos materiais testados, a saber: condutividade elétrica, ductilidade, maleabilidade e valor comercial, cedida aos alunos. A seleção do melhor condutor elétrico é justificada com base na informação reunida pelos alunos. Para isso, terão de conjugar as propriedades físicas dos materiais do grupo dos condutores elétricos, o valor da intensidade da corrente que o percorreu, selecionar o(s) material(ais) que consideram que podem ser usados como alternativa ao cobre, dando, assim, a resposta ao problema colocado pelo personagem da banda desenhada.

Caraterísticas de alguns materiais

Material	Condutividade elétrica (S/m)	Valor comercial*	Ductilidade/maleabilidade
Cobre	$5,96 \times 10^7$	7,14 € / kg	Muito dúctil/maleável
Alumínio	$3,5 \times 10^7$	1,68 € / kg	Muito dúctil/maleável
Ferro	$1,00 \times 10^7$	0,14 € / kg	Dúctil/maleável
Aço Inox	$1,45 \times 10^6$	1,9 € /kg	Dúctil/maleável (depende da composição do aço/ teor de carbono)
Madeira (seca)	10^{-16} a 10^{-14}	0,039 € /kg (eucalipto)	Muito pouco dúctil/maleável
Vidro	10^{-11} a 10^{-15}	13 € / m ²	Muito pouco dúctil/maleável
Borracha	10^{-14}	0,21 € / kg	Muito dúctil/maleável
Plástico (PET)	10^{-21}	0,84 € / kg	Dúctil/muito maleável
Grafite	2 a 3×10^5	0,81 € / kg (em pó)	Pouco dúctil/maleável
Água da torneira	5×10^{-4} a 5×10^{-2}	0,00041 € / L	Não aplicável
Água salgada	4,8	0,00020 € / L	Não aplicável

* o valor comercial depende dos fornecedores dos materiais e da data de consulta.

Alguns sites consultados:

<https://www.thoughtco.com/table-of-electrical-resistivity-conductivity-608499>

<https://www.indexmundi.com/pt>

<https://www.bolsaforestal.com/fornecimento/>

<https://worldsteelprices.com/>

<https://www.epal.pt/EPAL/menu/clientes/tarif%C3%A1rio/%C3%A1gua>

Lei de Ohm e Choques elétricos

Objetivos de aprendizagem

- Planificar e montar circuitos elétricos simples, esquematizando-os.
- Medir grandezas físicas elétricas (tensão elétrica e corrente elétrica) recorrendo a aparelhos de medição e usando as unidades apropriadas.
- Determinar experimentalmente a resistência de um circuito elétrico simples a partir de grandezas físicas elétricas (tensão elétrica e corrente elétrica).
- Relacionar correntes elétricas com as tensões elétricas em circuitos simples e reconhecer a Lei de Ohm a partir dos dados recolhidos.
- Saber a Lei de Ohm e em que condições é válida.
- Verificar, experimentalmente, os efeitos da corrente elétrica no corpo humano e identificar os seus efeitos.
- Para uma dada tensão, relacionar a intensidade de corrente com a resistência elétrica e como ela pode variar no corpo humano.
- Justificar regras básicas de segurança na utilização e montagem de circuitos elétricos, comunicando os seus raciocínios.

Público-alvo

Alunos com idades compreendidas entre os 14 e 15 anos.

Apresentação da tarefa

A tarefa inicia com um texto que apela ao uso em segurança de equipamentos elétricos domésticos. Seguem-se quatro questões que desafiam os alunos a resolver a tarefa para lhes dar resposta. Os alunos começam por pesquisar na internet os três componentes que lhes permite construir um circuito elétrico e adquirem-no no laboratório. Uma vez o circuito a funcionar, os alunos medem diferentes valores de tensão (U), usando fontes de alimentação diferentes (6, 9 e 12 volt), e os respetivos valores de corrente elétrica (I) que percorre o circuito elétrico. Seguidamente, efetuam várias medições do cociente entre a tensão (U) e o valor correspondente da corrente elétrica (I) e tiram uma conclusão, i.e., o valor obtido U/I é aproximadamente o mesmo. Para conhecerem o significado da Lei de Ohm, os alunos efetuam pesquisas na internet e escrevem-no na tarefa. Após este contacto com estas grandezas elétricas, os alunos vão resolver um conjunto de questões para responder às quatro questões de partida, relacionadas com o uso de equipamento elétricos domésticos em segurança.

O uso em segurança de equipamentos elétricos domésticos envolve conhecimentos em ciência, tecnologia, engenharia e matemática, uma vez que é preciso entender os princípios básicos de eletricidade e os cuidados necessários para evitar acidentes. A Educação STEM pode ajudar as pessoas a entenderem como é que os equipamentos elétricos funcionam e como devem ser usados de forma segura. Por exemplo, é importante conhecer a tensão de cada aparelho e a sua ampe-

ragem e verificar se as tomadas estão em boas condições. Além disso, é necessário saber como manusear em segurança os fios elétricos e os diferentes tipos de tomadas e adaptadores.

A Educação STEM dá a conhecer e a compreender quais são os riscos associados ao uso inadequado de equipamentos elétricos, como sejam choques elétricos, danos graves na saúde humana e, até, provocar incêndios. Também, é importante conhecer as medidas de segurança necessárias para prevenir acidentes, como sejam não usar equipamentos elétricos com os cabos elétricos danificados, ou próximo de água, evitar sobrecarregar as tomadas e não deixar os fios elétricos em locais onde possam ser danificados. Portanto, a educação STEM pode ser fundamental para o uso seguro e responsável de equipamentos elétricos domésticos, fornecendo o conhecimento e as habilidades necessárias para evitar acidentes e garantir a segurança de quem os usa.

Recursos

Cabos de cobre revestidos de borracha – 3 a 5 cabos/grupo.

Fonte de alimentação (6, 9 e 10 volt) – 3 unidades/grupo.

Multímetro (ou amperímetro) – 1 unidade/grupo.

Resistência elétrica – 1/grupo.

Guião do aluno**Parte III****Lei de Ohm e Choques elétricos**

Todos os anos, muitas pessoas sofrem queimaduras ou outros danos físicos devido a choques elétricos com tensões de 220 volts. Para evitar que isto aconteça é necessário saber como utilizar os equipamentos elétricos em segurança e conhecer os seus efeitos no corpo humano. As respostas às perguntas seguintes avaliam os teus conhecimentos sobre este tema.

Um choque elétrico com uma bateria de um carro de 12 V é perigoso?

Porque se deve manusear equipamentos elétricos com as mãos secas?

Os efeitos dos choques elétricos no corpo humano, quando é atravessado por uma corrente elétrica, são todos iguais? De que depende essa corrente elétrica?

É seguro usar o secador de cabelo com os pés descalços numa casa de banho húmida?

Explore os itens 1 a 6 da tarefa para responderem às quatro questões acima.

1. Pesquisem na internet três componentes que vos permitam construir um circuito elétrico. Escrevam os componentes que selecionaram e justifiquem as vossas opções.
2. Usem os componentes que selecionaram e planeiem uma experiência que vos permita medir valores de tensão no circuito elétrico (U_i) e a respetiva corrente elétrica que o percorre (I_i). Escrevam o vosso plano.
3. Executem o plano e registem os valores de (U_i , I_i) recolhidos no circuito elétrico. Repitam o procedimento para três fontes de tensão diferente. Organizem os dados e identifiquem um padrão. Escrevam como calcularam o padrão e quanto vale.
4. Tirem uma conclusão acerca do valor padrão que calcularam e escrevam o seu significado físico. Para isso consultem a internet.
5. Pesquisem na internet a lei traduzida pela equação numérica que exploraram na questão anterior. Escrevam em que consiste essa lei.

Vamos responder às questões iniciais..

6. Pesquise na internet quanto vale a resistência do corpo humano, com a pele seca e com a pele húmida. Registem os valores.
7. Usem uma bateria de 12 volt de um veículo. Calculem a corrente elétrica que atravessa o vosso corpo quando tocam com uma das mãos, num dos polos da bateria, e com a outra, no outro polo:
 - a) Com a pele da mão seca. Registem o valor da corrente.
 - b) Com a pele da mão húmida. Registem o valor da corrente.
 - c) Consultem a tabela 1, em baixo, e escrevam se uma corrente que atravessa o vosso corpo, com uma bateria de um carro de 12 V, é perigosa, tendo como base a resposta às alíneas anteriores.

EFEITO DA CORRENTE ELÉTRICA NO CORPO HUMANO	
Corrente elétrica (A)	Efeito no corpo humano
0,001	Pode ser sentida
0,005	Dor
0,010	Contrações involuntárias dos músculos
0,015	Perda de controlo muscular
0,070	Se for no coração, os efeitos são nefastos, possivelmente paragem cardíaca, se a passagem de corrente permanecer durante algum tempo (>1 s)

Tabela 1. Efeito da passagem de corrente no corpo humano (Hewitt, 2015).

8. Porque deves manusear equipamentos elétricos com as mãos secas? Explica o teu raciocínio.
9. Os efeitos dos choques elétricos no corpo humano, quando este é atravessado por uma corrente, são todos iguais? De que depende essa corrente elétrica?
10. Consultem a tabela 1 e escrevam se é seguro usar um secador de cabelo de 120 V com os pés descalços numa casa de banho húmida? Explica o teu raciocínio.

Reflete..

11. Escreve o que aprendeste com esta atividade.
12. Escreve as principais dificuldades que sentiste na resolução da atividade.
13. O que mais gostaste nesta atividade? Escreve as tuas ideias.
14. O que gostavas de fazer no futuro no âmbito desta tarefa? Escreve a tua resposta.

Exploração da tarefa

A parte III, do capítulo de Eletricidade, 'Lei de Ohm e Choques elétricos', começa com quatro problemas, a saber:

1. Um choque elétrico com uma bateria de um carro de 12 volt é perigoso para o corpo humano?
2. Porque se deve manusear equipamentos elétricos com as mãos secas?
3. O efeito dos choques elétricos no corpo humano, quando é atravessado por uma corrente elétrica, são todos iguais? De que depende essa corrente elétrica?
4. É seguro usar o secador de cabelo com os pés descalços numa casa de banho húmida?

Numa primeira etapa da tarefa, os alunos pesquisam na internet como se constrói um circuito elétrico simples e montam o circuito com os materiais do laboratório. Com o auxílio de um multímetro, os alunos recolhem os dados com fontes de alimentação com diferentes tensões (6, 9 e 12 volt) e medem a respetiva corrente elétrica (I) que atravessa o circuito. Após medição, registo e organização dos dados recolhidos por todos os grupos, os alunos identificam que existe um padrão entre as grandezas U_i e I_i , i.e., $U_i/I_i = \text{cte}$. Seguidamente, pesquisam na internet o significado dessa constante elétrica (resistência elétrica) e o significado da Lei de Ohm.

Na segunda etapa da tarefa, os alunos pesquisam o valor da resistência elétrica do corpo humano quando a pele está seca e quando a pele está húmida (Hewitt, 2015), e registam os respetivos valores. Os alunos reconhecem que a resistência à passagem de corrente elétrica é menor quando as mãos estão húmidas.

Segue-se uma atividade prática para os alunos verificarem que, efetivamente, é importante manusear os equipamentos elétricos com as mãos secas. Para isso, um dos alunos voluntaria-se, colocando uma das mãos no polo positivo de uma bateria de 12 volt e, a outra mão, no polo negativo. Esta atividade é realizada, primeiro com as mãos do aluno, secas e, depois, com as mãos do aluno, húmidas. O aluno descreve aos colegas o que sente nas duas situações, concluindo que com as mãos secas sente uma impressão nas mãos, e com as mãos húmidas, sente um ligeiro choque elétrico.

Seguidamente, na tarefa, apresenta-se uma tabela (Hewitt, 2015) com os efeitos de diferentes valores de corrente elétrica (I) no corpo humano; os alunos analisam que os danos no corpo humano são mais graves, quanto maior for a corrente elétrica que o percorre. Ao deparar-se com esta evidência concluem que a intensidade da corrente, para uma dada tensão, varia inversamente com a resistência de um corpo, relacionando com a importância de manusear equipamentos elétricos em ambientes secos e com materiais isolantes. No final da tarefa, os alunos autoavaliam o que aprendem com a tarefa, o que mais gostam de fazer, e as dificuldades que sentem quando realizam a atividade, responsabilizando o aluno avaliar o seu contributo para as aprendizagens que acabou de realizar com a tarefa.

Recursos

- Fios de cobre com isolamento – 6 unidades/grupo.
- Fonte de alimentação de 6, 9 e 12 volt – 1/grupo que vai rodando.
- Multímetro (ou amperímetro) – 1 unidade/grupo.
- Resistência elétrica – 1 unidade/grupo.
- Acesso à internet.

Referências

Ministério da Educação (2018). *Aprendizagens essenciais - Articulação com o perfil dos alunos. 9.º Ano / 3.º Ciclo do Ensino Básico*. Físico-química.

Bybee, R. (2019). Using the BSCS 5E Instructional Model to Introduce STEM Disciplines (Editorial). *Science and Children*; 56(6), 8-12. Washington.

Hewitt, P. G. (2015). *Conceptual physics*, 12ª ed. City College of San Francisco.

CAPÍTULO 3 – TRANSFORMAÇÕES DE ENERGIA

Iva Martins

Objetivos de aprendizagem

A tarefa apresentada neste capítulo foi desenvolvida com o objetivo de permitir alcançar os seguintes objetivos de aprendizagens: a) analisar diversas formas de energia usadas no dia a dia, a partir dos dois tipos fundamentais de energia: potencial e cinética; e b) concluir sobre transformações de energia potencial gravítica em cinética.

Para além destes objetivos, a tarefa permite o desenvolvimento de várias competências transversais como, por exemplo, resolução de problemas, formulação de hipóteses e questões, planificação e execução de atividades e construção de modelos e protótipos.

Público-alvo

Alunos com idades compreendidas entre os 14 e 15 anos.

Apresentação da tarefa

Quase todos já tivemos a experiência de brincar com carros que, depois de serem puxados para trás, são largados e iniciam o movimento para a frente. A maior parte desses brinquedos são máquinas simples, que usam molas para armazenar energia potencial elástica, a qual é transformada em energia cinética. Contudo, esse mesmo fenómeno também ocorre quando se utilizam elásticos, ao invés de molas, e é foi esse o contexto escolhido para esta tarefa. Assim, esta tarefa permite aos alunos aprenderem não só sobre física, mas também sobre Engenharia, para além de utilizarem conceitos, competências e/ou ferramentas de Matemática e da Tecnologia.

A tarefa inicia-se com a apresentação de uma notícia sobre uma competição que ocorre Art Center College of Design (em Pasadena, EUA), na qual os alunos são convidados a construir um carro movido a elásticos. Esta competição, ao qual se deu o nome de Fórmula E(lástica), teve o seu início nos anos 80 e também é realizada em universidades da China, onde equipas de vários países competem com carros construídos com vários materiais. Mediante este contexto real, os alunos são desafiados a construir um carro movido a elásticos que se desloque em linha reta durante, pelo menos, 3 metros.

Assim, sugere-se que os alunos, em grupo, façam uma pesquisa na internet sobre carros movidos a elásticos, e que projetem e desenhem um protótipo, indicando que materiais vão utilizar. Isto permite aos alunos utilizarem a Tecnologia para realizarem uma pesquisa, consultarem fontes de informação, e selecionarem as que acharem mais adequadas para o cumprimento do objetivo da

tarefa. O trabalho em grupo permite que os alunos se organizem, negociem posições, e cheguem a consensos relativamente ao trabalho a realizar. Na internet pode ser encontrada informação variada, e sob as mais diversas formas, sobre este tipo de carros: desde páginas que sugerem como podem ser construídos, até vídeos e tutoriais nos quais, para além da construção, é possível visualizar os carros em movimento, bem como informações sobre os fenómenos físicos envolvidos. Esta fase é também caracterizada pelo envolvimento dos alunos nas primeiras fases do processo de design, um processo analítico e criativo, uma prática comum da área da Engenharia com vista à resolução de problemas. Em concreto, este processo envolve o questionamento, a imaginação, o planeamento, a criação, e a melhoria de algo físico e/ou digital (artefacto).

Numa segunda fase, e em consonância com o processo de design, é solicitado aos alunos que construam o seu protótipo, testem-no e melhorem o que acharem necessário de forma a cumprir o objetivo da tarefa, fazendo o registo e a justificação de todas as alterações realizadas.

Posteriormente, os alunos vão utilizar os carros construídos para realizar a recolha de dados experimentais, numa perspetiva de *inquiry-based learning* (IBL). Assim, os alunos iniciam esta fase da atividade com a planificação, devidamente fundamentada, de uma experiência que lhes permita a determinação da velocidade escalar do carro em três pontos distintos da trajetória e o cálculo da velocidade média do carro para o percurso percorrido. Isto implica que os alunos recorram a conhecimentos prévios, nomeadamente aqueles que constituem os conteúdos do domínio anterior das Aprendizagens Essenciais de Físico-Química (9.º ano de escolaridade): “Movimentos na Terra”. Entre estes destacam-se conhecimentos científicos como a rapidez, velocidade e tipos de movimentos retilíneos. Como sugestão, é indicada aos alunos uma aplicação de telemóvel (*Arduino Science Journal* da *Arduino LLC*) que lhes permite utilizá-lo como um sensor fotoelétrico (photogate), através do uso dos sensores de luminosidade que o incorporam. Assim, os alunos terão de planificar como podem utilizar o carro que construíram para fazer a recolha de dados necessários, e também a melhor forma de utilizar os seus telemóveis como forma de recolha de dados. Adicionalmente, os alunos terão de prever que tipo de dados vão recolher, como os vão organizar e registar, e como os vão analisar. Desta forma, e recorrendo à Tecnologia e à Matemática, é possível a determinação da velocidade dos protótipos em pontos distintos da trajetória, bem como a determinação da velocidade média do carro no percurso percorrido.

Após a determinação da velocidade escalar, os alunos têm de explicar o fenómeno, i.e., os alunos terão de explicar como varia a energia cinética do protótipo ao longo do percurso percorrido e explicar as transformações de energia ocorridas ao longo do percurso percorrido. Esta parte da tarefa envolve o conceito de energia cinética, o qual os alunos deverão pesquisar. De igual forma, os alunos deverão realizar uma pesquisa que lhes permita explicar quais as transformações de energia que ocorreram, o que os reportará para a energia potencial elástica.

Na fase final da tarefa, os alunos deverão definir critérios de avaliação adequados para a eleição do melhor protótipo construído. Esta fase permite aos alunos refletirem e estabelecerem juízos de avaliação justos e devidamente fundamentados. É também um espaço de comunicação e partilha de ideias, em que os alunos podem apresentar os seus artefactos, comunicar os seus resultados

(oralmente e/ou sob a forma de, por exemplo, um poster) e partilhar experiências.

Em resumo, o alinhamento desta tarefa com o modelo de STEM é fundamentado através da utilização de um problema real, ao qual os alunos terão de dar resposta. A tarefa é caracterizada pela integração de conteúdos de Ciência (Física), Engenharia (processo de design na construção do protótipo), Tecnologia (utilização de ferramentas web para a realização de pesquisas e utilização de uma aplicação de telemóvel como instrumento de medição), Matemática (realização de cálculos, construção de tabelas, análise de gráficos). Ademais, os alunos são envolvidos num processo de *inquiry-based learning* (IBL), que lhes proporciona a oportunidade de planificar uma experiência, recolher e analisar dados, formular hipóteses e explicações, comunicar os resultados e avaliá-los.

Guião do aluno
Fórmula E(lástica)



No Art Center College of Design (em Pasadena, EUA), os alunos são convidados todos os anos a construir carros de corrida movidos "a elásticos". A esta competição foi dada o nome de Fórmula E(lástica) e teve o seu início nos anos 80.



A competição é também realizada em cerca de 30 universidades na China, onde equipas de vários países competem com carros construídos com vários materiais.

<https://www.core77.com/posts/40381/Building-A-Rubber-Band-Powered-Race-for-the-Ages>



Como construir um carro movido “a elásticos”?

Objetivo: Nesta tarefa, o vosso objetivo é construir um carro movido “a elásticos”, que se desloque em linha reta durante, pelo menos, 3 metros.

3, 2, 1...

1. Realizem uma pesquisa na *internet* sobre carros movidos “a elásticos”.
2. Projetem e desenhem um protótipo de um carro movido “a elásticos”. Indiquem que materiais vão utilizar.
3. Construam o protótipo de carro que projetaram.
4. Testem o vosso protótipo e alterem o que acharem necessário.

NOTA: tal como definido no objetivo, o vosso protótipo deve conseguir deslocar-se em linha reta durante pelo menos 3 metros.

5. Registem as alterações que fizeram e justifiquem-nas.
6. Planifiquem uma forma de determinarem a velocidade do vosso protótipo em três pontos da trajetória. Fundamentem as vossas decisões.

SUGESTÃO: a velocidade pode ser determinada através da aplicação Arduino Science Journal, Arduino LLC, utilizando os sensores de luz do vosso telemóvel (ver Anexo).

7. Determinem a velocidade do vosso protótipo em três pontos da trajetória.
8. Determinem a velocidade média do vosso protótipo para o percurso percorrido.
9. Expliquem como varia a energia cinética do vosso protótipo ao longo do percurso percorrido.
10. Expliquem as transformações de energia ocorridas no vosso protótipo ao longo do percurso percorrido.
11. Tendo em conta o objetivo desta tarefa, definam os critérios de avaliação que acharem adequados, e façam a eleição do melhor protótipo construído.

Vão mais longe...

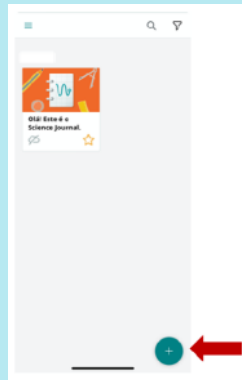
Elaborem um poster ilustrativo de todas as etapas de construção do vosso protótipo, incluindo as alterações feitas e devidamente justificadas.

Anexo

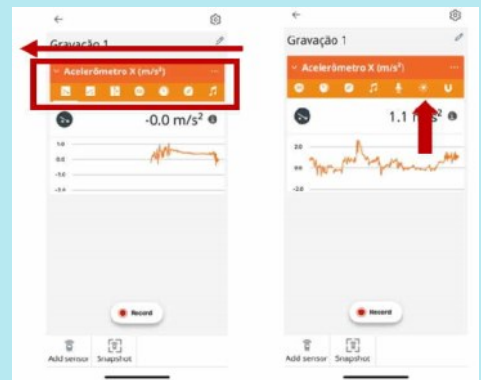
Arduíno Science Journal

1. Instalem a Arduíno Science Journal no vosso telemóvel a partir da Google Play ou AppStore.

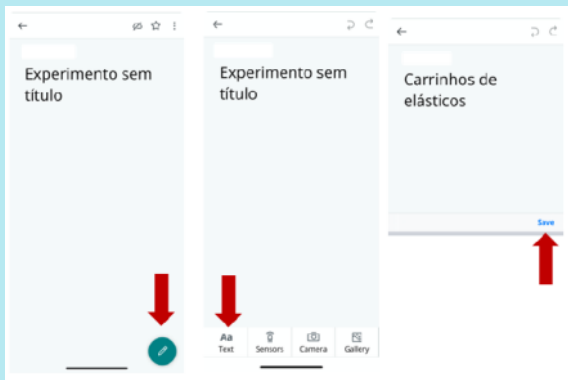
2. Abriam a aplicação e cliquem no botão "+" assinalado na imagem ao lado.



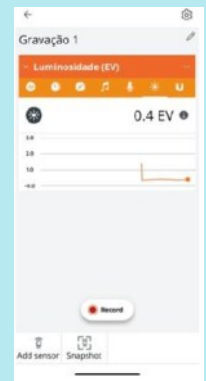
5. A janela com os vários sensores vai aparecer. Deslizem a barra indicada para o lado, para terem acesso a todos os sensores e selecionem o sensor de luz.



3. Cliquem no botão assinalado na imagem para terem acesso aos comandos e poderem alterar o nome da vossa experiência. Podem fazer isso, clicando no botão "Text", escrevendo um título adequado (por exemplo, "Carrinhos de elásticos") e clicando em "Save".



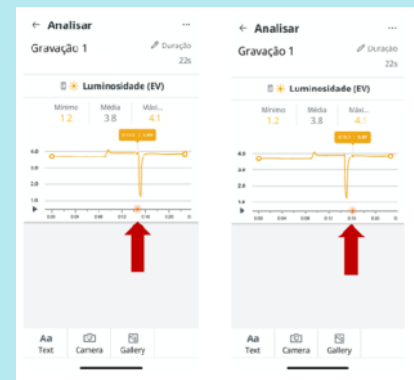
6. Na parte superior da experiência deverá então aparecer o nome do sensor ("Luminosidade") e podem agora iniciar a gravação da mesma, clicando no botão central inferior ("Record").



4. Cliquem no botão assinalado na imagem ("Sensors") para terem acesso aos sensores do vosso telemóvel.



7. Depois de realizada a experiência, ela é gravada automaticamente. A análise dos dados, i.e., a visualização dos valores do gráfico é feita arrastando o ponto que se encontra no eixo Ox para as zonas do gráfico que interessam.



Exploração da tarefa

Nesta tarefa, a construção de um carro movido a elásticos é o passo central de toda a atividade. Estes carros têm como base a utilização de um (ou mais) elásticos, que armazenam energia potencial elástica quando são deformados. Quando libertados, a energia acumulada converte-se em energia cinética e o carro adquire velocidade.

Através de uma pesquisa da internet, os alunos podem ver como é que estes carros são construídos a partir de vários materiais do dia-a-dia, tais como cartões de embalagens, paus de gelado, palhinhas, CDs, tampas de garrafas, garrafas, cola quente e elásticos. Por exemplo, a estrutura do carro (chassi) pode ser feita com cartão de uma embalagem, e pode ser reforçada com paus de madeira (de gelado ou de espeto). Os eixos onde irão ser montadas as rodas podem ser feitos com paus de espeto, tendo o cuidado de inseri-los em palhinhas para poderem rodar. O elástico tem de ser fixado num dos eixos das rodas, ou no chassi do carro, e enrolado num dos eixos das rodas de forma que, quando libertado, permita ao eixo rodar e conferir movimento ao carro. As rodas do carro podem ser feitas com CDs ou com tampas de garrafas, que devem ser fixadas aos eixos. A realização do desenho do protótipo permite aos alunos uma planificação detalhada da estrutura da montagem e deve incluir a lista de materiais necessários.

Os aspetos mais problemáticos na construção dos protótipos incluem a fixação do elástico à estrutura do carro, o correto alinhamento das rodas, a falta (ou excesso) de atrito entre as rodas e a superfície, e a forma como o elástico pode ser enrolado. Estes aspetos constituem uma excelente oportunidade para os alunos pesquisarem e discutirem formas de os ultrapassar, melhorando assim o seu protótipo, e garantindo que este cumpre o objetivo da tarefa: deslocar-se em linha reta ao longo de, pelo menos, 3 metros.

A determinação da velocidade escalar média do carro em três pontos distintos deve ser realizada através de uma aplicação de telemóvel. Nesta tarefa é sugerido que os alunos utilizem a *Arduino Science Journal* (Arduino LLC), uma aplicação gratuita, de fácil utilização, através da qual os alunos podem realizar diversas experiências. Neste caso, e tal como descrito no anexo que consta no guião da tarefa, os alunos irão utilizar o sensor de luminosidade, fazendo com que os seus telemóveis sejam utilizados como sensores fotoelétricos. Desta forma, o telemóvel deve ser posicionado de forma a permitir que o carro passe por cima dele, tal como se ilustra da Figura 3.1.



A passagem do carro por cima do sensor de luminosidade do telemóvel fará com que os valores de luminosidade detetados decresçam e se possa, através da análise do tempo registado no eixo das abcissas, determinar o tempo de passagem do carro por cima do sensor. Isto permite, com base na medição do comprimento do carro, determinar a velocidade naquele ponto do percurso através da equação:

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

em que $x_2 - x_1$ é o comprimento do carro e $t_2 - t_1$ é o intervalo de tempo que corresponde à passagem do carro por cima do sensor de luz do telemóvel.

Com base em, pelo menos, três medidas de velocidade (em três pontos distintos do percurso percorrido) é possível então a determinação de um valor médio da velocidade. A recolha destes dados pressupõe que os alunos construam e organizem tabelas que lhes permitam registar os dados, e realizar os cálculos e conversões necessários, indicando as unidades SI.

Estes resultados podem ser utilizados para discutir os conceitos de velocidade instantânea e velocidade média. A variação da velocidade nos diferentes pontos da trajetória pode ser questionada, o que permite a exploração das forças dissipativas, como por exemplo o atrito e a resistência do ar. A variação dos valores da velocidade nos diferentes pontos do percurso depende do protótipo construído e da(s) distância(s) considerada(s). Assim, para que os alunos observem um aumento do valor da velocidade, seguido de um decréscimo da mesma, a distância percorrida pelo carro poderá ter de ser superior aos três metros: esta é apenas a distância mínima que o carro deverá percorrer, podendo sempre percorrer distâncias maiores.

Para a determinação da energia cinética, os alunos têm de realizar uma pesquisa que lhes permita chegar à equação de cálculo da mesma, ou seja:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

Assim, através dos valores da velocidade determinados nos diferentes pontos do percurso, e medindo a massa do carro que construíram, os alunos podem calcular a energia cinética e explicar o porquê da sua variação. Para uma melhor visualização, os alunos devem construir um gráfico da energia cinética em função da distância percorrida. Se os alunos tiverem considerado pontos do percurso que lhes tenham permitido observar um aumento da velocidade, seguido de uma diminuição da mesma, tal como referido anteriormente, a variação da energia cinética terá um comportamento semelhante, i.e., irá aumentar e depois irá diminuir.

No que diz respeito à explicação, é fundamental que os alunos tenham presente a definição de energia cinética, que deverá ser um dos resultados da pesquisa que realizaram com o objetivo de calcular o seu valor.

Questões relacionadas com a transformação de energia potencial elástica em energia cinética devem ser exploradas e os alunos devem incluir, nas suas explicações, a definição de energia potencial elástica, de energia cinética, bem como o efeito das forças dissipativas, nomeadamente o atrito e resistência do ar. Adicionalmente, e considerando um sistema onde há conservação de energia mecânica, estas questões podem também servir para discutir de que variáveis depen-

de a energia cinética, e permitem a formulação de previsões relativamente à sua variação como resultado da alteração da massa ou da velocidade do carro.

A eleição do melhor protótipo deve ser da responsabilidade dos alunos, tendo em conta critérios previamente definidos e que incluam rigor e objetividade na avaliação dos vários protótipos. Os alunos não devem, por exemplo, reduzir a sua avaliação a questões estéticas. Ao invés, devem ser valorizados os critérios relacionados com o cumprimento do objetivo (por exemplo, andar em linha reta durante, pelo menos, 3 metros), com a complexidade do protótipo, com a prestação do mesmo para além do objetivo, com a utilização de materiais reciclados, etc.

Por último, é solicitado aos alunos que elaborem um poster ilustrativo de todas as etapas de construção do protótipo, incluindo as alterações feitas e devidamente justificadas, o que permite o desenvolvimento de competências de comunicação de resultados, de organização e sistematização dos mesmos, por forma a chegarem a conclusões devidamente fundamentadas.

Exemplos dos alunos

Nesta secção são apresentados alguns dos registos de trabalhos realizados por alunos que pertencem a turmas, onde foi implementada esta tarefa.

Planificação e desenho dos protótipos

Alguns dos desenhos dos protótipos elaborados pelos alunos são apresentados na Figura 3.2.

Nestes desenhos pode-se ver que enquanto alguns alunos fazem uma descrição detalhada dos materiais e construção dos protótipos no próprio desenho, outros limitam-se a desenhar um esboço pouco detalhado.

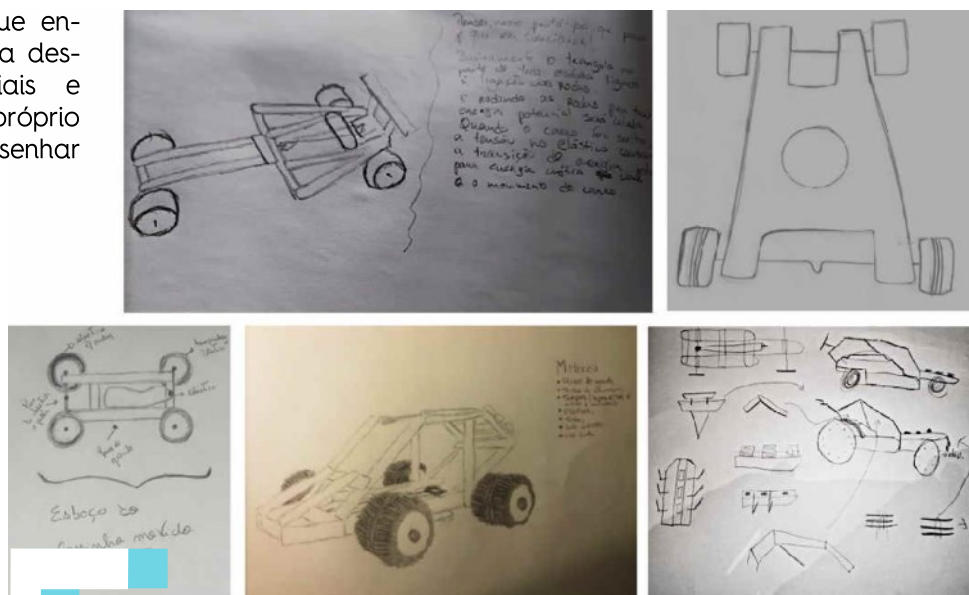


Figura 3.2
Alguns esboços dos protótipos elaborados pelos alunos.

No que diz respeito aos materiais utilizados, estes foram variados, como se pode confirmar nos excertos apresentados na Figura 3.3.

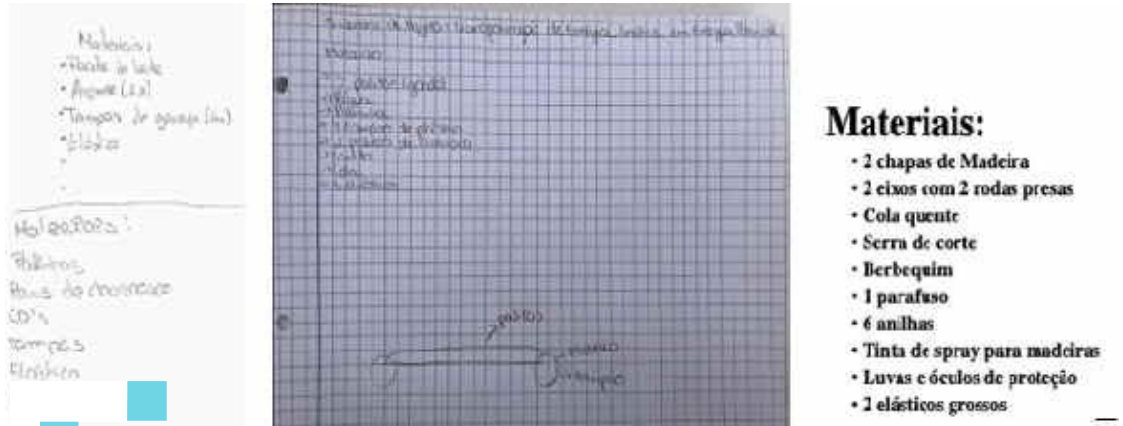


Figura 3.3 Exemplos de listas de materiais utilizados pelos alunos na construção dos protótipos.

Construção e melhoria dos protótipos

A construção dos protótipos resultou em carros com múltiplas configurações, sendo alguns apresentados na figura que se segue (Figura 3.4).



Figura 3.4 Alguns dos protótipos construídos pelos alunos.

Durante a construção dos carros, e após o teste dos mesmos, os alunos depararam-se com a necessidade de realizarem algumas modificações e melhorias. Esse processo foi registado e devidamente justificado. Algumas das modificações mais comuns estão resumidas na Tabela 3.1 e é possível perceber como é que os alunos foram resolvendo alguns dos problemas com que se depararam.

Estrutura do carro	Alterámos duas vezes o material do carro duas vezes para um material mais forte além de pesado.
Rodas e eixos	<p>Após alguns testes verificámos que as rodas se soltavam dos eixos e por isso decidimos substituir as rodas por tampas de iogurte coladas com cola quente.</p> <p>Alterámos também a forma de prender a minha roda ao eixo central, que antes estava presa por cola quente estando agora presa por anilhas e porcas pois é uma roda pesada.</p> <p>Foram também colocadas tiras de câmara de ar em volta destas rodas, mas ainda foi necessário colocar elásticos sobre o procedimento anterior, aumentando assim o atrito o que melhorou a distância percorrida.</p> <p>Colocação de borracha nas rodas de trás para minimizar o atrito.</p> <p>Mudança nas rodas de DVD'S para uma rodas de madeira devido ao peso do carro.</p> <p>Nivelação dos eixos para o máximo desempenho e melhor trajetória possível sem ocorrer desvios no seu trajeto.</p>
Elásticos	<p>Experimentei colocar o elástico motriz de várias formas e verifiquei que colocando ao centro e enrolando-o ao eixo motriz (eixo traseiro), se tornou a forma mais eficaz, o que aumentou o número de voltas do elástico no eixo, aumentando a distância percorrida e a velocidade.</p> <p>Inicialmente tínhamos pensado nos elásticos pouco fortes e o carro não atingiria os 3 metros obrigatórios.</p>
Vários	<p>No início do projeto fiz a base do carro, na tentativa de fazer com que ele ficasse com pouca massa, mas deparei-me com o primeiro problema que foi a aderência ao chão, pois as rodas estavam a fazer efeito "spin". Para resolver isso, meti fita cola isolante nas rodas, mas aumentava muito o atrito e diminuía muito a velocidade. Para resolver estes problemas, fiz uma estrutura com palhinhas para o elástico se armazenar e, simultaneamente, aumentar ligeiramente a massa, e para aumentar a aderência ao chão sem diminuir muito a velocidade.</p>

Tabela 3.1 Exemplos de excertos dos registos dos alunos, relativos às modificações realizadas nos protótipos.

Determinação da velocidade e da energia cinética

Para a determinação da velocidade os alunos utilizaram diferentes estratégias. Assim, para além da utilização do sensor de luminosidade do telemóvel, tal como sugerido no guião da tarefa (Figura 3.5), os alunos fizeram as medições da distância percorrida e do tempo usando, no entanto, uma ferramenta web <https://tracker.physlets.org> para análise dos vídeos gravados.



Figura 3.5
Utilização do sensor do telemóvel para medição da luminosidade respetivo registo.

A determinação da velocidade foi feita através dos valores registados em tabelas, tal como as que se seguem (Tabela 3.2):

```
Print["A velocidade média global, desde o início 0 → X m: ",
posicao[2 ;;] / tmpTot[2 ;;], " m/s"]
vel = dist / dt;
Print["Velocidade média em cada troço de 1m: ", vel[2 ;;], " m/s"]
velVSt = Transpose[{Tmedio, vel}];
A velocidade média global, desde o início 0 → X m: {1.19048, 1.5873, 1.48515} m/s
Velocidade média em cada troço de 1m: {1.19048, 2.38895, 1.31579} m/s

massa = 0.094; (* 94 g *)
Ecinetica = 0.5 massa vel^2; (* J *)
Print["Energia Cinética média(t)= ", Ecinetica[2 ;;], " J"]
EmJVSt = Transpose[{Tmedio, 1000 Ecinetica}]; (* mJ *)
makePlot[EmJVSt, "<Ec> /mJ"]
Energia Cinética média(t)= {0.06661, 0.26644, 0.0813712} J
```

Distância / m	Tempo / s	Velocidade / (m/s)	Ec / J
1	0,84	1,19	6,6 × 10 ⁻²
2	1,26	1,58	11,6 × 10 ⁻²
3	2,02	1,48	10,1 × 10 ⁻²

Tabela 3.2 Exemplo de tabela construída pelos alunos, com os dados recolhidos e cálculo dos valores da velocidade e energia cinética do carro, em três pontos distintos do percurso.

Alguns alunos, para além do cálculo da velocidade e da energia cinética, construíram gráficos da posição em função do tempo, da velocidade em função do tempo, e da energia cinética em função do tempo (Figura 3.6).

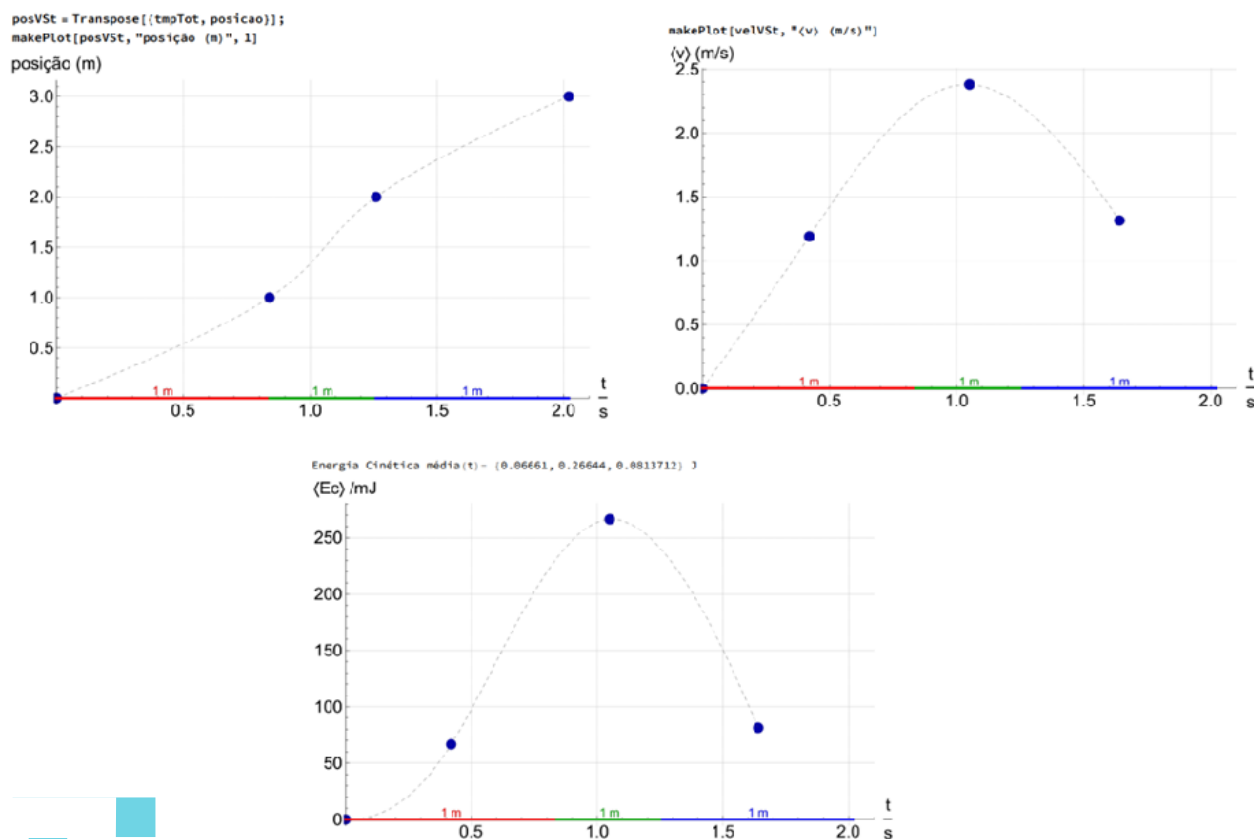


Figura 3.6
Exemplos de gráficos construídos pelos alunos.

Conclusões sobre a transformação de energia

Após a realização da atividade, foi solicitado que os alunos explicassem a variação da energia cinética e as transformações de energia ocorridas ao longo do percurso.

De uma forma geral, quase todos os alunos mencionaram a existência de energia potencial (elástica) e energia cinética e a transformação de uma na outra ao longo do percurso percorrido pelos carros. Um exemplo que ilustra esta ideia é o seguinte excerto: "A energia potencial elástica transformou-se em energia cinética, pois a tensão do elástico permitiu que o carrinho se movimentasse, ganhando assim velocidade". Os alunos também explicaram a variação da energia cinética. De acordo com os seus registos: "Relativamente à energia cinética, esta é menor no primeiro ponto do percurso (A) já que a velocidade também é menor. No segundo ponto do percurso (B) a energia cinética é maior porque é nessa região que o carro atinge maior velocidade e no terceiro ponto (C) a energia cinética é menor do que no ponto B, mas maior do que a do ponto A, porque no intervalo entre B e C a velocidade diminui ligeiramente". Este fenómeno é explicado da seguinte forma por alguns alunos: "a velocidade do ponto A é alta porque o elástico exerce uma força maior no início enquanto a do ponto C o

carrinho devido há força de atrito começa a abrandar”. Através destes excertos é possível verificar que os alunos explicam a variação da energia cinética com base não só na energia potencial, mas também na velocidade. Adicionalmente fazem também referência a forças de atrito e há alunos que referem ainda a resistência do ar.

Apresentação de resultados (posters, relatórios e apresentações)

A apresentação do trabalho realizado foi feita de diversas formas (posters, relatórios e apresentações em *PowerPoint*), tendo em comum não só os resultados obtidos (por exemplo, construção do protótipo e determinação do valor da velocidade e da energia cinética), mas também as fases do processo de design, as alterações feitas (e devidas justificações), e as conclusões a que chegaram. Exemplos desses produtos finais são apresentados na Figura 3.7.



Figura 3.7 Exemplos de posters, relatórios e apresentações realizadas pelos alunos, que ilustram o processo de construção dos protótipos, medições realizadas com os mesmos e explicações acerca da transformação da energia potencial elástica em energia cinética.

Opinião dos alunos

Apesar dos desafios e dificuldades com que os alunos se depararam, a opinião dos alunos que realizaram esta tarefa é bastante positiva sendo que, de acordo com alguns alunos, o que mais gostaram foi de “construir o mecanismo para pôr o carro a andar e fizemos isso através de materiais simples”. Outros alunos, no entanto, referiram que “a etapa que mais gostámos foi a parte da apresentação de trabalhos pois podemos comparar o nosso carro com o dos outros e conseguimos observar os erros que tínhamos cometido e que gostámos de trabalhar em equipa e de criar um espírito de equipa”.

Por último, quando questionados os alunos mencionaram as seguintes aprendizagens não só de conteúdos, mas também de competências, tais como o trabalho em grupo. Um dos alunos refere que a tarefa “permitiu que aprendêssemos como podemos transformar energia potencial, neste caso elástica em energia cinética e também um pouco de aerodinâmica, na construção do chassi do carro”; enquanto outro realça que “aprendemos a trabalhar em equipa, foi uma forma de cada um dar a sua opinião e nos sabermos ouvirmos uns aos outros”.

CAPÍTULO 4 – FUNCIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

André Silva, Mónica Baptista & Horácio Fernandes

Objetivos de aprendizagem

- Compreender o funcionamento de um painel fotovoltaico e os fatores que influenciam a sua potência elétrica;
- Utilizar um laboratório remoto para controlar e monitorizar a produção de energia elétrica de um painel fotovoltaico;
- Otimizar a potência elétrica produzida pelo painel, considerando variáveis como a resistência interna do painel e o ângulo da radiação incidente;
- Interpretar gráficos e resultados experimentais para avaliar a eficiência de um painel fotovoltaico;
- Aplicar os conhecimentos adquiridos na construção de um protótipo de uma estação de rega alimentada a energia solar;
- Avaliar a viabilidade e custos/benefícios da utilização de energia solar em diferentes contextos, incluindo em missões espaciais.

Público-alvo

A tarefa tem como público-alvo alunos pré-universitários, 17-18 anos.

Apresentação da tarefa

A 20 de julho de 1969, Neil Armstrong proferiu a frase mais emblemática da exploração espacial *"One small step for man, one giant leap for mankind"*. Este marco histórico foi o resultado de grandes avanços na tecnologia espacial, incluindo o uso de painéis fotovoltaicos que revolucionaram a utilização de instrumentação nas mais variadas missões.

Na exploração espacial, os painéis fotovoltaicos são uma tecnologia crucial, pois fornecem uma fonte de energia elétrica limpa e renovável em ambientes onde outras fontes de energia não estão disponíveis. Isto permite que as missões espaciais sejam mais autónomas e possam durar mais tempo, já que não precisam depender de combustíveis fósseis ou baterias descartáveis. Além disso, os painéis fotovoltaicos são uma forma eficiente de converter a luz solar em energia elétrica, o que é especialmente útil em missões que envolvem a exploração de planetas ou satélites onde a luz solar é a única fonte de energia disponível para além da nuclear. A energia elétrica gerada pelos painéis é usada para alimentar equipamentos de comunicação, instrumentação científica, sistemas de navegação, entre outros. No entanto, é preciso reconhecer que a energia gerada é limitada pela eficiência do painel fotovoltaico, assim como a área disponível para aplicação dos painéis (NASA, s.d.).

Nesta tarefa propomos a exploração de um cenário de aprendizagem, no qual os alunos serão membros de uma equipa responsável pela integração de um novo painel fotovoltaico numa estação fixa no solo de Marte. O objetivo é avaliar os parâmetros do painel e garantir que este corresponde aos parâmetros e exigências da missão. Os alunos irão começar por conhecer a importância dos painéis fotovoltaicos na exploração espacial, a partir do estudo de casos reais de missões da NASA, como a sonda *Mars Pathfinder* e a sonda *InSight*. Em seguida, irão avaliar a eficiência de um protótipo de um painel fotovoltaico com recurso ao laboratório remoto elab². No elab os alunos poderão manipular a inclinação do painel fotovoltaico, o que afeta o ângulo da radiação incidente, e também podem ajustar a resistência de carga. Ao ajustar a resistência de carga, é possível determinar a resistência que maximiza a potência gerada nos terminais de saída do painel. Como fonte emissora de luz é usada uma matriz LED. Numa última proposta de exploração encoraja-se os alunos a trabalharem num projeto para o desenvolvimento de uma estação de rega, utilizando para isso um painel fotovoltaico capaz de alimentar uma bomba de água.

Na tarefa procura-se integrar cada uma das áreas STEM, promovendo uma aprendizagem integrada dos conhecimentos e uma forte componente de engenharia e prototipagem. A ciência está presente no estudo dos conceitos como a eficiência e a potência elétrica dos painéis fotovoltaicos, assim como o fenómeno de irradiância. A tecnologia é incorporada através da manipulação de um laboratório remoto (elab), uma ferramenta tecnológica que permite aos alunos controlar e recolher dados de experiências de forma remota. A engenharia é explorada através da prototipagem de uma estação de rega, envolvendo a aplicação de células fotovoltaicas, integrando a engenharia na resolução de problemas práticos. Por último, a matemática está presente na representação e interpretação gráfica, bem como no tratamento dos resultados obtidos durante a realização da atividade. A integração destas áreas STEM na tarefa proporciona aos alunos uma experiência prática e enriquecedora, permitindo que eles desenvolvam competências nos vários domínios do conhecimento científico. Além disso, a tarefa procura incentivar os alunos a discutir as potencialidades dos painéis fotovoltaicos, assim como as suas limitações para futuras missões espaciais.

Recursos

O principal recurso utilizado nesta tarefa é o laboratório remoto elab, recorrendo à experiência “photovoltaic panel” (Figura 4.1). A montagem experimental consiste num painel fotovoltaico, um pequeno motor para controlar a posição angular do painel, uma placa eletrónica

² O elab é um laboratório remoto desenvolvido pelo IST (Instituto Superior Técnico, Lisboa) que oferece um conjunto de experiências, básicas e avançadas, na área da Física e que podem ser controladas remotamente através da instalação de uma interface desenvolvida pela equipa do elab. A experiência escolhida permite recolher dados relativamente à potência gerada pelo painel em função do ângulo de inclinação, assim como determinar a resistência de carga que maximiza a potência nos terminais de saída. Conhecendo a potência da fonte emissora os alunos poderão determinar a eficiência do painel fotovoltaico em estudo.

com um microcontrolador e ainda um *Raspberry Pi 3* responsável pela comunicação e recolha de dados. A fonte emissora utilizada na montagem é uma matriz LED que simula a radiação solar que incide sobre o painel fotovoltaico. O circuito está ligado remotamente ao elab onde é possível manipular a inclinação do painel, alterar a resistência de carga e controlar a matriz LED nas suas intensidades de cor verde, vermelha e azul (RGB). A célula fotovoltaica utilizada é uma célula de silício monocristalino com uma eficiência de cerca de 18%. A célula está ligada a uma resistência de carga variável que simula o consumo dum aparelho se fosse ligado ao painel numa situação real. A inclinação do painel pode ser ajustada remotamente para alterar o ângulo da radiação incidente e ver em que situação é otimizada a conversão da energia elétrica.

Em seguida, apresentamos uma lista mais detalhada dos componentes:

- um painel de LEDs (Ligth-Emitting Diode - Díodo Emissor de Luz) RGB (Red-Green-Blue - Vermelho-Verde-Azul) modelo SMD5050, dispostos numa matriz de 18x9 totalizando 486 LEDs e ocupando uma área de 145x90 mm;
- um painel fotovoltaico com dimensões 150x100 mm;
- uma placa de controlo equipada com microcontrolador dsPIC30f4013;
- uma placa de eletrónica de interface entre a placa de controlo e os painéis de LEDs e o painel fotovoltaico;
- um servo-motor que controla a posição angular do painel fotovoltaico;
- um computador Raspberry Pi 3 modelo B que faz interface entre os utilizadores e o microcontrolador através da internet.

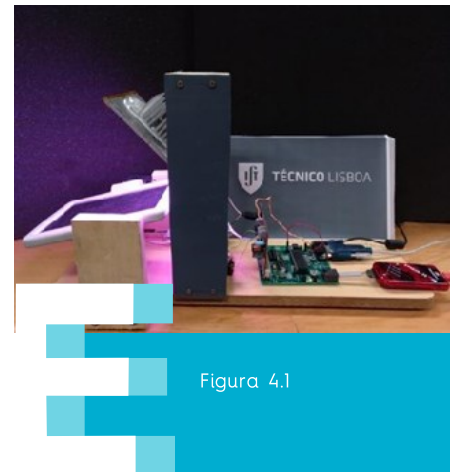


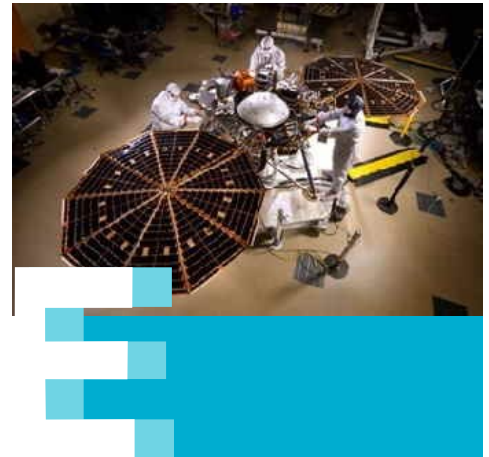
Figura 4.1

Guião do aluno

Nesta secção apresentamos o documento que foi facultado ao aluno e que serviu como guião de exploração. Este guião apresenta como tema o desafio tecnológico à exploração espacial, com foco no desenvolvimento de células fotovoltaicas mais eficientes para uso em missões espaciais.

Um Desafio Tecnológico à Exploração Espacial

Em 1996, o Rover Sojourner, integrado na sonda Mars Pathfinder, foi o primeiro veículo a utilizar um painel fotovoltaico em Marte para recarregar baterias de ião-lítio usadas como fonte de energia da sonda. Esta missão espacial tinha como objetivo analisar a composição química da atmosfera e do solo do planeta. Desde então, o desenvolvimento de células fotovoltaicas mais eficientes tem originado um “sem número” de novas aplicações tecnológicas.



Mais recentemente, em 2018, a NASA lançou a sonda InSight com o objetivo de estudar o interior de Marte. A InSight destacou-se pelo conjunto de painéis fotovoltaicos de elevada eficiência, sofisticadamente empilhados para ocupar menos espaço na sonda, durante a viagem espacial. A eficiência dos painéis fotovoltaicos é, assim, um dos muitos aspetos a considerar na viabilidade de uma missão espacial com esta tecnologia.



O objetivo da atividade é avaliar a viabilidade de um painel fotovoltaico para aplicação numa estação fixa no solo de Marte. É necessário que os alunos tenham em consideração uma lista de características e parâmetros necessários para o sucesso da missão. A atividade é dividida em três secções: a previsão das características que afetam a potência produzida pelo painel; uma investigação acerca do painel fotovoltaico, procurando identificar os parâmetros que otimizam a sua eficiência; por último, a extrapolação dos resultados para o cenário em estudo, avaliando a viabilidade da missão e comparando as condições existentes em Marte com as condições no planeta Terra.

Uma nova missão aproxima-se

Imagina que pertences a uma equipa responsável pela integração de um novo painel fotovoltaico numa estação fixa no solo de Marte. O teu trabalho consiste em avaliar os parâmetros do painel e garantir que este corresponde aos parâmetros e exigências da missão.

Características necessárias à viabilidade da missão:

Área útil para aplicação de painéis fotovoltaicos: 600 cm^2
Potência mínima necessária: 60W

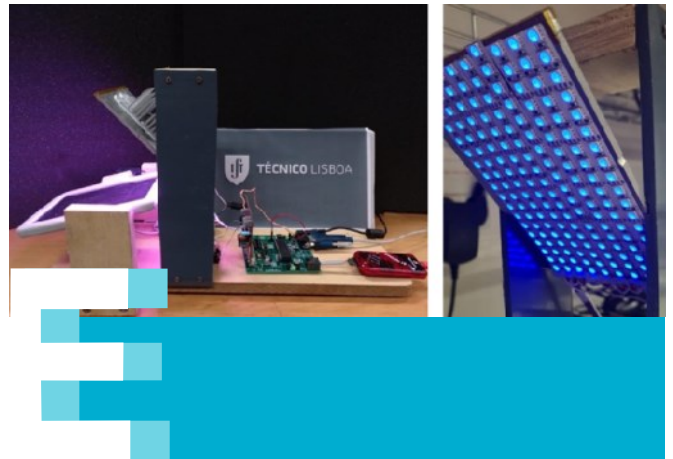
O painel fotovoltaico que irás utilizar constitui um protótipo da missão e apresenta uma dimensão reduzida de 150 cm^2 . De forma a garantir uma irradiância constante para esta experiência recorre-se a uma matriz LED que fornece aproximadamente $7,45 \text{ W/m}^2$.

Prevê

1. Inicia a tua investigação com uma previsão das características que condicionam a potência produzida pelo painel fotovoltaico.

Investiga

2. Observa a montagem experimental que inclui o teu protótipo. Identifica na figura os componentes utilizados e discute a sua funcionalidade.



Manipulação do laboratório remoto – Consulta o tutorial elab – Painel Fotovoltaico

3. Investiga como podes otimizar o painel fotovoltaico para garantir um valor máximo de potência elétrica. (Especifica todas as variáveis e parâmetros que consideres pertinente.)
4. Explica como a diferença de potencial influencia a potência elétrica produzida pelo painel. (Relaciona a tua resposta com as equações algébricas que consideres pertinentes.)
5. Conclui acerca da eficiência do painel fotovoltaico.

Avalia a viabilidade da missão.

6. Avalia a viabilidade da missão considerando a irradiância solar em Marte aproximadamente 586 W/m^2 . (Define todos os parâmetros que consideres pertinente como o tempo de exposição solar, área utilizada, entre outros.)

Características necessárias à viabilidade da missão:

Área útil (máxima) para instalação: 600cm^2

Potência mínima necessária: 60W

7. Explica se este protótipo poderá ser utilizado nesta missão. (Recorre aos dados recolhidos e relaciona-os com a tua explicação.)
8. Imagina que a tua missão seria realizada no Planeta Terra, próximo da linha do equador. Explica se o mesmo painel poderia ser utilizado garantindo as características necessárias à viabilidade da missão e discute a sua inclinação de montagem. (Apresenta os cálculos que consideres necessários).

Por último, apresentamos uma sugestão de exploração da construção de uma estação de rega autónoma e alimentada a energia solar. Acresce ainda que iremos discutir como podemos aperfeiçoar a estação de rega, com a inclusão de sensores e elaborar uma ficha técnica do protótipo que inclui as características do painel e uma avaliação dos custos/benefícios dos materiais envolvidos. Aqui podem ser utilizados kits de eletrónica baseados em *Arduino*, fazendo uso dos sensores de humidade e temperatura, assim como componentes capazes de transportar a água entre recipientes (ex. bomba de água).

Vão mais longe – Plantas em Marte

A colonização de Marte é um projeto da humanidade e necessário à sua sobrevivência. Um dos muitos desafios passa pela plantação e cultivo de plantas. A NASA, procura neste momento replicar e simular o solo de Marte de forma a melhor compreender como é que este pode ser utilizado para o crescimento das plantas.

1. Planifiquem a construção de um protótipo para uma estação de rega alimentada a energia solar.
2. Explore como poderão aperfeiçoar a estação de rega através da inclusão de sensores que automatizem todo o processo de rega.



3. Elaborem a “ficha técnica” do protótipo que inclua as características do painel (medidas, eficiência), bem como uma avaliação dos custos/benefícios dos materiais envolvidos.
4. Expliquem como tencionam aplicar o vosso protótipo em grande escala.

Exploração da tarefa

No elab temos acesso a três protocolos para a obtenção de dados; varrimento do ângulo, varrimento da resistência de carga e a procura da potência máxima. No âmbito desta atividade apenas é abordado o estudo da influência do ângulo e da resistência de carga. O utilizador tem também o controlo dos parâmetros relativos à intensidade dos LEDs em cada uma das cores RGB, podendo configurar a intensidade com valores de 0 a 255 (intensidade máxima).

Varrimento do ângulo

Relativamente ao primeiro protocolo, varrimento do ângulo, é possível fazer o estudo da influência do ângulo na potência elétrica produzida. Deste modo, o utilizador tem a opção de selecionar uma resistência de carga e o nível de intensidade dos LEDs RGB, mantendo estas variáveis fixas durante toda a experiência. O elab faz variar o ângulo do painel de -20° a 100° recolhendo os dados da potência nos terminais de saída do painel (figura 4.2.). Como demonstração deste protocolo apresentamos em seguida os dados relativos à potência elétrica de cada cor primária, vermelho, verde e azul em função do ângulo.

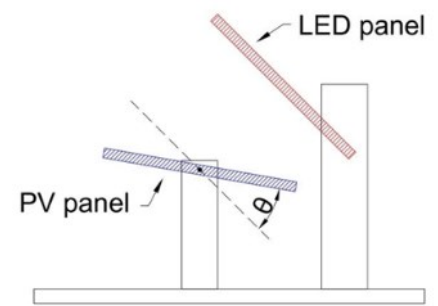


Figura 4.2

Através do gráfico (figura 4.3.) podemos observar que o perfil da curva de potência é semelhante entre as várias cores, no entanto, existe um fator multiplicativo que distingue claramente cada uma das cores, sendo que a potência produzida com a luz azul é aproximadamente seis vezes a da luz vermelha. Esta evidência pode ser explicada por vários fatores como: a potência inerente a cada luz LED utilizada; a eficiência do painel ou a sensibilidade do painel para uma determinada faixa do espectro de luz; por último, também o espalhamento da luz emitida pode ser diferente para cada frequência de cor.

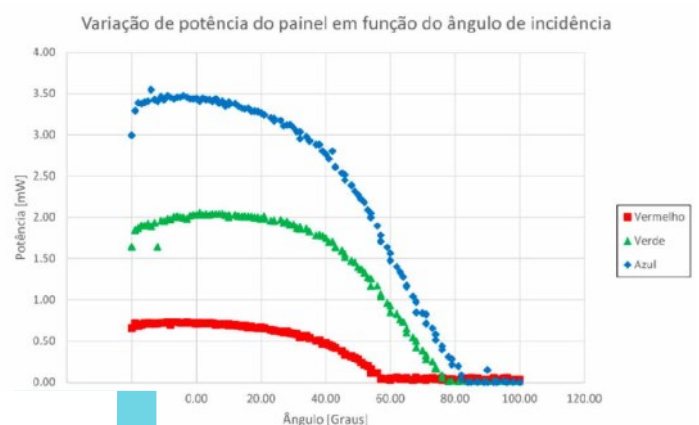


Figura 4.3

Potência em função do ângulo do painel e da cor primária

Embora este fenómeno seja influenciado por diversos fatores fazemos uso do modelo mais simples para o estudo da potência em função do ângulo, que resulta do cálculo da “secção eficaz” e admite um painel plano que absorve energia solar uniformemente. O modelo $P = A \times \cos \theta$ admite uma potência máxima para um ângulo de 0° . No entanto, verifica-se que a função não descreve perfeitamente os resultados obtidos, o que pode ser explicado pela asunção de que os raios são efetivamente paralelos, quando na verdade tal não acontece devido à proximidade da fonte emissora. Desta forma, é importante introduzir um termo de correção na função *coseno*. No modelo $P = A \times \cos(\omega \theta)$ o termo ω codifica a possibilidade de efeitos relacionados com a pouca direccionalidade da luz emitida. (Hegedus & Luque, 2011)

Varrimento da resistência de carga

Neste protocolo variamos a resistência de carga efetiva, mantendo constante o ângulo do painel e a luz da fonte emissora (LEDs). É importante ter em consideração o intervalo da resistência de carga que pode admitir valores entre 0% e 100%, configurados para representar uma situação próxima do curto-circuito (0Ω) e de 1500Ω , respetivamente. O gráfico representado na figura 4.4 foi obtido para um ângulo de 0° (raios perpendiculares ao painel) e uma intensidade máxima no conjunto das cores primárias.



Figura 4.4

Potência gerada em função da resistência de carga. A resistência está definida em percentagem do seu valor máximo (1500 W).

Observa-se que, inicialmente, a potência gerada pelo painel fotovoltaico aumenta à medida que a resistência de carga é incrementada. Isto acontece porque a corrente nos terminais do painel é mantida relativamente constante, enquanto a tensão aumenta. Entretanto, após um determinado valor de carga, o painel atinge o seu ponto máximo de corrente. Isso implica que, se a carga for aumentada além desse ponto, a tensão nos terminais do painel diminuirá, reduzindo a potência gerada por ele. Este resultado é extremamente relevante para o funcionamento de um painel fotovoltaico, pois é necessário ajustar a resistência de carga à resistência interna do painel, que está diretamente relacionada com a intensidade luminosa incidente, a fim de alcançar a máxima eficiência do painel. Além disso, a resistência interna do painel pode ser calculada utilizando a Lei de Ohm, uma vez que a tensão e a corrente geradas pelo painel são conhecidas.

Exemplos dos alunos

Nesta secção procuramos apresentar alguns resultados de alunos que participaram nesta atividade, mais concretamente um relatório produzido com o objetivo de investigar o funcionamento do painel fotovoltaico. Este grupo de alunos optou por organizar os seus resultados tendo em conta os protocolos existentes no laboratório remoto. Assim começaram por fazer a análise da potência em função da variação do ângulo, como se pode ver na figura 4.5.

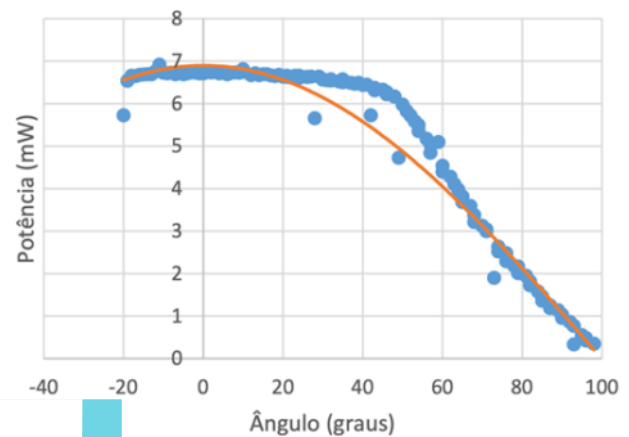


Figura 4.5

Potência em função do ângulo. Gráfico obtido por um grupo de alunos.

Os alunos fizeram questão de representar a curva da função teórica $P = A \times \cos(\omega \theta)$ indicando o seguinte:

“Teoricamente, quando o ângulo formado entre o painel e a matriz é de 90 graus, a potência gerada pelo painel é zero. No entanto, atendendo ao gráfico, conclui-se que o valor experimental nos 90 graus não é zero. Isto, também se deve à difusão da luz nas diferentes superfícies (...). Além disso, devido à proximidade entre o painel fotovoltaico e a matriz LED não é possível admitir que os raios incidentes são totalmente paralelos. Logo, para mostrar isso graficamente é necessário adicionar uma constante ω dentro da função cosseno, neste caso $\omega = 0,9008$.”

Esta reflexão não só demonstra uma análise crítica dos resultados, como demonstra o rigor em procurar representar uma função que melhor descreva os resultados obtidos, admitindo o fator de correção B e propondo uma explicação científica para o fenómeno, isto é, a difusão da luz e a proximidade da fonte de luz.

Relativamente ao varrimento de carga, os alunos concluem que a resistência que otimiza o funcionamento do painel situa-se aproximadamente em 80% do valor máximo, calculando assim uma eficiência do painel fotovoltaico de 9,61%. Este valor foi obtido admitindo uma potência para a luz incidente de 7,45 W/m², no entanto percebe-se que o valor de eficiência é cerca de metade daquele que é descrito na ficha do fabricante para o painel fotovoltaico em estudo. Esta discrepância pode ser explicada por sujidade presente no painel ou por erro experimental, uma vez que os alunos não especificam claramente a intensidade que foi utilizada para a fonte emissora.

Outro indício das aprendizagens realizadas diz respeito ao cálculo da resistência interna do painel onde os alunos recorrem à lei de Ohm para obter o valor de 555 Ω , referindo que esta resistência é uma característica do painel e depende também da irradiância solar.

Construção de um protótipo

Foi proposto aos alunos a construção de uma estação de rega, com o objetivo de aplicar os conhecimentos adquiridos e desenvolver as competências de engenharia no desenho e prototipagem. Para isso, os alunos utilizaram um kit de Arduino, sensores de luz e humidade e uma bomba de água. A alimentação do sistema foi realizada exclusivamente com painéis fotovoltaicos.

O Arduino é uma placa eletrónica que permite o controlo de sensores e atuadores, possibilitando a construção de projetos de baixo custo e altamente sofisticados. Neste projeto, o sensor de luz é um componente que deteta a intensidade da luz ambiente e envia essa informação para um microcontrolador, permitindo que o controlo da quantidade de luz e água no sistema. O sensor de humidade é utilizado para detetar o nível de humidade no solo, essa informação é utilizada para ativar ou desativar a bomba de água. A bomba de água utiliza energia elétrica para bombear água, esta bomba é acionada pelo microcontrolador, com base nas informações dos sensores de luz e humidade. Os painéis fotovoltaicos permitiram tornar todo o sistema autossuficiente e sustentável.

Com a construção do protótipo da estação de rega, os alunos desenvolveram aprendizagens relativas à eficiência do painel fotovoltaico e à importância da energia renovável. Aplicaram os seus conhecimentos prévios num projeto sustentável. Espera-se que esta tarefa possa ser utilizada noutras escolas, incentivando o uso da tecnologia e da educação STEM.

Referências

Hegedus, S., & Luque, A. (Eds.). (2011). *Handbook of photovoltaic science and engineering*. John Wiley & Sons.

NASA. (s.d.). *NASA Technology Transfer Portal*. <https://technology.nasa.gov/patent/LEW-TOPS-50>

Santos, M., Cardoso, R., Duarte, A., & Fernandes, H., (2021). Painel Fotovoltaico. *Gazeta de Física*, 44(1), 12-17.



João Paulo Costa, André Silva, Horácio Fernandes & Paulo Maurício

Objetivos de aprendizagem

- Planejar uma experiência que permita explorar as características do pêndulo gravítico, quais são as grandezas que influenciam o período do pêndulo, como estão relacionadas e em que proporção.
- Determinar experimentalmente a aceleração gravítica, com recurso ao pêndulo gravítico.

Público-alvo

A tarefa tem como público-alvo alunos pré-universitários, 17-18 anos.

Apresentação da tarefa

Ao suspender um berlinde preso na extremidade de um fio de nylon obtemos um pêndulo simples, que pode oscilar, de um lado para o outro, num padrão cíclico, repetindo-se inúmeras vezes até parar devido ao atrito com o ar. A tarefa desenvolvida no quadro do projeto GoSTEM inicia com a apresentação da situação-problema e de uma questão inicial. Em seguida, os alunos realizam previsões sobre as variáveis a controlar para determinar o período do pêndulo e têm oportunidade de construir um pêndulo simples. O desenvolvimento do protótipo envolve os alunos em práticas de *design*.

A tarefa proposta também contempla a componente da tecnologia quando os alunos são convidados a realizar a experiência, recorrendo ao laboratório remoto elab³. Com o uso do elab e também de um simulador, podem verificar as diferentes mudanças no período do pêndulo com a manipulação das grandezas previstas nas suas hipóteses.

Acresce ainda que a força gravítica, que muda ligeiramente com a latitude, constitui uma variável. O projeto *World Pendulum Alliance* disponibiliza acesso remoto a um conjunto de pêndulos físicos, instalados em diferentes pontos geográficos e com latitudes distintas, como Maputo, São Tomé, Lisboa, Praga, entre outros. O rigor da montagem experimental e o acesso constante à internet permitem a recolha de dados com grande precisão. Assim, os alunos conseguem realizar um estudo mais completo de todas as variáveis que afetam o período de um pêndulo, incluindo a dependência com a latitude, assim como uma medição da aceleração gravítica.

³ O elab é um laboratório remoto desenvolvido pelo IST (Instituto Superior Técnico, Lisboa) que oferece um conjunto de experiências, básicas e avançadas, na área da Física e que podem ser controladas remotamente através da instalação de uma interface desenvolvida pela equipa do elab.

Guião do aluno**Pêndulo Gravítico**

Leiam com atenção o seguinte texto:

No século XVII, um problema estava muito presente: a determinação da longitude necessária para a expansão do comércio marítimo. Os esforços que este problema mobilizou levaram ao desenvolvimento da Matemática e lançaram os fundamentos da ciência moderna. Um desses esforços envolveu a invenção de um instrumento transportável capaz de medir o tempo (nessa altura já se sabia que a Terra completava uma volta completa, i.e., 360° em cerca de 24 h). Huygens, um cientista holandês que viveu entre 1629 e 1695, baseou-se nos estudos de Galileu (1564-1642) sobre o movimento pendular e usou o pêndulo como marcador do tempo. Contudo, o pêndulo simples suscitava problemas: na verdade, devido ao facto de depender duma aceleração constante para provocar o seu movimento regular, a aceleração a que o pêndulo estava sujeito num navio podia ser muito variável levando a que passasse recorrentemente durante a viagem.

(Adaptado, http://www.mat.uc.pt/~helios/Mestre/Julho00/H41_long.htm)

1. Prevejam as variáveis a controlar para o pêndulo medir o tempo. Escrevam as vossas previsões.

2. Construam um pêndulo para testar as vossas previsões.

Tenham em atenção o seguinte:

- a) façam um esquema do vosso pêndulo com uma legenda dos materiais que vão usar,
 - b) descrevam como vão proceder para testar a(s) variável(eis),
 - c) escrevam como vão recolher os dados (tabela, ou outro processo).
3. Testem as vossas previsões usando o pêndulo e registem os dados que obtiveram. (Caso tenham necessidade de mudar e/ou acrescentar variáveis e/ou o procedimento, não risquem o que fizeram. Ao invés, escrevam “Nova experiência” e continuem o vosso trabalho).
 4. Escrevam os resultados com base na(s) tabela(s), gráfico(s), equações algébricas ou outro processo que tenham usado. Expliquem a relação entre as variáveis
 5. O efeito da gravidade afetava a medição do tempo (ver texto introdutório). Para conhecerem como é que esta grandeza se relaciona com a medição do tempo usem o seguinte simulador:

PhET Interactive Simulations:

https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_en.html

Sugestão de exploração da simulação:

- construam uma tabela com valores de g e respectivos períodos, T ;
 - construam o respetivo gráfico, $T = f(g)$;
 - determinem a equação matemática que melhor se ajusta aos pontos do gráfico;
 - justifiquem qual foi o procedimento a, b, ou c, que mais vos ajudou a compreender como varia T com g .
1. A equação matemática de T em função das suas variáveis tem uma constante de proporcionalidade, i.e., $T = \text{constante} \times f(\text{variáveis})$.
Use o simulador para determinar o valor dessa constante.

Quero saber mais...

Agora que conhecem as grandezas que influenciam a medição do tempo com o pêndulo recorre a um outro processo para deduzirem a equação matemática. Para isso, precisam de saber a diferença entre grandezas fundamentais e grandezas derivadas. Existem sete grandezas fundamentais:

Grandeza fundamental	Dimensão	Unidade	Símbolo
Massa	$[M]$	quilograma	kg
Comprimento	$[L]$	metro	m
Tempo	$[T]$	segundo	s
Corrente elétrica	$[I]$	ampére	A
Temperatura	$[\theta]$	kelvin	K
Luminosidade	$[L]$	candela	cd
Quantidade de matéria	$[N]$	mole	mol

Tabela 5.1 Grandezas fundamentais, dimensões, unidades e símbolos.

Todas as outras grandezas ditas derivadas, relacionam-se e resultam destas grandezas fundamentais.

Exemplo: a Força é uma grandeza derivada podendo exprimir-se através do produto de uma massa por uma aceleração, $F = ma$.

A massa é uma grandeza fundamental (vd. tabela 6.1) cuja dimensão é $[M]$. A aceleração também é uma grandeza derivada que pode exprimir-se pelo cociente entre duas grandezas, velocidade $[L][T]^{-1}$ e tempo $[T]$. Então, a dimensão da aceleração é $[L][T]^{-1} [T]^{-1}$, i.e., $[L][T]^{-2}$.

A análise dimensional da grandeza Força será então:

$$F = [M][L][T]^{-2}$$

Partindo da hipótese de que o período do pêndulo depende das grandezas (i) comprimento do fio do pêndulo, l , (ii) massa do pêndulo, m , e (iii) aceleração gravítica, g , a equação desconhecida à partida do pêndulo seria:

$$T = \text{const} \times l^a m^b g^c \quad (1)$$

A determinação dos expoentes a , b e c , permite deduzir a equação matemática de $T = f(l, m, g)$. Usando o método da Análise Dimensional aos dois lados da equação (1), fica:

$$[T]^1 = [L]^a [M]^b ([L][T]^{-2})^c$$

1. Agora é a vossa vez... determinem os expoentes a , b e c através de um sistema de equações, partindo do princípio da equivalência entre dimensões nos dois lados da equação (no lado esquerdo da equação (1) a grandeza fundamental é o tempo, cuja dimensão é $[T]$).
2. Escrevam a equação do período do pêndulo, T , com base nos valores encontrados para os expoentes a , b e c e comparem com a que obtiveram através do estudo do pêndulo.
3. Em que outras situações o método da Análise Dimensional pode ser útil. Apresentem um exemplo.

Quero saber mais...

Investiguem como varia o “ g ” com a latitude através do laboratório remoto e-lab (ver instruções de utilização no anexo disponibilizado).

Vão mais além – Projeto Final

Construam um pêndulo na vossa escola e façam um registo vídeo de toda a montagem. Procurem identificar e explicar todas as etapas de construção. Recorrendo ainda à equação do período, determinem o valor da aceleração gravítica no local.

Exploração da tarefa

A construção de um pêndulo é o primeiro desafio que os alunos têm nesta tarefa e podem usar a sua criatividade na conceção de diferentes protótipos de objetos oscilantes para testar e verificar suas hipóteses iniciais. Neste momento, os alunos devem prever diferentes tamanhos de fios, com massas diferentes acopladas à extremidade do fio, bem como um objeto para medir o arco descrito no movimento oscilatório. Através do protótipo do pêndulo, os alunos testam como as diferentes variáveis afetam o período do pêndulo, constroem gráficos e tabelas, escrevem equações algébricas ou outros processos que os auxiliam na verificação das hipóteses.

O problema apresentado na tarefa refere-se às grandezas que influenciam o período do pêndulo e o efeito da aceleração gravítica na sua medição. Diante disso, a tarefa propõe a exploração do simulador disponível no PhET Interactive Simulations (PhET, 2023).

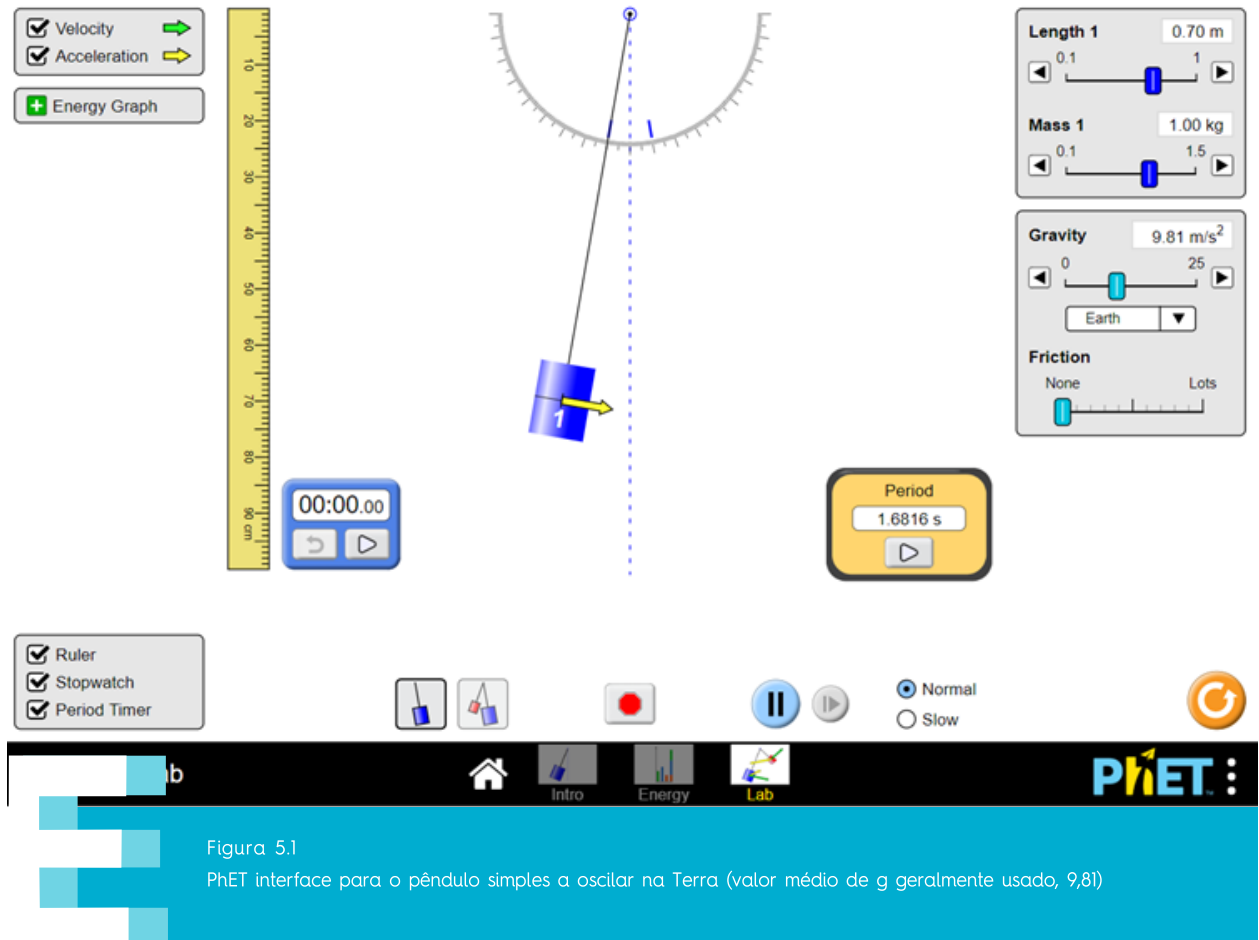


Figura 5.1
PhET interface para o pêndulo simples a oscilar na Terra (valor médio de g geralmente usado, 9,81)

O simulador permite explorar os diferentes períodos de oscilação que o mesmo pêndulo apresenta se mudarmos a aceleração gravítica. Por exemplo, um pêndulo de comprimento 0,70 m e massa de 1,00 kg, na Terra ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) (Figura 5.1) apresenta um período de aproximadamente 1,68 s. Se este mesmo pêndulo é colocado a oscilar em Júpiter ($g = 24,79 \text{ m/s}^2$), apresenta um período de aproximadamente 1,06 s (Figura 5.2).

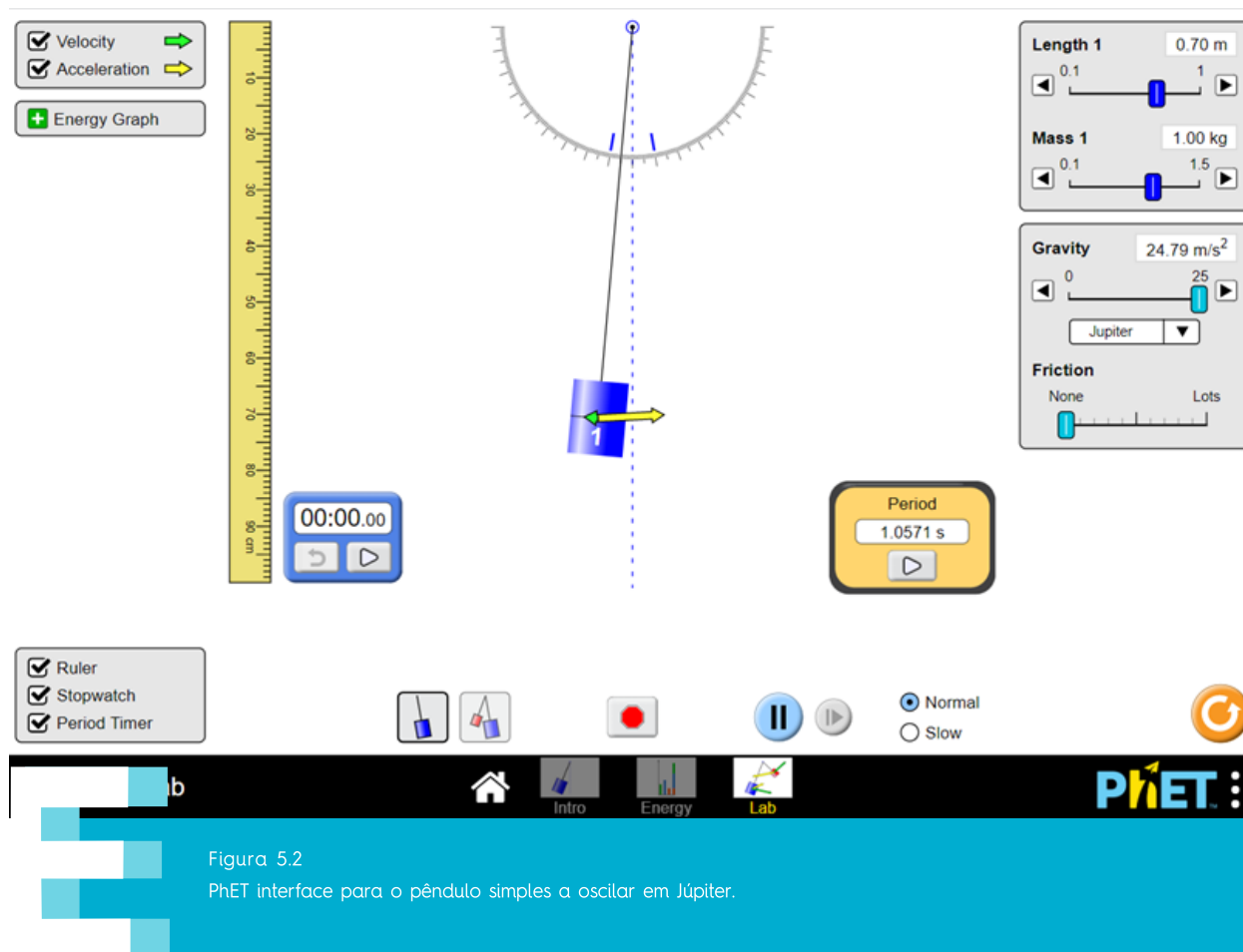


Figura 5.2

PhET interface para o pêndulo simples a oscilar em Júpiter.

Através desta simulação os alunos podem explorar os diferentes comportamentos do pêndulo, manipulando outras variáveis como o comprimento, a massa ou a presença do atrito. Para explorar as potencialidades da simulação, os alunos são convidados a construir uma tabela apresentando as variações dos valores dos períodos do pêndulo com a aceleração gravítica, bem como um gráfico e equação algébrica que melhor se ajusta aos pontos do gráfico.

Neste momento, o professor dá oportunidade aos alunos de compreenderem o fenómeno por meio de diferentes estratégias. Os alunos são convidados a escrever quais procedimentos que os ajudam a compreender melhor como o período do pêndulo varia com a aceleração gravítica.

Por meio dos dados obtidos no simulador e dos procedimentos adotados, nesta etapa da tarefa, os alunos são ainda convidados a determinar o valor da constante de proporcionalidade e, assim, encontrar a equação algébrica que determina o valor do período do pêndulo simples. Constroem uma tabela (Tabela 5.2.) para recolha de dados e recorrem ao *Solver*, um suplemento do *Microsoft Excel* que pode ser instalado gratuitamente, para determinar o melhor ajuste ao valor de k , de forma a minimizar o desvio entre o valor teórico e o valor experimental.

Comprimento, m	Período, s	Valor Teórico, s	desvio
...

Tabela 5.2 Tabela para organização dos dados obtidos no simulador.

Essa tarefa propõe que os alunos explorem diferentes estratégias para verificação das variáveis que influenciam o período do pêndulo. No momento de exploração da tarefa, os alunos deduzem a equação algébrica que permite determinar o período do pêndulo através da Análise Dimensional. Nessa etapa, é importante que os alunos conheçam as dimensões das grandezas fundamentais.

Partindo da hipótese de que o período do pêndulo depende do comprimento, l , do fio, da massa, m , oscilante e da aceleração gravítica, g , pede-se para determinar os expoentes a , b e c , da equação dimensional $T = \text{const} \times l^a m^b g^c$, através de um sistema de equações, partindo do princípio da equivalência entre as dimensões nos dois lados da equação, como apresentado a seguir:

$$(1) \quad [T]^1 = [L]^a [M]^b ([L][T]^{-2})^c$$

$$(2) \quad [T]^1 = [L]^a [M]^b [L]^c [T]^{-2c}$$

Os alunos resolvem um sistema de equações de modo a balancear as dimensões de ambos os lados:

$$-2c = 1 \rightarrow c = -\frac{1}{2}$$

$$a + c = 0 \rightarrow a = \frac{1}{2}$$

$$b = 0$$

Substituindo em (1):

$$[T]^1 = [L]^{1/2} [M]^0 ([L][T]^{-2})^{-1/2}$$

Pressupondo poder existir uma constante de proporcionalidade adimensional k :

$$[T]^{-1} = k [L]^{1/2} [M]^0 ([L][T]^{-2})^{-1/2}$$

∴

$$T = k \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Por fim, a tarefa propõe a utilização do laboratório remoto elab para investigar como varia a aceleração gravítica com a latitude. Ainda com os dados obtidos no elab e com a utilização do *Solver*, é possível chegar ao melhor ajuste para o valor da constante de proporcionalidade k .

Essa tarefa pode ser realizada na sua totalidade ou com as devidas adaptações, de acordo com os objetivos da aula, ano escolar, recursos disponíveis ou outro critério do professor.

Exemplos dos alunos

Os alunos que participaram no Projeto GoSTEM foram convidados a realizar a tarefa do pêndulo gravítico. A seguir apresentaremos as respostas de três grupos de trabalho que desenvolveram a tarefa. Mesmo utilizando o mesmo guião, os grupos apresentaram diferentes estratégias para chegarem à solução da tarefa.

Grupo 1

Os alunos fizeram as previsões das variáveis que deveriam levar em conta para medição do período do pêndulo e planejaram a construção do pêndulo para verificação de suas hipóteses. Através da análise dimensional, escreveram a equação algébrica para determinar o período do pêndulo, destacando que, teoricamente, o período varia na proporção direta com o comprimento do fio e que não há influência da massa do corpo no período.

Os alunos construíram dois pêndulos, utilizando uma régua para servir de suporte e um fio de nylon. Para cada pêndulo, um berlinde de massa diferente ($m_1 = 15,0 \text{ g}$ e $m_2 = 90,0 \text{ g}$) foi atado ao fio (Figura 5.3.1).



Figura 5.3

(1) Montagem experimental do grupo 1 para o berlinde de 90,0 g. (2) Montagem experimental do grupo 1 para o berlinde de 15,0 g.

O berlinde em cada pêndulo foi solto de três posições iniciais diferentes (0,05 m, 0,10 m e 0,15 m), em relação à posição de equilíbrio. Para cada posição foi determinado o tempo de 10 oscilações e, conseqüentemente, o período de oscilação, tendo sido repetido o procedimento para cinco comprimentos distintos do fio ($L_1 = 15 \text{ cm}$, $L_2 = 20 \text{ cm}$, $L_3 = 30 \text{ cm}$, $L_4 = 40 \text{ cm}$ e $L_5 = 50 \text{ cm}$).

Cada experiência foi repetida três vezes, sendo os dados representados em tabelas como se mostra na Tabelas seguintes (Tabelas 5.3 a 5.8).

Massa 1 (15,0 ± 0,1)g									
L	L (m)	Posição (m)	Tempo de 10 oscilações (±0,01 s)			Δ t	Período (s)	Valor teórico (s)	Desvio
L1	0,15	0,05	6,70	6,67	6,53	6,63	0,66	0,68	0,02
L2	0,20	0,05	7,69	7,78	7,90	7,79	0,78	0,78	0,01
L3	0,30	0,05	9,70	9,50	9,75	9,65	0,97	0,96	0,00
L4	0,40	0,05	11,25	11,24	11,33	11,27	1,13	1,11	0,02
L5	0,50	0,05	12,38	12,50	12,33	12,40	1,24	1,24	0,00

Tabela 5.3 Dados obtidos para o pêndulo com o berlinde de massa 15,0 g, partindo da posição 5 cm, em relação à posição de equilíbrio.

Massa 1 (15,0 ± 0,1)g									
L	L (m)	Posição (m)	Tempo de 10 oscilações (±0,01 s)			Δ t	Período (s)	Valor teórico (s)	Desvio
L1	0,15	0,10	6,68	6,69	6,81	6,73	0,67	0,68	0,01
L2	0,20	0,10	7,86	7,87	7,79	7,84	0,78	0,79	0,00
L3	0,30	0,10	9,68	9,78	9,57	9,68	0,97	0,96	0,01
L4	0,40	0,10	11,20	11,26	11,34	11,27	1,13	1,11	0,02
L5	0,50	0,10	12,45	12,45	12,36	12,42	1,24	1,24	0,00

Tabela 5.4 Dados obtidos para o pêndulo com o berlinde de massa 15,0 g, partindo da posição 10 cm, em relação à posição de equilíbrio.

Massa 1 (15,0 ± 0,1)g									
L	L (m)	Posição (m)	Tempo de 10 oscilações (±0,01 s)			Δ t	Período (s)	Valor teórico (s)	Desvio
L1	0,15	0,15	6,70	6,71	6,77	6,73	0,67	0,69	0,01
L2	0,20	0,15	7,85	7,90	7,74	7,83	0,78	0,79	0,01
L3	0,30	0,15	9,83	9,79	9,78	9,80	0,98	0,97	0,01
L4	0,40	0,15	11,38	11,40	11,30	11,36	1,14	1,12	0,02
L5	0,50	0,15	12,49	12,51	12,57	12,52	1,25	1,25	0,00

Tabela 5.5 Dados obtidos para o pêndulo com o berlinde de massa 15,0 g, partindo da posição 15 cm, em relação à posição de equilíbrio.

Massa 2 (90,0 ± 0,1)g									
L	L (m)	Posição (m)	Tempo de 10 oscilações (±0,01 s)			Δ t	Período (s)	Valor teórico (s)	Desvio
L1	0,15	0,05	6,69	6,55	6,58	6,61	0,66	0,67	0,01
L2	0,20	0,05	7,85	7,8	7,59	7,75	0,77	0,77	0,00
L3	0,30	0,05	9,41	9,68	9,43	9,51	0,95	0,95	0,00
L4	0,40	0,05	10,36	11,25	11,00	11,04	1,10	1,10	0,01
L5	0,50	0,05	12,18	11,96	12,05	12,06	1,21	1,22	0,02

Tabela 5.6 Dados obtidos para o pêndulo com o berlinde de massa 90,0 g, partindo da posição 5 cm, em relação à posição de equilíbrio.

Massa 2 (90,0 ± 0,1)g									
L	L (m)	Posição (m)	Tempo de 10 oscilações (±0,01 s)			Δ t	Período (s)	Valor teórico (s)	Desvio
L1	0,15	0,10	6,39	6,37	6,40	6,39	0,64	0,67	0,03
L2	0,20	0,10	7,76	7,30	7,84	7,63	0,76	0,77	0,01
L3	0,30	0,10	9,56	9,31	9,55	9,47	0,95	0,95	0,00
L4	0,40	0,10	10,85	10,93	11,00	10,93	1,09	1,09	0,00
L5	0,50	0,10	12,80	12,80	12,23	12,61	1,26	1,22	0,04

Tabela 5.7 Dados obtidos para o pêndulo com o berlinde de massa 90,0 g, partindo da posição 10 cm, em relação à posição de equilíbrio.

Massa 2 (90,0 ± 0,1)g									
L	L (m)	Posição (m)	Tempo de 10 oscilações (±0,01 s)			Δ t	Período (s)	Valor teórico (s)	Desvio
L1	0,15	0,15	6,72	6,67	6,70	6,70	0,67	0,67	0,00
L2	0,20	0,15	7,98	8,00	7,93	7,97	0,80	0,77	0,02
L3	0,30	0,15	9,62	9,49	9,55	9,55	0,96	0,95	0,01
L4	0,40	0,15	10,35	11,13	10,99	10,82	1,08	1,10	0,01
L5	0,50	0,15	12,25	12,25	12,25	12,25	1,23	1,22	0,00

Tabela 5.8 Dados obtidos para o pêndulo com o berlinde de massa 90,0 g, partindo da posição 15 cm, em relação à posição de equilíbrio.

Para determinar o valor da constante de proporcionalidade k , os alunos usaram os dados obtidos empiricamente, considerando a aceleração gravítica igual a $9,80 \text{ m/s}^2$ e obtiveram os valores apresentados na Tabela 5.9.

Massa	Posição	K (ajuste)	Aceleração gravítica	Soma dos desvios
15,0 g	0,05 m	5,49	9,8 m/s ²	0,04
	0,10 m	5,50		0,03
	0,15 m	5,54		0,05
90,0 g	0,05 m	5,42		0,04
	0,10 m	5,41		0,08
	0,15 m	5,42		0,04

Tabela 5.9 Valor da constante k para cada uma das experiências do grupo 1.

Os alunos puderam observar experimentalmente que o período do pêndulo varia diretamente com o comprimento do fio e que tanto a massa quanto a posição inicial não têm influência no período do pêndulo. Acerca da constante k , concluem que se trata de uma constante adimensional que estabelece a razão de proporcionalidade direta entre o período e a raiz quadrada do quociente entre o comprimento do fio e a aceleração gravítica.

Os alunos destacam que as diferenças obtidas experimentalmente podem ter ocorrido devido a fatores como a presença de resistência do ar, que é considerada nula quando se efetuam os cálculos, possíveis erros na construção do pêndulo, adição involuntária de velocidade inicial ao largar o berlinde e imprecisão na cronometragem do tempo.

Por fim, concluem que a experiência teve grande importância para a aprendizagem, já que as variações entre os valores obtidos não foram significativas, garantindo qualidade ao constructo experimental pois permitiu-os ter confiança nos resultados, confirmando-se o que se esperava por meio da expressão teórica inicialmente deduzida.

Grupo 2

Após elaborarem as hipóteses para determinar o período do pêndulo simples e aceleração gravítica que nele atua, os alunos escolheram os materiais que utilizariam para construir o pêndulo em casa. Utilizaram, então, uma corda fina, uma massa cilíndrica, uma craveira para obter os valores do diâmetro do corpo suspenso, uma fita métrica, um escadote para suspender a massa, Arduino ligado a dois sensores (um emissor laser e uma foto resistência) e o computador para executar o software que permitiu realizar as medições. O esquema da montagem experimental está representado na Figura 5.4.

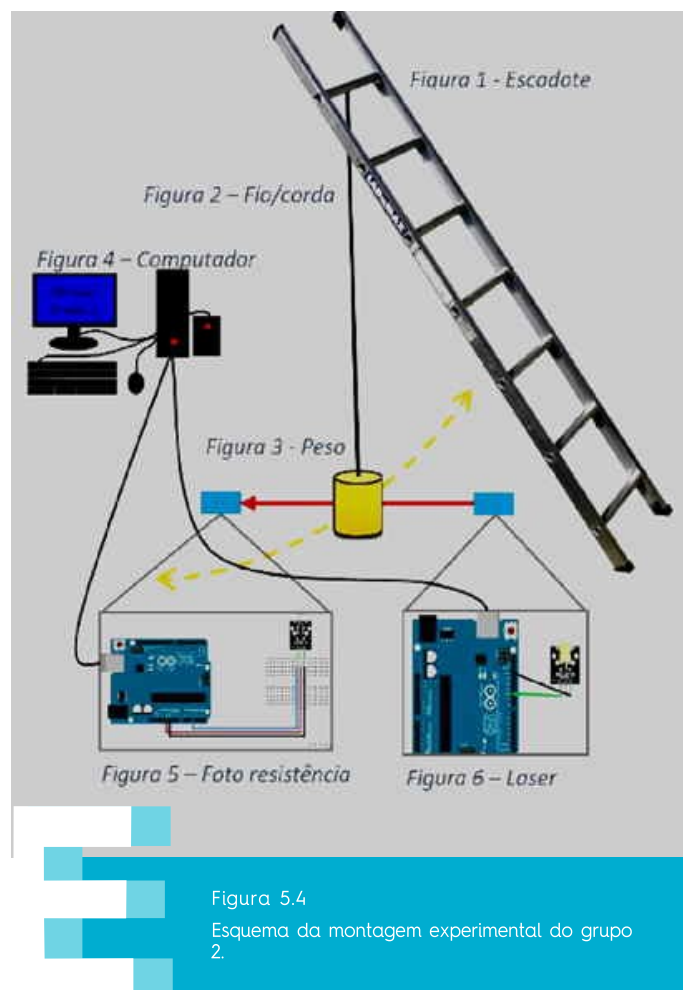


Figura 5.4
Esquema da montagem experimental do grupo 2.

Para os instrumentos de medição, determinaram as incertezas:

Fita métrica	$\pm 0.0005 \text{ m}$	Arduino	$\pm 0.000001 \text{ s}$
Craveira	$\pm 0.01 \text{ mm}$	Balança	$\pm 1 \text{ g}$

Tabela 5.10 Incertezas dos instrumentos de medição do grupo 2.

Para o procedimento experimental, o grupo efetuou a medição do comprimento do fio na sua posição mais estável e posicionou o sensor fotoelétrico. Em seguida, largou o pêndulo de uma altura qualquer e efetuou a medição de cinco períodos. Os alunos repetiram estes passos para diferentes comprimentos do fio mais três vezes. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.11.

Para a determinação da equação da reta e o valor da aceleração gravítica, os alunos fizeram o tratamento dos dados obtidos (Tabela 5.12).

	Comprimento ($\pm 0,0005$) m	1ª 1/2 Período ($\pm 0,000001$) s	2ª 1/2 Período ($\pm 0,000001$) s	Período inteiro ($\pm 0,000002$) s
1ª	2.155	1.605514	1.659998	3.265512
		1.604394	1.660030	3.264424
		1.603498	1.659902	3.263400
		1.602970	1.658878	3.261848
		1.602618	1.659230	3.261848
2ª	2.095	1.614026	1.616094	3.230120
		1.613354	1.615118	3.228472
		1.612938	1.613646	3.226584
		1.610922	1.612622	3.223544
3ª	2.020	1.610442	1.611614	3.222056
		1.588634	1.590010	3.178644
		1.588266	1.588878	3.177144
		1.586954	1.588542	3.175496
		1.585354	1.587454	3.172808
4ª	1.924	1.584602	1.585854	3.170456
		1.565098	1.556958	3.122056
		1.564330	1.555966	3.120296
		1.563530	1.554942	3.118472
		1.562954	1.553822	3.116776
		1.562186	1.552734	3.114920

Tabela 5.11 Registo dos dados do grupo 2.

	Período médio (s)	Desvios	Interress absoluta	Período (s)	Período 2 (s ²)
1ª	3.2634064	0.002106	0.002106	3.2634064 ± 0.002106	10.6498213
		0.001018			
		-0.000006			
		-0.001558			
		-0.001558			
2ª	3.2261552	0.003965	0.004099	3.2261552 ± 0.004099	10.4080774
		0.002317			
		0.000429			
		-0.002611			
3ª	3.1749096	-0.004099	0.004454	3.1749096 ± 0.004454	10.0800510
		0.003734			
		0.002234			
		0.000586			
		-0.002102			
4ª	3.1185040	-0.004454	0.003584	3.1185040 ± 0.003584	9.7250672
		0.003552			
		0.001792			
		-0.000032			
		-0.001728			

Tabela 5.12 Tratamento dos dados do grupo 2.

Os alunos, em seguida, construíram o gráfico do $T^2(L)$, conforme mostra a Figura 5.5.

A partir do declive obtido na regressão linear, foi calculado o valor da aceleração gravítica:

$$\frac{4\pi^2}{g} = 4,0289 \therefore g = 9,7888 \text{ m/s}^2$$

Os alunos apontam alguns possíveis erros ocorridos durante a experiência e sugestões de modificações para futuras aplicações. Por exemplo, referiram que a medição do comprimento do fio pode ter sofrido ligeiras variações, para além daquelas prevista pela incerteza do instrumento utilizado – fita métrica.

Grupo 3

Para explorar as propriedades do pêndulo gravítico, os alunos realizaram previsões sobre o efeito da variação do ângulo inicial e do comprimento do pêndulo oscilante. A partir da Análise Dimensional também chegaram à conclusão de que existe uma relação entre o período de oscilação com o comprimento do fio e com a aceleração gravítica, na qual a equação apresenta uma constante k que se pretende calcular.

Para a montagem experimental, os alunos utilizaram um fio de nylon leve e fino (para que sua massa fosse desprezável e minimizar o efeito da resistência do ar), uma chave que atuou como o corpo suspenso do pêndulo (com dimensões reduzidas, mas com massa suficiente para causar tensão no fio e permanecesse esticado). Para o suporte do pêndulo utilizaram a haste de um candeeiro, evitando movimentos durante a realização dos ensaios e, deste modo, não influenciar os resultados.

O pêndulo foi, então, largado de diferentes posições (0,05 m, 0,10 m e 0,15 m), a partir da posição vertical do pêndulo na posição de equilíbrio, representado no esquema da Figura 5.6.

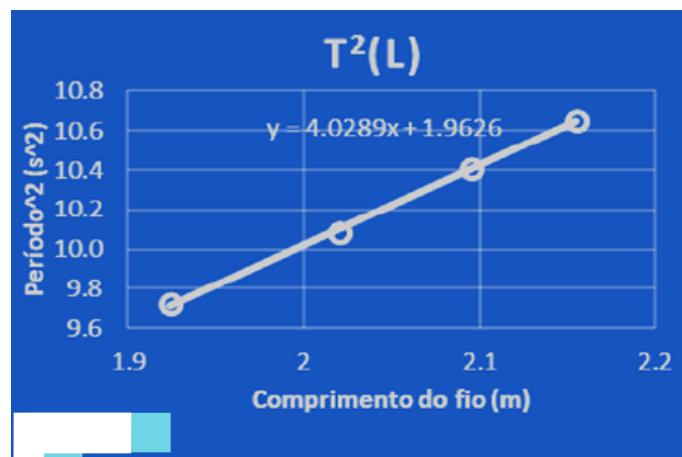


Figura 5.5
Gráfico $T^2(L)$ para o grupo 2.

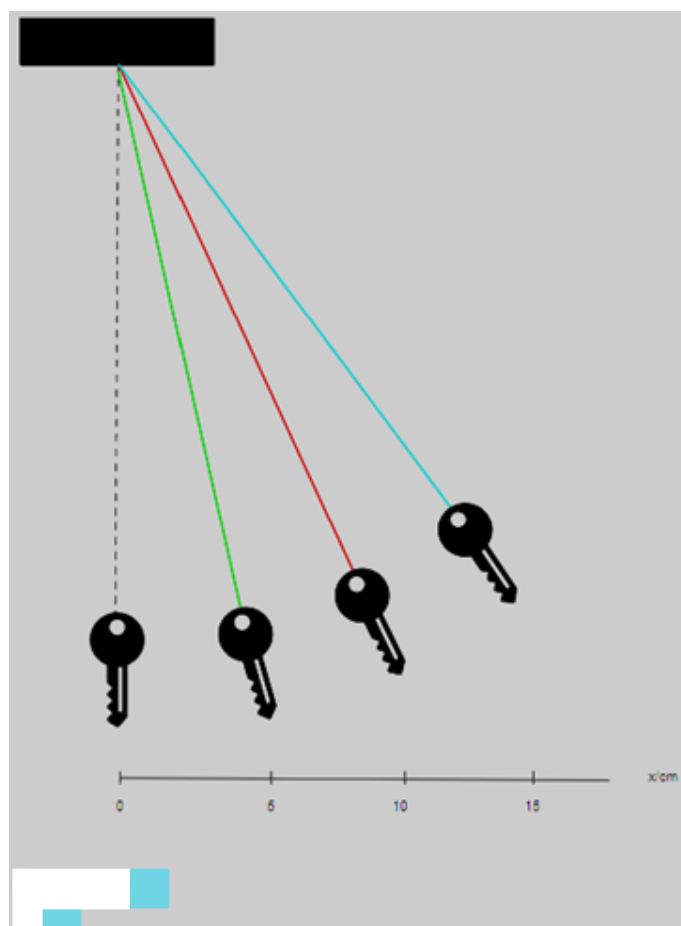


Figura 5.6
Esquema que mostra as diferentes posições de largada do pêndulo do grupo 3.

O comprimento do pêndulo de $3,76 \times 10^{-1}$ m foi obtido pela soma do comprimento do fio ($3,37 \times 10^{-1}$ m) com o comprimento da chave ($3,90 \times 10^{-2}$ m). O cálculo do período do pêndulo solto das diferentes posições foi feito através do tempo gasto por 10 oscilações, conforme apresentado na Tabela 5.13, a seguir:

Distância em relação ao ponto de equilíbrio [m]	Intervalo de tempo de 10 oscilações [s]	Período (T) [s]
0,05	11,66	1,166
0,10	11,78	1,178
0,15	11,72	1,172

Tabela 5.13 Cálculo do período do pêndulo para diferentes posições de largada pelo grupo 3.

Os alunos concluíram que, para diferentes posições iniciais, o período de oscilação é, aproximadamente, igual. Como os outros grupos, destacaram também que, os pequenos desvios podem estar relacionados com alguns erros experimentais como: a largada do pêndulo não ser feita no ponto considerado o ponto inicial; a velocidade inicial do pêndulo não ser nula; o fio não se encontrar esticado durante todo o movimento; a contagem não ter sido iniciada no mesmo instante em que o pêndulo foi largado e não ter sido interrompida no exato instante em que o pêndulo chega à sua posição inicial após uma oscilação.

Diante da conclusão de que o período é o mesmo para diferentes posições iniciais, e, dessa forma, o ângulo em que o pêndulo é largado não tem influência no período do pêndulo, os alunos procuraram verificar a influência do comprimento do fio. Para isso, usaram pêndulos de diferentes comprimentos de uma mesma posição fixa, pré-estabelecida. Assim como nos grupos anteriores, os alunos concluíram que o aumento do comprimento do fio provoca um aumento do período da oscilação do pêndulo e que a constante k , calculada com recurso ao *Solver* (para a menor soma de desvios relativamente ao valor teórico do período), apresenta um pequeno desvio em relação ao valor teórico para pequenas oscilações (2π).

Para verificarem a relação entre o período do pêndulo e a aceleração gravítica, os alunos recorreram à simulação do PhET, com um pêndulo de massa 1,0 kg, comprimento 70 cm com amplitude de oscilação de 40° . Simularam, então, o pêndulo a oscilar na Lua, na Terra e em Júpiter, para verificar a relação entre a aceleração gravítica e o período. Os resultados obtidos pelos alunos estão descritos na Tabela 5.14:

Gravidade [m.s ⁻²]	Período (T) [s]				T ²
Lua g = 1,62	4,24	4,24	4,25	Δt = 4,24	18,0
Terra g = 9,8	1,73	1,72	1,74	Δt = 1,73	2,99
Júpiter g = 24,79	1,08	1,08	1,08	Δt = 1,08	1,17

Tabela 5.14 Medição do período de um pêndulo sujeito a diferentes acelerações gravíticas, realizada pelo grupo 3.

Realizando a regressão linear do quadrado do período em função do inverso da aceleração gravítica, obtiveram a equação $T^2 = 29,1g^{-1}$ e o gráfico da Figura 5.7:

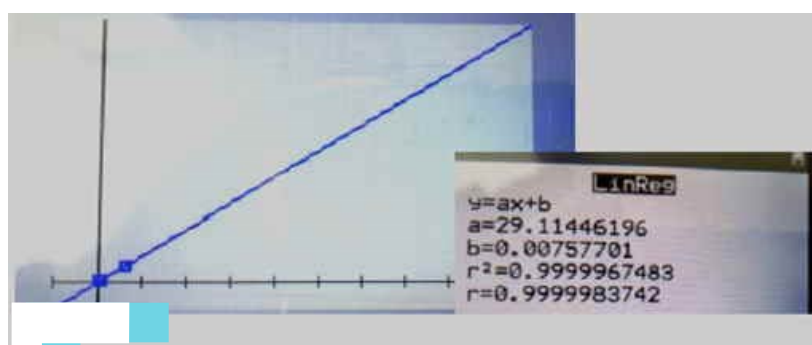


Figura 5.7

Regressão linear do quadrado do período em função do inverso da constante gravítica obtido pelo grupo 3.

A partir do declive da reta, determinaram o valor da constante k:

$$T = k \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} \Leftrightarrow \frac{T^2}{k^2} = \frac{l}{g} \Leftrightarrow \frac{T^2}{g^{-1}} = k^2 l$$

$$k^2 l = 29,1 \Leftrightarrow k = \sqrt{\frac{29,1}{0,70}} \Leftrightarrow k = 6,45$$

Em relação ao valor da constante teórica 2π , os alunos encontraram um valor de constante k com um erro percentual de 2,65% e associaram este erro à amplitude angular de oscilação estabelecida de 40° , que ultrapassa o valor de pequenas amplitudes para as quais a aproximação para estabelecer a equação

$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$ é aceitável.

Por fim, os alunos consideraram que os objetivos da tarefa foram alcançados e que os resultados obtidos foram satisfatórios, destacando que, mesmo que a experiência seja realizada com materiais alternativos e de fácil acesso, os erros não alteraram os resultados de forma significativa.

CAPÍTULO 6 – ATRITO E MOVIMENTO NO PLANO INCLINADO

André Silva, Mónica Baptista & Horácio Fernandes

Objetivos de aprendizagem

- Compreender a influência das forças de atrito, estático e dinâmico, num objeto em movimento num plano inclinado.
- Investigar como o ângulo de inclinação e o coeficiente de atrito afetam o movimento do objeto.
- Utilizar um laboratório remoto para realizar experiências reais com grande precisão na obtenção de recolha de dados.
- Aplicar os conceitos de física na manipulação de um algoritmo que estude o fenómeno do movimento de um carrinho sobre um plano inclinado.
- Extrair as características da função do atrito num modelo baseado em resultados experimentais.

Público-alvo

A atividade tem como público-alvo alunos pré-universitários, 17-18 anos.

Apresentação da tarefa

Uma pedra está a ser puxada por cordas num plano inclinado, o que aconteceria à pedra se as cordas se rompessem? Grande parte dos alunos hesitaria em dar uma resposta concreta, comentando “depende do atrito entre as superfícies e do ângulo de inclinação”. A pergunta, aparentemente simples, revela-se uma questão de investigação quando são introduzidos conceitos como o atrito e a inclinação do plano. De que dependem? Como influenciam? Poderá a resistência do ar ser desprezada? As forças de atrito estão entre as forças mais importantes no nosso dia a dia, estão presentes quando caminhamos, corremos e comemos. Esta e outras questões só farão sentido se reconhecermos a influência do atrito, componente essencial para a compreensão e explicação do mundo em redor.

Neste capítulo, apresentamos uma proposta para o estudo das forças de atrito, estático e dinâmico, recorrendo a um laboratório remoto.

Um laboratório remoto permite realizar experiências reais e recolher dados experimentais com grande precisão, através do acesso à internet em qualquer parte do mundo (Matarrita & Concari, 2016). Vários alunos poderão ter acesso à experiência e recolher dados, a partir da manipulação de variáveis. Tipicamente os laboratórios remotos envolvem equipamentos com grande sofisticação, sendo essa a sua principal vantagem em termos de recursos. Além disso,

o uso de microcontroladores possibilita uma recolha de dados com grande precisão e resolução temporal, permitindo uma análise de dados mais rica (Sari, 2019). García-Zubía (2021) refere que o uso de laboratórios remotos deve servir um propósito educativo, permitindo estudar partes do currículo, sendo que nem todos os tópicos são possíveis de trabalhar numa experiência remota. Compete ao professor escolher as melhores experiências educativas sem que se comprometa o tempo despendido para a manipulação da experiência, isto é, deve ser fácil e acessível, para que o foco esteja na compreensão do fenómeno e nas variáveis em estudo. A componente digital e tecnológica destes laboratórios promove um maior envolvimento dos alunos nas atividades.

O plano inclinado é uma das máquinas mais simples que se conhece e é utilizada para alterar a força com que um objeto é elevado. O estudo do plano inclinado é igualmente uma das abordagens clássicas das Leis de Newton, onde se estudam as equações do movimento ou se estabelecem considerações energéticas para o movimento. No entanto, muitas das experiências, por motivos de simplificação, procuram eliminar a componente de atrito. Isto é conseguido a partir da utilização de calhas de ar, eliminando praticamente o atrito ou rampas com inclinações elevadas, de tal forma que a componente gravítica é largamente superior à força de atrito. Este cenário é, portanto, artificial e só válido num cenário altamente controlado.

No plano inclinado utilizado partimos da condição de que o atrito existe e desafiamos os alunos a extrair cada uma das componentes que caracterizam a sua função. Os resultados são utilizados para comprovar a validade do modelo físico, assim como as potencialidades relacionadas com a utilização do laboratório remoto.

Para o desenvolvimento desta tarefa é proposto um contexto relacionado com as pirâmides do Egito, onde a utilização de rampas desempenhou um papel crucial no deslocamento de grandes blocos de pedra maciça para a sua construção vertical. Partimos da questão de investigação “Uma pedra está a ser puxada por cordas num plano inclinado, o que aconteceria à pedra se as cordas se rompessem?”, possibilitando ao aluno que se envolva com o contexto, discutindo e propondo hipóteses. Os alunos são desafiados a planificar uma atividade experimental que permita testar as previsões iniciais. No guião entregue aos alunos pode ler-se o contexto da tarefa, dando indicações para a utilização do elab⁴ e pequenas sugestões de abordagem, como a determinação da aceleração gravítica.

O laboratório remoto, elab, deve ser apresentado aos alunos, assim como a sua interface e funcionalidades disponíveis. O modo de funcionamento é através de uma fila de espera em que o utilizador, quando toma controlo da experiência, define os seus parâmetros, lança a experiência e recolhe os dados. A atividade deve ser complementada com uma montagem experimental em sala de aula, onde os alunos determinaram os coeficientes de atrito estático entre diferentes superfícies.

⁴ O elab é um laboratório remoto desenvolvido pelo IST (Instituto Superior Técnico, Lisboa) que oferece um conjunto de experiências, básicas e avançadas, na área da Física e que podem ser controladas remotamente através da instalação de uma interface desenvolvida pela equipa do elab. A experiência escolhida permite estudar o movimento de um carrinho num plano inclinado, onde a componente de atrito é exacerbada a partir de uma pala frontal, contribuindo significativamente para o atrito dinâmico.

Toda a atividade foi pensada tendo em conta uma abordagem STEM, promovendo uma aprendizagem integrada e significativa. A ciência está presente na exploração dos conceitos de força, movimento e atrito. Os alunos têm a oportunidade de compreender como a força gravítica e a força de atrito afetam o movimento de um objeto num plano inclinado, recolhendo e analisando parâmetros de posição e tempo. Na área da Tecnologia, a atividade envolve o uso do laboratório remoto elab, que permite aos alunos a realização da experiência de forma remota. Os alunos aprendem a usar a interface do laboratório remoto, a configurar a experiência e a recolher dados. A Engenharia está presente não só na montagem experimental do plano inclinado como na atividade de extensão que pretende avaliar o coeficiente de atrito através do movimento de blocos num plano inclinado. Por último, a Matemática está presente na obtenção das equações e do algoritmo que traduz o movimento observado na experiência. Os alunos aprendem a interpretar e a apresentar os dados em gráficos, tabelas e outras formas de visualização, permitindo uma melhor compreensão dos resultados experimentais.

Recursos

O plano inclinado utilizado permite o ajuste angular entre 0° e 23° graus. O carro utilizado dispõe de uma pala frontal de modo a intensificar a componente de atrito dinâmico criado durante o movimento (figura 6.1) e produzido pelo ar. Quando é executada a experiência a rampa é posicionada na altura pré-determinada pelo utilizador e o carrinho é libertado a partir de um eletroiman. Este percorre uma distância de 1,3 m até atingir uma mola que absorve a energia do movimento. Imediatamente atrás da mola situa-se um sensor ultrassónico que irá recolher a posição do carrinho em função do tempo. No final da experiência a rampa é elevada com um ângulo negativo de tal forma que o carrinho volte à sua posição inicial, repondo a configuração padrão do sistema para dar a vez ao próximo utilizador.



Figura 6.1

Plano inclinado e carrinho. No início do plano podemos ver um eletroiman que mantém o carrinho imóvel até ao lançamento da experiência.

O ângulo da rampa é determinado pela altura da rampa e dado pela seguinte expressão:

$$\theta = \frac{\text{altura (mm)}}{1003 \text{ mm}} \quad (1)$$

A interface de controlo (figura 6.2) desenvolvida pela equipa do elab permite ajustar parâmetros como a altura da rampa, o número de amostras e o tempo de medição entre amostras. Os alunos recolhem dados num sistema de fila de espera. Durante a experiência é possível visualizar a construção dos gráficos de posição em função do tempo, em tempo real (figura 6.3). Feita a recolha é possível extrair os dados para uma folha de cálculo. No âmbito deste trabalho, o estudo do efeito da mola criando ressaltos sucessivos, não foi alvo de análise. Neste sentido, foram recolhidos dados relativos ao movimento até imediatamente antes do embate com a mola.



Figura 6.2
A interface do utilizador no elab.



Figura 6.3
Posição em função do tempo (elab). O efeito dos ressaltos provocados pela mola não é estudado.

Guião do aluno

Nesta secção apresentamos o documento que foi facultado ao aluno e que serviu como guião de exploração. Esta guião começa com um texto introdutório acerca das grandes pirâmides do Egipto, procurando estabelecer uma ligação entre um contexto real e o estudo do plano inclinado. É assim apresentada a questão de investigação: imaginem que as cordas que estavam a prender a pedra se partiam. O que aconteceria à pedra? Porquê?

A ciência das Grandes Pirâmides



O complexo de pirâmides de Gizé (2550 – 2490 A.C.), localizado no Egipto, e considerado como uma das sete maravilhas do mundo tem, durante vários anos, deixado a comunidade científica intrigada acerca dos métodos utilizados na sua construção.

A falta de recursos e máquinas capazes de transportar objetos, como pedras com mais de duas toneladas, parece revelar-se um mistério difícil de resolver. No entanto, acredita-se que os egípcios tenham utilizado rampas para transportar as pedras da base para o topo da pirâmide e vice-versa, tornando a tarefa mais acessível. Além disso, uma das estratégias que usavam era recorrer a cordas para facilitar o transporte das pedras.



Imaginem que as cordas que estavam a prender a pedra se partiam. O que acontecia à pedra? Porquê?

A atividade é desenvolvida tendo como base o ensino por investigação (*inquiry*), assim procura-se que os alunos discutam entre si o contexto da tarefa, partilhando as suas ideias prévias. Após este momento os alunos iniciam uma investigação para dar resposta ao problema. Surja um conjunto de questões que procura orientar o aluno na manipulação do laboratório remoto.

Prevê

1. Prevê uma resposta para a questão anterior.

Investiga

Para testares a tua previsão utiliza o laboratório remoto elab. Aqui podes simular o movimento descrito no contexto inicial através de um carrinho que percorre um plano inclinado.



Manipulação do laboratório remoto – Consulta o tutorial elab – Plano Inclinado

2. Acede ao elab e planifica uma experiência que te permita testar as tuas previsões:
 - a) Observa o esquema da montagem experimental do elab.
 - b) Identifica as variáveis que irás determinar e as relações algébricas que consideres pertinentes (Considera o atrito desprezável).
3. Recolhe dados relativamente ao movimento do carrinho que se desloca num plano inclinado.
(Organiza a recolha de dados numa folha de cálculo (*Excel*) e identifica os parâmetros definidos em cada experiência).
4. Determina o valor da aceleração gravítica. Fundamenta a tua resposta. Nesta fase considera desprezável a componente de atrito.
(Apresenta todas as equações ou deduções matemáticas que utilizes).
5. Apresenta os teus resultados.

Reflete e Explica

6. Compara o valor da aceleração gravítica que obtiveste experimentalmente com o valor teórico. Explica a que se devem as diferenças.
(Apresenta os cálculos que te permitam determinar o erro relativo entre o valor teórico de g e o valor experimental).

Vai mais além

Os egípcios, além da utilização das rampas para o transporte das pedras, recorriam também a técnicas para minimizar os efeitos das forças de atrito.



O teu desafio agora passa por incluir as forças de atrito na situação do carrinho e estudar a sua influência no movimento.

- Recorre a uma análise multivariada para o cálculo do valor de g experimental, considerando todas as forças de atrito que atuam no carrinho.

Exploração da tarefa

A abordagem utilizada para a recolha de dados envolve, antes de mais, avaliar as forças envolvidas no sistema. Como podemos ver na representação do carrinho identificamos a força de atrito, a força gravítica (peso) e a reação normal da superfície no carrinho.

Chegamos assim às relações:

$$F = -mg \sin \theta + f_a = ma \quad (2)$$

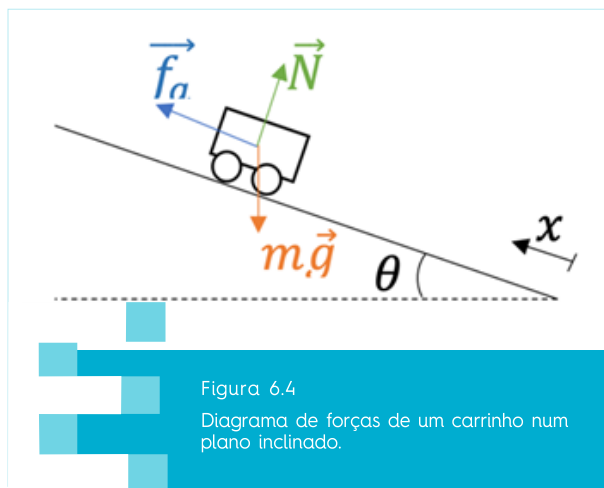


Figura 6.4
Diagrama de forças de um carrinho num plano inclinado.

Embora não tenhamos conhecimento da função responsável pela componente de atrito vamos admitir que esta é aproximada a uma função de polinómio de segundo grau na velocidade. Esta hipótese será validada posteriormente com recurso a uma análise multivariada.

$$f_a = b_1 + b_2 v + b_3 v^2 \quad (3)$$

Se voltarmos à equação (2), extraímos a aceleração como:

$$a = (-g \sin \theta + b) + cv + dv^2 \quad (4)$$

Onde $b = \frac{b_1}{m}$, $c = \frac{b_2}{m}$ e $d = \frac{b_3}{m}$

Para que possamos validar o nosso modelo teremos de iterar cada uma das variáveis g , b , c e d para perceber se o modelo se ajusta aos dados experimentais. Esse trabalho é simplificado com a utilização de uma ferramenta que procura o melhor ajuste para os nossos dados. Para isso, recorreremos ao *solver*, um suplemento do *Microsoft Excel* que pode ser instalado gratuitamente.

Análise multivariada

A análise multivariada deve ser trabalhada numa folha de cálculo, construindo um *template* que pode mais tarde ser partilhado com os alunos. No *template* é criada uma secção para a obtenção de dados experimentais e uma secção destinada à validação do algoritmo (equação 4). No algoritmo, é realizado um ajuste dos mínimos quadrados, onde a velocidade e aceleração são calculadas a partir do método de Euler, isto é, aplicamos a definição de derivada nos diferentes pontos do movimento. Tendo em conta a grande resolução temporal dos dados, o método de Euler é suficientemente preciso e torna-se bastante útil para a compreensão do movimento. Na figura 7.5 apresentamos uma sugestão para o *template*. O algoritmo contém os parâmetros relativos à posição, velocidade e aceleração. É calculada a diferença entre a posição obtida experimentalmente e a posição obtida a partir do modelo. O *solver* irá procurar minimizar a soma dos desvios, resolvendo os parâmetros g , b , c e d que otimizam a função.

Dados Experimentais			Algoritmo		Desvio	
N. posição $i[1, \dots, n]$	Tempo $t_i[s]$	Posição $x_i^e[m]$	Aceleração $[ms^{-2}]$	Velocidade $[ms^{-1}]$	Posição $x_i^p[m]$	$ x_i^p - x_i^e $
1	0,028	1,433	$a_1 = (-g \sin \theta + b) + cv_1 + dv_1^2$	0	1,433 (x_1^e)	0
i	t_i	x_i^e	$a_i = (-g \sin \theta + b) + cv_i + dv_i^2$	$v_i = v_{i-1} + a_{i-1}\Delta t$	$x_i^p = x_{i-1}^p + v_{i-1}\Delta t$	$ x_i^p - x_i^e $
					Desvio acumulado	$\sum_{i=1}^n [x_i^p - x_i^e]$

Figura 6.5
Template utilizado para a recolha de dados e validação do algoritmo.

Importa salientar que os parâmetros g e b não dependem da velocidade e desta forma o *solver* não poderá otimizar numericamente cada um dos parâmetros. Utilizando amostras de uma só medição o *solver* determina o melhor parâmetro para o conjunto $-g \sin \theta + b$, independente da velocidade. Esta particularidade matemática demonstra que seria impossível distinguir um universo com gravidade menor e atrito de rolamento mais elevado de um com gravidade elevada e atrito de rolamento menor, isto é, a trajetória num determinado ângulo seria igual para ambos os casos. No entanto note-se que o ângulo apenas tem influência na componente gravítica, não afetando o parâmetro b . Resolvemos isto com uma nova recolha de dados, agora para um ângulo diferente, pedindo novamente ao *solver* que minimize o somatório dos seus desvios. Quanto maior for o número de medições a diferentes ângulos, maior será a precisão na extração de cada um dos parâmetros.

Exemplos dos alunos

Nesta secção procuramos apresentar alguns resultados de alunos que participaram nesta atividade, estes incluem a produção de relatórios científicos e a criação de posters de comunicação em eventos STEM. No que diz respeito ao artigo científico, os alunos apresentaram todas as etapas de resolução, assim como os gráficos obtidos no elab, como se pode ver na figura 6.6.

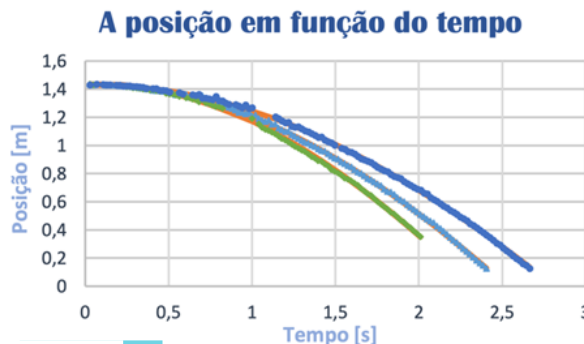


Figura 6.6
Gráfico construído por um grupo de alunos. Cada cor representa um lançamento a diferentes alturas da rampa. Verde - 70 mm; Azul - 60 mm; Azul-escuro - 50 mm.

Neste gráfico podemos observar o registo da posição em função do tempo para três alturas da rampa, 70 mm, 60 mm e 50 mm, nas cores verde, azul e azul-escuro respetivamente. Embora esteja em falta a legenda no gráfico, os alunos fizeram essa mesma descrição no decorrer do relatório. Relativamente ao algoritmo os alunos conseguiram determinar os parâmetros tal como demonstrado no ex-certo:

Parâmetros do modelo (Eq. 6)	<i>g</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	Desvio total acumulado
	9,833	0,075	2,68×10 ⁻⁵	0,206	3,14108
Erro de <i>g</i> [%]	0,33				

Figura 6.7
Parâmetros obtidos pelo Solver (resultados dos alunos).

Importa referir que os alunos conseguiram determinar cada um dos parâmetros do modelo matemático, com um valor de aceleração gravítica de 9,833 ms⁻², o que representa um desvio inferior a 1%, validando assim o modelo matemático em estudo. Como já foi referido, o parâmetro *b* não depende da velocidade e, portanto, será constante em todo o movimento. O atrito aerodinâmico é descrito apenas pelos parâmetros *c* e *d* pela seguinte equação:

$$F_a \text{ (aerodinâmico)} = b_2v + b_3v^2$$

Onde $b_2 = cm$ e $b_3 = dm$

Os alunos procuraram relacionar o contributo das componentes de atrito com a velocidade do carrinho, obtendo o seguinte gráfico:

As suas conclusões foram as seguintes: “com a observação deste gráfico consegue-se afirmar que para velocidades superiores a $0,6 \text{ ms}^{-1}$, a força de atrito aerodinâmico é superior à força de atrito de rolamento”. Os alunos também foram capazes de explicar que o objetivo da pala do carrinho foi para aumentar a influência da força de atrito aerodinâmico. Embora as suas conclusões sejam interessantes do ponto de vista da análise de dados, os alunos não realizaram medições com alturas significativamente superiores. Recorde-se que a altura máxima utilizada pelos alunos foi de 70 mm, o que corresponde a um ângulo de 4 graus. Coloca-se então a questão de como seria influenciado o atrito aerodinâmico caso o carrinho fosse largado de um ângulo significativamente maior.

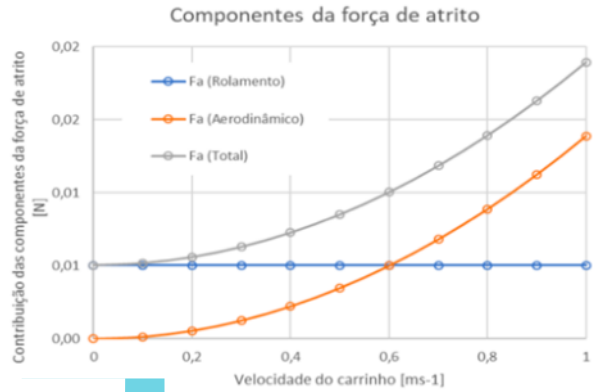


Figura 6.8
Contributo das componentes da força de atrito com a velocidade do carrinho.

Os cartazes construídos pelos alunos resumem todas as etapas da obtenção de dados e são apresentados alguns dos gráficos utilizados no estudo do movimento, assim como as principais conclusões.

Na segunda etapa da atividade, os alunos procuram dar resposta à seguinte questão de investigação. “De que fatores depende o valor mínimo da força necessária para arrastar um corpo?”. Neste sentido foram construídas rampas para o lançamento de diferentes objetos a partir do ângulo crítico.

Figura 6.9
Pósteres científico elaborados por dois grupos de alunos.



Figura 6.10
Estudo do coeficiente de atrito.

Os alunos concluíram que a força de atrito não depende do tamanho das superfícies em contacto, mas da rugosidade das mesmas. Foi calculado o quociente da força de atrito pelo peso (F/P) e traçaram uma grandeza em função da outra. O gráfico permitiu tecer conclusões relativamente à linearidade da função, isto é, $F = kP$, sendo “ k ” uma constante característica das duas superfícies em contacto, cujo valor depende da rugosidade e aderência destas. A força de atrito surge quando uma superfície se desloca em contato com outra: o seu módulo é igual à força necessária para manter o objeto em movimento constante, a sua direção é paralela às superfícies em contato e o seu sentido é oposto ao movimento relativo entre as superfícies.

Conclusões

O *feedback* dos alunos relativamente à tarefa e utilização de laboratórios remotos também foi importante avaliar. No que diz respeito à sua utilização os alunos referiram que este “facilitou a realização das atividades durante esta fase de pandemia”, evidenciando a vantagem inerente ao facto de poder realizar uma atividade laboratorial com equipamento de grande precisão e acessível a partir de qualquer ponto com acesso à internet. Os alunos também salientaram que “os erros durante a realização da atividade são inferiores, em relação às atividades realizadas em sala de aula”, uma vez que a utilização de sensores elimina o erro humano na medição. Além disso, o controlo das medições pode ser partilhado entre todos os grupos facilitando um tratamento estatístico numa amostra de dados mais alargada. Em relação às limitações, os alunos destacaram alguns aspetos técnicos relacionados com o acesso à plataforma, tendo em conta a necessidade de se manter uma conexão à internet estável durante todo o trabalho.

A tarefa aqui divulgada apresenta valor pedagógico pela forma inovadora de introduzir o estudo da força de atrito no plano inclinado. Esta abordagem permite também ao aluno trabalhar conceitos avançados de física e conduzir um tratamento de dados sofisticado, com recurso à ferramenta *solver*, permitindo a validação de modelos matemáticos para a compreensão do mundo. Os alunos

demonstraram evidências das suas aprendizagens na elaboração de um relatório de investigação e divulgação do trabalho em encontros nacionais para o Ensino da Física.

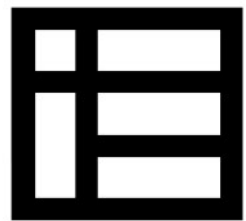
Referências

Cardoso, C., Santos, M., Silva, M., & Fernandes, H. (2021). Como introduzir o atrito na análise do plano inclinado. *Gazeta de Física*, 43(3/4), 19-23.

García-Zubía, J. (2021). *Remote Laboratories: Empowering STEM Education with Technology*. World Scientific.

Matarrita, C. A., & Concari, S. B. (2016, February). Remote laboratories used in physics teaching: a state of the art. In *2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* (pp. 385-390). IEEE.

Sari, U. (2019). Using the Arduino for the experimental determination of a friction coefficient by movement on an inclined plane. *Physics Education*, 54(3), 035010.



INSTITUTO DE
EDUCAÇÃO
ULISBOA

@REDESCOLA 2023