

GAZETA DE  
**física**

Para os físicos e amigos da física.

[WWW.GAZETADEFISICA.SPF.PT](http://WWW.GAZETADEFISICA.SPF.PT)

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA / VOL. 44- N.º 1 / 2021 / Publicação Trimestral / €5,00



**Polarimetria, luz difusa e LIDAR**

**Painel fotovoltaico para experiências remotas online**

**Determinação de  $g$  com a aplicação *phyphox***

**Jorge Dias de Deus - 1941-2021**

# Índice

## 1 Editorial

artigo geral

- 2 **LiDAR - Tudo na luz é informação**  
Nazar Romanyshyn, Moisés Duarte, Nelsson Cunha, Mário Rui Pereira,  
Mikhail Vasilevskiy

sala de professores

- 12 **Painel fotovoltaico**  
Manuel Santos, Rúben Cardoso, André Duarte, Horácio Fernandes

sala de professores

- 18 **Determinação do valor da aceleração gravítica com a aplicação *phyphox***  
Albino Rafael Pinto, Carlos Saraiva

carta ao editor

- 21 **O comboio a vapor (STEAM)**

Horácio Fernandes

homenagem

- 22 **SPF homenageia neste número da Gazeta de Física o seu sócio honorário Professor Jorge Dias de Deus, Físico que se notabilizou no ensino da Física, na investigação e na cidadania**  
Vários Testemunhos

crónicas

- 37 **Jorge Dias de Deus**  
Carlos Herdeiro

livros e multimédia

- 38 **«Galileu e a Parábola»**  
José Braga

vamos experimentar

- 40 **Fontanários: brincando com a Física!**  
Constança Providência

- 43 **Notícias**

## CRÉDITOS

Imagem da capa: Jorge Dias de Deus por Dário Passos

Uma das características da ciência atual, particularmente no contexto das suas aplicações, é a integração de sistemas e conceitos vindos de diferentes áreas do saber que permitem implementar soluções que, muitas vezes, cremos estarem apenas no domínio da ficção científica. Os desenvolvimentos recentes na tecnologia de veículos de condução autónoma são um bom exemplo destes aspetos e a Física tem dado contribuições importantes para a possibilidade, ainda incerta, da sua implementação futura.

O conceito de carros de condução autónoma já tem alguns anos. Desde as primeiras experiências, feitas ainda nos anos 20 do século passado, foram sendo desenvolvidos protótipos, com bastantes limitações, muito baseados no controle externo do veículo (controle por rádio, por exemplo). No entanto, para poderem ser bem-sucedidos no seu uso corrente, os carros autónomos terão que participar no trânsito normal e na vida do quotidiano das nossas povoações, sem que exista intervenção exterior para os controlar. Para isso é necessário terem noção, em cada momento, da situação do carro em relação ao tráfego, da existência de peões na sua zona envolvente e da presença de obstáculos que possam afetar a trajetória do veículo. Apenas desta forma será possível conduzir de forma segura levando os passageiros até ao seu destino.

Só recentemente começou a ser possível desenvolver protótipos capazes de condução realmente autónoma, tirando partido de uma gama vasta de sensores integrados no próprio veículo. Como exemplos, refira-se o sistema de Radar para detetar a presença de outros carros, as câmaras de vídeo para identificação de peões, sinais de trâ-

sito, semáforos, marcações na via e outros, e os sensores de ultrassons utilizados, por exemplo, no processo de estacionamento. De entre os sensores utilizados há um que se tem revelado particularmente importante: o LIDAR (acrónimo de *Light Detection And Ranging*). O sensor LIDAR emite radiação laser para a região envolvente do automóvel (com comprimento de onda na região do infravermelho) e deteta os pulsos luminosos refletidos nos objetos em torno dele. Desta forma, permite medir distâncias com rigor e criar uma imagem de 360° da região envolvente, ou seja, o LIDAR permite criar um mapa detalhado do ambiente em que se move o veículo. O LIDAR é uma das aplicações que resulta do estudo da Física envolvida nas propriedades da reflexão difusa da luz em objetos e da medição experimental e análise das características dessa mesma luz. Para lá dos veículos autónomos, os LIDAR têm sido também aplicados na criação de mapas em geodesia, topografia e arqueologia e para estudar superfícies inacessíveis como a Lua. Neste número da Gazeta Física podemos encontrar um artigo dedicado a todos estes aspetos e à Física na qual eles se baseiam, bem como às aplicações envolvidas.

Nesta edição da Gazeta, prestamos também homenagem a Jorge Dias de Deus, recentemente falecido. A formação das novas gerações de Físicos, a comunicação com o público em geral por meio dos seus livros de divulgação científica e a promoção e desenvolvimento da ciência em Portugal foram alguns dos focos do seu trabalho. Aqui deixamos os testemunhos de quem o conheceu e com ele privou, e recordamos o seu percurso de vida.

Boas leituras



## Ficha Técnica

### Estatuto Editorial

<http://www.spf.pt/gazeta/editorial>

### Propriedade | Sede | Redação | Editor

Sociedade Portuguesa de Física  
Av. da República, 45 – 3º Esq.  
1050-187 Lisboa  
Telefone: 217 993 665

### Director

Bernardo Almeida

### Editores

Filipe Moura  
Francisco Macedo  
Nuno Peres  
Olivier Pellegrino

### Secretariado

Maria José Couceiro - [mjose@spf.pt](mailto:mjose@spf.pt)

### Comissão Editorial

Conceição Abreu - Presidente da SPF  
Gonçalo Figueira - Anterior Diretor Editorial  
Teresa Peña - Anterior Diretor Editorial  
Carlos Fiolhais - Anterior Diretor Editorial  
Ana Luísa Silva - Física Atómica e Molecular  
Ana Rita Figueira - Física Médica  
Augusto Fitas - Grupo História da Física  
Carlos Portela - Educação  
Carlos Silva - Física dos Plasmas  
Constança Providência - Física Nuclear  
Joaquim Moreira - Física da Matéria Condensada  
José Marques - Física Atómica e Molecular  
Luís Matias - Geofísica, Oceanografia e Meteorologia  
Manuel Marques - Óptica e Laser, Universidade do Nuno Castro - Física Partículas  
Rui Agostinho - Astronomia e Astrofísica  
Sofia Andringa - Física Partículas

### Correspondentes

André Pereira - Delegação Norte  
Fernando Amaro - Delegação Centro  
José Marques - Delegação Sul e Ilhas

### Design / Produção Gráfica

Fid'algo - Print Graphic Design Lda.  
Rua da Nau Catrineta, nº 14, 2º Dto. | 1990-186 Lisboa

NIPC 501094628

ISSN 0396-3561

Tiragem 1 000 Ex.

Registo ERC 110856

Depósito Legal 51419/91

### Publicação Trimestral

As opiniões dos autores não representam necessariamente posições da SPF.

Preço N.º Avulso 5,00 € (inclui I.V.A.)

Assinatura Anual 15,00 € (inclui I.V.A.)

Assinaturas Grátis aos Sócios da SPF.

# LiDAR – Tudo na luz é informação

Nazar Romanyshyn<sup>1</sup>, Moisés Duarte<sup>2</sup>, Nelssom Cunha<sup>1</sup>, Mário Rui Pereira<sup>1,3</sup>, Mikhail Vasilevskiy<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup> Centro de Física – CF-UM-UP, Universidade do Minho, Braga & Guimarães

<sup>2</sup> Bosch Car Multimedia, Bosch - Portugal, Braga

<sup>3</sup> Departamento de Física, Universidade do Minho, Braga

<sup>4</sup> International Iberian Nano Laboratory, Braga

## Resumo

O que têm em comum o caminho da lua no mar e a condução autónoma de veículos? A reflexão difusa da luz em superfícies rugosas e materiais heterogêneos é responsável pela visibilidade de objetos que não conseguiríamos ver de acordo com a lei de Snell. O mesmo fenómeno ótico também está na base do funcionamento de sensores remotos chamados LIDARs (abreviação de *Light Detection And Ranging*) que surgiram nos anos 60 do século XX nos Estados Unidos e na União Soviética com a finalidade de medir a distância a objetos, estudar superfícies inacessíveis (como a da Lua) e analisar a atmosfera. As aplicações atuais também incluem a geodesia, topografia e arqueologia, como um dos instrumentos de mapeamento, e a mobilidade, em sistemas de condução autónoma de veículos. Embora os LIDARs forneçam, mais diretamente, a distância e a velocidade relativa dum objeto, a distribuição angular e a polarização da luz espalhada pela sua superfície podem ser utilizadas para adquirir informações adicionais, tais como a escala da rugosidade típica da superfície e o tipo de material do objeto (metal ou isolador). Neste artigo, discutem-se os princípios de modelação da reflexão difusa e de medição experimental e análise da polarização da luz difundida.

## 1. Reflexão difusa por objetos do mundo real

### 1.1. Introdução

A maioria de objetos apenas reflete a radiação que incide sobre eles, sem atuar como fonte de luz. Todos os corpos não luminosos, quando iluminados por uma fonte da luz, tornam-se visíveis apenas porque espalham luz. Por exemplo, 85 % da luz branca é refletida numa superfície plana coberta da neve, 75 % do papel branco, 0,5 % do veludo preto. O fenómeno no qual a luz é refletida num ângulo diferente do ângulo de incidência é conhecido como reflexão difusa.

A reflexão difusa da luz acontece em qualquer superfície rugosa. Um exemplo natural e bonito deste fenómeno é o caminho da lua devido

a ondulação do mar (Figura 1a). Se a superfície da água fosse lisa, iríamos ver apenas uma imagem da lua (um círculo iluminado), refletida num espelho. A reflexão difusa também pode ser causada por uma variação espacial do índice de refração do material. Por exemplo, a mármore, um material compósito, tem um aspeto mate mesmo quando é bem polido. O leite é branco e mate devido às partículas suspensas na água, distribuídas aleatoriamente mesmo quando a sua superfície é perfeitamente plana.

A maioria dos objetos à nossa volta são visíveis devido à luz difusa (Figura 1). Se a sua superfície fosse óticamente lisa, só os conseguiríamos ver segundo num certo ângulo, determinado pela lei de reflexão

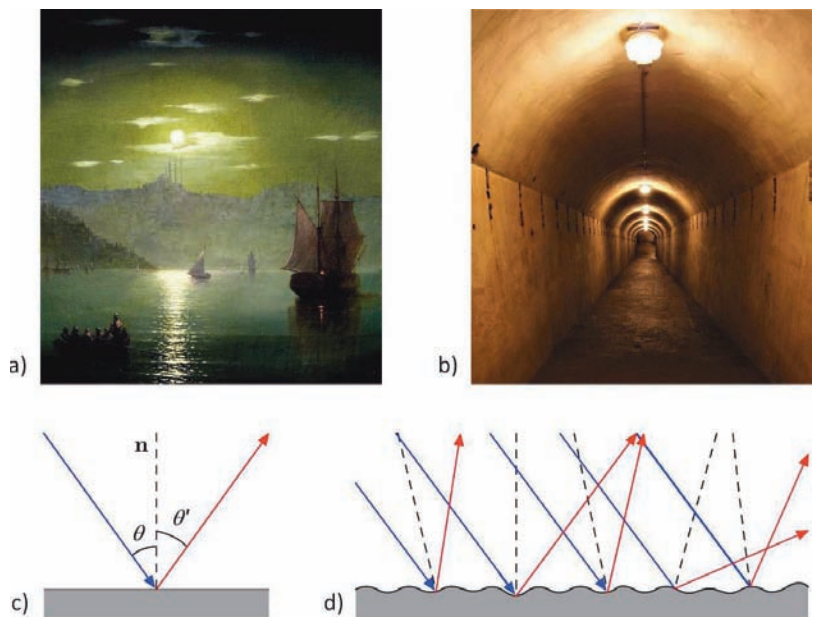


Figura 1 - a) Reflexão difusa do luar na superfície da água e nas nuvens em “Caminho da lua” (1886), pintura de I. K. Aivazovski. b) Fotografia a mostrar reflexão difusa da luz nas paredes e no teto de um corredor. c) Esquema de reflexão da luz. O ângulo  $\theta$  que o feixe incidente (a azul) forma com a normal ao plano ( $n$ ) é igual ao ângulo de reflexão  $\theta'$  que o feixe refletido (a vermelho) forma com a normal. d) Esquema de reflexão difusa. Ampliando a imagem é possível ver que a superfície é rugosa e muitos feixes são refletidos em diversas direções uma vez que a normal varia localmente.

no espelho (a lei de Snell). Um condutor, a conduzir o seu carro à noite, consegue ver a berma da estrada porque uma parte da luz dos faróis é retrorefletida pelo mecanismo de reflexão difusa. A reflexão torna-se difusa se as irregularidades da superfície são distribuídas aleatoriamente no espaço e a sua escala típica é da ordem do comprimento de onda da radiação incidente (ou o excedem). Outro exemplo de difusão da luz, muito frequente na natureza é o espalhamento de Rayleigh que resulta da interação da luz com pequenas partículas. Embora na derivação original de Lord Rayleigh (1881) fossem consideradas partículas esféricas de tamanho  $\alpha < \lambda$  (onde  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz), a distribuição angular da intensidade da luz espalhada,

$$\frac{dI(\theta)}{d\theta} = I_0(1 + \cos^2 \theta) \sin \theta$$

(onde  $\theta$  é o ângulo de difusão e  $I_0 = \text{const}$ ), é a mesma no caso de espalhamento por flutuações de densidade num gás ou num líquido e o termo “difusão de Rayleigh”, no sentido alargado, designa a difusão elástica da luz (sem alteração de  $\lambda$ ) [1]. Neste sentido, a teoria mais abrangente de espalhamento por partículas esféricas cujo tamanho não é necessariamente inferior a  $\lambda$ , desenvolvida por G. Mie, da qual a fórmula acima é um caso limite, também descreve a difusão de Rayleigh. O céu azul, a cor vermelha do pôr do sol e a diminuição aparente do sol no inverno são os efeitos da difusão de Rayleigh da luz na atmosfera [2]. No contexto deste artigo, notemos que a difusão por partículas dispersas num material composto, com uma matriz não absorvente, origina uma distribuição angular larga da luz espalhada mesmo quando a sua superfície for bem polida.

## 1.2. Análise e modelação da reflexão difusa

O problema da difusão de ondas eletromagnéticas por uma superfície real, rugosa é extremamente complexo. As ondas refletidas por diferentes partes da superfície (e também pelas superfícies internas, no caso dum material composto) podem interferir, pelo que o problema envolve a teoria de difração, a qual tem aspetos comuns independentemente da natureza física das ondas. O primeiro estudo matemático deste tipo de problema para uma superfície desigual provavelmente foi feito por Lord Rayleigh que considerou a difração de ondas sonoras numa superfície sinusoidal [3]. Usualmente a forma duma superfície real descreve-se por uma função aleatória das coordenadas do espaço (e possivelmente do tempo). A difração de ondas nestas superfícies deve ser considerada como um problema estatístico. Provavelmente a primeira abordagem deste tipo foi feita pelo físico soviético E. Feinberg, que analisou a propagação de ondas eletromagnéticas junto a uma superfície metálica, aleatoriamente irregular [4]. Ele notou que, apesar da aleatoriedade, existe uma componente coerente do campo, um facto conheci-

do para ondas de outra natureza, por exemplo, elétrões em cristais com desordem.

O trabalho acima referido foi baseado na teoria de perturbações, sendo que a altura típica das irregularidades da superfície foi considerada pequena. Logo a seguir surgiram publicações cujos autores recorreram ao método de “plano tangente”, também conhecido como a aproximação de Kirchhoff (cuja ideia encontra-se explicada em livros clássicos da Eletrodinâmica [2]). Nesta aproximação a escala “vertical” da rugosidade não é necessariamente pequena, mas as flutuações são consideradas suaves, ou seja, a escala “horizontal” é relativamente maior. Ambas as abordagens foram objeto de desenvolvimentos posteriores; uma discussão compreensiva pode ser encontrada no artigo de revisão [5].

Uma versão do método escalar de Kirchhoff é o modelo de (micro)facetas que foi desenvolvido, em particular, por P. Beckmann e A. Spizzochino [6]. Neste modelo considera-se que a superfície é constituída por fragmentos planos, inclinados relativamente ao plano médio da superfície segundo um ângulo aleatório. É assumido que cada uma dessas facetas é muito maior que  $\lambda$  e reflete de forma especular a luz incidente de acordo com as equações de Fresnel [2]. O conjunto de todas as reflexões especulares que ocorre em cada uma das *microfacetas* dá origem à reflexão difusa.

O desenvolvimento de novos materiais usados na indústria de bens de consumo e a crescente atenção ao seu aspeto visual resultou, nas últimas décadas, num interesse cada vez maior no uso de modelos de difusão da luz visível, sobretudo do modelo de microfacetas (MF), para simular a cor e a aparência (brilhante, mate ou “metálica”) destes materiais e produtos, mesmo com superfícies complexas, como o couro [7]. A versão mais popular do modelo MF nestes estudos de computação gráfica é o de Cock e Torrance [8], no qual se usa a ótica geométrica para a reflexão em cada faceta e o ingrediente principal é a função de distribuição do ângulo entre o vetor normal a uma microfaceta e a normal à superfície média. O desenvolvimento do modelo MF (por exemplo, introduzindo uma hierarquia de escalas das facetas) e a sua incorporação em *software* de simulação continua. Um exemplo disso é o programa multifuncional Geant4 que permite simular a interação de várias partículas, incluindo fótons, com a matéria [9], o qual discutiremos com mais detalhes em seguida.

Os métodos acima referidos não abrangem todas as situações que ocorrem em superfícies reais. Como sempre na ciência, ao lado das abordagens baseadas em “primeiros princípios” existem modelos fenomenológicos que funcionam à base de algumas ideias intuitivas ou factos empíricos e utilizam parâmetros (e, por vezes, funções) de ajuste que se determinam através de comparação com resultados experimentais. Um exemplo radical deste tipo de modelo é a denominada reflexão lambertiana, i.e., a reflexão difusa por uma superfície perfeitamente mate, descrita pela lei de Lambert. É aplicável à iluminação, por holofotes, de superfícies mate (como papel, giz) e amplamente usada em computação gráfica. Foi investigado por J.H. Lambert, que introduziu uma descrição desse fenómeno na sua obra *Photometria*, publicada em 1760. Superfícies lambertianas difundem a luz da mesma forma em todas as direções e, portanto, pare-

cem igualmente brilhantes, independentemente do ângulo de observação ( $\alpha$ ). Para qualquer ângulo de incidência, a intensidade da luz espalhada por uma superfície lambertiana é distribuída de acordo com a equação:

$$I = I_0 \cos \alpha$$

Obviamente, isto é uma idealização. O modelo MF, pelo menos nas suas versões mais utilizadas, não inclui reflexões múltiplas, as quais são particularmente importantes para a retrodifusão. No *software* Geant4 que utiliza o chamado modelo UNIFIED, estes efeitos também são incluídos numa forma fenomenológica. Em geral, a difusão da luz por uma superfície rugosa é composta por três componentes de reflexão principais (veja-se Figura 2): (i) o pico especular, (ii) o lóbulo especular e (iii) o lóbulo difuso. O Geant4 é um *software* gratuito, baseado em C++ e composto por várias bibliotecas que contêm ferramentas de simulação. Desenvolvido pelo CERN em 1998, inicialmente foi concebido para simulações de interações de partículas de alta energia com a matéria, com recurso ao método Monte Carlo (MC). Recentemente o consórcio internacional desenvolveu uma biblioteca chamada de “*Optical Physics*” [9], que permite a simulação de partículas de baixa energia, incluindo os fótons, e que também inclui o modelo de microfacetas. A biblioteca usa a lei de Fresnel para definir a interação com a matéria para cada um dos fótons. O material pode ser definido através do seu índice de refração complexo,  $\bar{n} = (n + ik)$ , ou usar valores experimentais de refletividade, transmitância e coeficiente de absorção do material considerado.

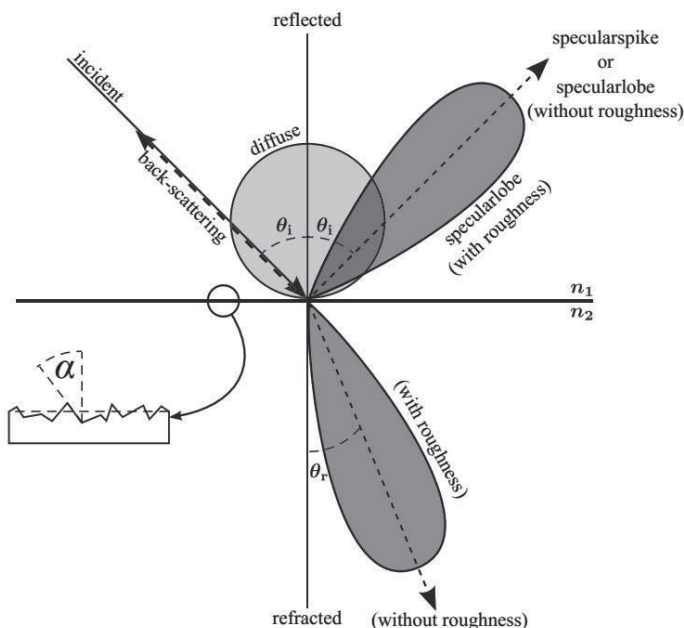


Figura 2 - Ilustração esquemática de uma superfície rugosa com o parâmetro de rugosidade (designado por  $\sigma_\alpha$ ) e as diferentes componentes que contribuem para a intensidade da luz espalhada: pico especular, lóbulo especular (devido à reflexão por microfacetas), lóbulo difuso (lambertiano), pico de retrodifusão, e lóbulo transmitido (refratado) para materiais transparentes [10].

O pico especular representa a reflexão semelhante a um espelho que é dominante no caso de superfícies lisas. O lóbulo especular é a parte descrita pelo modelo MF, que assume uma distribuição gaussiana dos ângulos de inclinação das microfacetas, com o desvio padrão desta distribuição como

um dos parâmetros de ajuste. O Geant4 utiliza o método MC no qual uma microfaceta é selecionada aleatoriamente a partir da distribuição gaussiana, para representar a superfície do alvo que irá interagir

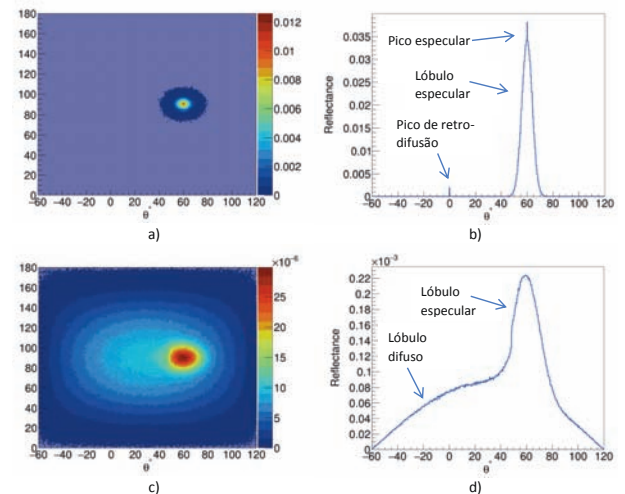


Figura 3 - Resultados de simulações de reflexão difusa da luz não polarizada para dois materiais diferentes com superfícies rugosas (alumínio - a, b e  $\text{TiO}_2$  - c, d). Os mapas de cor (a, c) representam o varrimento da intensidade da luz espalhada em ângulos esféricos,  $\varphi$  e  $\theta$ , e os gráficos (b, d) representam uma secção destes mapas secção para  $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ . Os gráficos estão normalizados pelo número de eventos MC considerados na simulação.

com o fóton gerado. A parte lambertiana representa, fenomenologicamente, os mecanismos que resultam num espalhamento isotrópico. Os pesos relativos destes três lóbulos também são parâmetros de ajuste definidos pelo utilizador, aos quais é adicionado o quarto componente relativo ao pico de retrodifusão (também este fenomenológico).

Como exemplo, a Figura 3 mostra os resultados de simulação obtidos com Geant4 para dois materiais – um metal, alumínio polido, e um dielétrico,  $\text{TiO}_2$  – com superfícies rugosas. Ambos os materiais simulados consistem em filmes de  $15 \mu\text{m}$  de espessura que são iluminados com um feixe de radiação no infravermelho (comprimento de onda  $1550 \text{ nm}$ ), com  $1 \text{ mm}$  de diâmetro e com um ângulo de incidência de  $30^\circ$  segundo a normal ao plano da superfície média (o que corresponde à reflexão especular a  $60^\circ$  em  $\theta$  e  $90^\circ$  em  $\varphi$ ). Foram gerados 1 milhão de fótons para o alumínio e 10 milhões para  $\text{TiO}_2$  (porque este último material é transparente e tem uma refletividade de apenas 17 %). No caso do alumínio polido, a superfície rugosa foi simulada através de uma distribuição angular gaussiana das *microfacetas* com o desvio padrão  $\sigma_\alpha = 2^\circ$ . Na Figura 3b podemos observar o pico especular, o lóbulo especular e o pico da retrodifusão. No caso do  $\text{TiO}_2$  foi considerada uma distribuição de *microfacetas* com  $\sigma_\alpha = 5^\circ$ . Como podemos ver na Figura 3d, isto resulta num lóbulo especular bastante mais largo do que no caso anterior; também foi incluído o efeito *lambertiano* que resulta no lóbulo difuso.

## 2. Sensores baseados na reflexão difusa da luz, os LIDAR

### 2.1. Contexto histórico, os LIDAR atmosféricos, aplicação na exploração da superfície da Terra e de outros planetas

Muitos dos instrumentos que nos permitem quer conhecer a superfície da Lua quer aterrar um avião em Lisboa são baseados no desenvolvimento de sensores que determinam distâncias através da deteção e análise da retrodifusão de radiação. Nesta categoria de sensores para a deteção remota, encontram-se diferentes tecnologias: o SONAR que utiliza a radiação sónica; o RADAR que processa a radiação rádio; e o LIDAR que manipula a radiação laser. As necessidades de caracterização de alvos com elevada resolução, exatidão e precisão encontram no sensor LIDAR (abreviação de *Light Detection And Ranging*), uma opção tecnológica viável e versátil. Este termo surgiu, provavelmente, pela primeira vez em 1953 numa monografia de Middleton e Spilhaus [11], bem antes da invenção do laser. Ainda antes disso, os estudos na atmosfera utilizando a luz retrorrefletida proveniente de holofotes foram publicados por E.H. Synge [12].

Com o aparecimento dos lasers, nos anos 60 do século XX, nos Estados Unidos e na União Soviética surgem os primeiros LIDAR baseados nas fontes da luz coerente, com a finalidade de medir distâncias, estudar superfícies inacessíveis e também monitorizar a atmosfera. Em particular, estes métodos foram implementados em 1961 no protótipo COLIDAR (*Coherent Light Detection And Ranging*) pelos engenheiros na *Hughes Aircraft Company* [13] com o objetivo de estudar a densidade da atmosfera. Usando a luz retrorrefletida, é possível computar o vetor de velocidade do vento tirando partido no desvio de fase da frequência emitida por LIDAR (efeito de Doppler) [14]. O desenvolvimento da tecnologia LIDAR para monitorização da atmosfera levou à criação de uma plataforma de LIDAR conhecida como EARLINET (European Aerosol Research LIDAR Network) [15].

Ao nível da investigação em Oceanografia, a tecnologia LIDAR é utilizada, entre outras, na deteção do plâncton nos oceanos, permitindo analisar a sua variação com as alterações climáticas [16].

A exploração do espaço, desde o seu início, tornou-se outra das áreas importantes de aplicação de LIDAR. Em 1962, L. Smullin e F. Fiocco usaram a tecnologia LIDAR para estudar os ecos na Lua. [17]. Em 1963, experiências dedicadas à exploração da superfície da Lua com um feixe laser começaram na União Soviética e, a partir de 1973, foram realizadas observações sistemáticas de cinco refletores especiais colocados na Lua naquela época (missões Lunokhod 1, Lunokhod 2, Apollo 11, Apollo 14 e Apollo 15). A superfície da Lua agora é conhecida com a exatidão de 1 metro [18].

Para além da utilidade em investigações científicas e aplicações civis (mas também militares), tais como a

geodesia, topografia e arqueologia, o LiDAR é cada vez mais empregue na construção de soluções comerciais no futuro da mobilidade. Desde a produção dos altímetros para a medição da distância do avião à pista quando este aterra, à implementação das funcionalidades de estacionamento e condução automática. Estas últimas serão discutidas de forma breve de seguida.

### 2.2. Os LIDAR no contexto de condução de veículos

Para falarmos de condução automatizada/autónoma, temos de referir os níveis que são definidos pela Sociedade de Engenheiros Automóveis (SAE): Nível 0 – é um ser humano a controlar sempre o veículo; Nível 1 – há sistemas de automatização que auxiliam o condutor na direção, aceleração, travagem, mas nunca duas ao mesmo tempo (por exemplo, o *Cruise Control* adaptativo); Nível 2 – O carro incorpora sistemas de automatização que podem auxiliar o condutor na direção, aceleração e travagem (por exemplo, o *Traffic Jam Assist*); Nível 3 – O automóvel é dotado da automação necessária para controlar o veículo em situações de trânsito intenso. Em casos pontuais pode solicitar a ação do condutor humano; Nível 4 – O automóvel incorpora automação necessária para fazer o trajeto de A a B sem a intervenção humana. Terminando o percurso, solicita a ação humana. Nível 5 – O automóvel é automatizado de forma a que não exista espaço para input humano.

Os diferentes níveis de condução autónoma são aplicados de região para região conforme as necessidades humanas requerem e a legislação e desenvolvimento tecnológico permitem [19]. Em 2021, os Níveis 1 e 2 são os mais comuns nas nossas cidades uma vez que temos sistemas de automatização nos nossos carros como auxílio ao estacionamento e na condução em caso de “pára-arranca”. Estes sistemas de automatização surgiram porque os humanos apresentam dificuldades em estacionar e em manter a correta atenção em situações de trânsito em que durante horas é necessário executar as tarefas de travar, estimar a distância ao próximo carro, acelerar, estimar a distância, parar, etc. Nestes casos o objetivo dos primeiros três níveis de automatização é facilitar a condução diminuindo principalmente o número de estragos materiais. Nos níveis acima (4 e 5), pretende-se automatizar o carro de forma a diminuirmos os números de danos humanos. Substituindo decisões humanas por decisões automáticas processadas por computador. Neste campo, há uma junção de esforços no desenvolvimento dos sensores: SONAR, RADAR e LIDAR. Ao nível da precisão, exatidão e resolução o LIDAR é o sensor que promete tornar viável a condução autónoma em ambiente ur-



Figura 4 - Uma visão artística de um veículo de condução autónoma, guiado por vários sensores incluindo o LIDAR. Imagem: cortesia da Antena 1.

bano, onde existe muito trânsito e situações delicadas na interação de circulação humana e automóvel. A tecnologia LIDAR torna-se importante nas situações de visibilidade reduzida, em particular à noite (Figura 4), e, comparando com as de SONAR e RADAR, permite uma melhor resolução espaço-temporal.

Embora estejamos muito aquém do nível 5, tanto por limites no desenvolvimento tecnológico quanto na inexistência de legislação, já existem serviços de mobilidade a serem comercializados que tem por base tecnologia LIDAR. Na corrida para a construção da primeira plataforma de serviço de mobilidade automática, onde se encontram, entre outras, a Apple e Uber, a empresa que mais se destaca neste segmento é a WAYMO, uma subsidiária da Alphabet. A WAYMO operou mais de 1000 viagens para mais de 1000 clientes que foram transportados em monovolumes automatizados. Estes foram dotados de tecnologia LIDAR para atingir o Nível 4 de condução autónoma [20]. O resultado da aplicação da tecnologia LIDAR no ambiente automotivo é a virtualização de tudo o que rodeia o carro numa nuvem de pontos. Tirando partido das propriedades físicas da radiação que sofre retrodifusão, detetada pelo LIDAR, é possível automatizar os automóveis de forma a que estes conduzam imperativamente melhor que os humanos. Da mesma forma que conhecemos a Lua também podemos dar a conhecer o nosso mundo aos automóveis usando a tecnologia LIDAR. Contudo, o mais provável é que esta tecnologia seja no futuro apenas uma das incluídas num leque de sensores e técnicas de monitorização usados nos carros de condução autónoma.

### 3. Luz polarizada

#### 3.1. Polarização da luz

A polarização é uma propriedade característica das ondas transversais (em particular, das eletromagnéticas) que descreve a orientação da oscilação. No caso da luz, a oscilação contida dentro do plano perpendicular/transversal à propagação da onda descreve a direção do campo elétrico,  $\vec{E}$  (veja-se Figura 5).

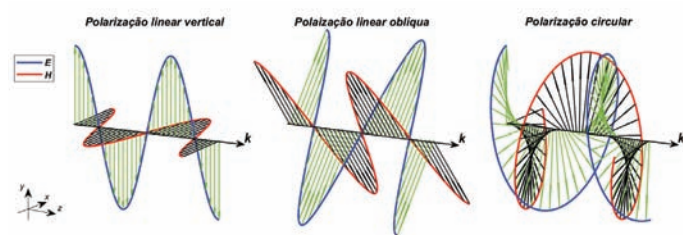


Figura 5 - Campos elétrico (vermelho) e magnético (azul) para luz linearmente polarizada a  $0^\circ$  (lado esquerdo), a  $45^\circ$  (ao centro) e luz circularmente polarizada à esquerda (lado direito). A direção de propagação da onda é determinada pelo vetor de onda.

A polarização da luz recebe diferentes nomes em função de como é visualizada a oscilação da componente elétrica do campo eletromagnético. Quando a oscilação de  $\vec{E}$  está orientada numa única direção ao longo da propagação (ortogonal a  $\vec{k}$ ), é chamada de polarização linear; quando a direção da oscilação roda ao longo da propagação, tem-se polarização circular ou elíptica. Além disso, as polarizações circular e elíptica podem rodar para a esquerda ou para a direita. Na Figura 5 apresentam-se três exemplos de ondas eletromagnéticas com diferentes polarizações lineares ( $0^\circ$  e  $45^\circ$ ) e circular à esquerda.

A polarização de uma onda eletromagnética, elíptica em geral, depende da relação de fase e das amplitudes das suas componentes segundo duas direções ortogonais (entre si e ao vetor  $\vec{k}$ ) que podem ser escolhidas de forma arbitrária, consoante a conveniência, sendo muitas vezes designadas pelo termo “base”.

Embora a luz natural usualmente não seja polarizada, os efeitos de polarização surgem no espalhamento da luz na atmosfera e mesmo em reflexões especulares, como, por exemplo, na superfície dum lago. Existe também um fenómeno de reflexão simples que muda a polarização da luz no fundo do mar, resultando em luz polarizada elíptica. Alguns animais desenvolveram a sua visão para a deteção de luz polarizada usando-a para orientação [22]. Várias aplicações, tais como fotografia ou microscopia, utilizam a luz polarizada para aumentar o contraste, enquanto que o cinema 3D usa a polarização para criar efeitos visuais especiais.

Sempre que um feixe ótico interage com a matéria, o estado de polarização refletido ou transmitido vai depender das propriedades da matéria e da superfície sobre a qual o feixe incide, das características do próprio feixe (comprimento de onda, estado de polarização, etc.) e do ângulo de incidência. Assim, diferentes materiais podem refletir ou transmitir diferentemente o mesmo feixe incidente polarizado. O que acontece à polarização quando a luz é refletida ou defletida por um obstáculo? A reflexão especular numa superfície plana sob incidência oblíqua depende do estado de polarização da luz incidente, um facto bem conhecido. As equações de Fresnel determinam os coeficientes de reflexão da luz para os casos de polarização s e p [2],

$$r_s = \frac{\sin(\theta_i - \theta_t)}{\sin(\theta_i + \theta_t)}; \quad r_p = \frac{\tan(\theta_i - \theta_t)}{\tan(\theta_i + \theta_t)},$$

onde  $\theta_i$  e  $\theta_t$  são os ângulos de incidência e de transmissão que obedecem à relação:

$$\frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_t)} = \frac{n_2}{n_1},$$

em que  $n_2$  e  $n_1$  são os índices de refração dos meios onde se propagam a onda incidente e a onda transmitida, respetivamente. Naturalmente, a polarização também influencia a reflexão difusa. Podemos verificar isto usando o modelo de microfacetetas, discutido na seção 1.2.

A biblioteca “Optical Physics” do programa Geant4 permite definir uma polarização linear de entrada,  $\vec{e} = (e_x, e_y, 0)$ , com as componentes reais, sendo a direção de propagação da luz incidente. A polarização de cada fóton gerado pelo método MC é monitorizada até à sua chegada ao detetor. Usando os mesmos parâmetros da seção 1.2, simulamos a reflexão difusa da luz polarizada por uma camada de  $\text{TiO}_2$ . Os resultados, tendo em atenção as alterações do estado de polarização, são mostrados na Figura 6.

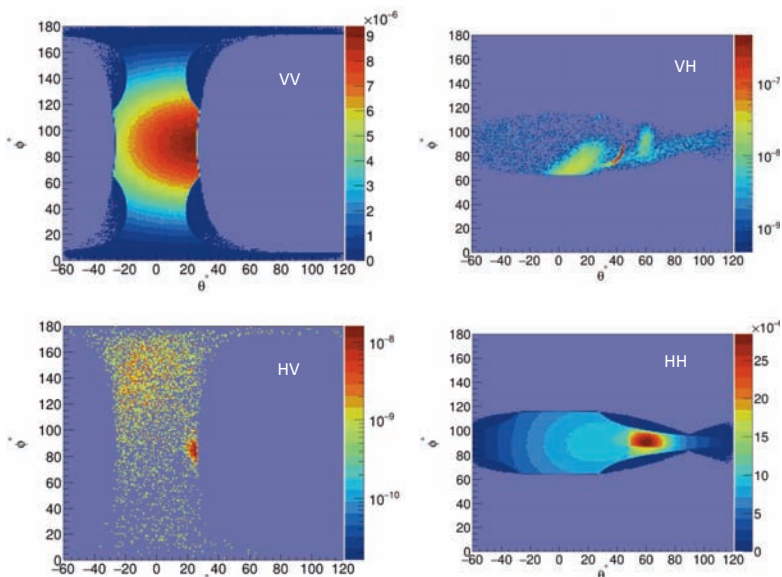


Figura 6 - Resultados de simulações de reflexão difusa da luz linearmente polarizada por uma camada espessa de  $\text{TiO}_2$  com a superfície rugosa, para duas polarizações ortogonais designadas por "vertical" (V) e "horizontal" (H). A polarização da luz incidente esta indicada pela primeira letra e a da luz refletida pela segunda letra. O ângulo de incidência é de  $30^\circ$ .

Nesta figura podemos verificar que a reflexão é diferente para as duas polarizações (V e H), por causa da incidência oblíqua. Embora no modelo de microfasetas, implementado no Geant4, as reflexões múltiplas sejam consideradas, estes eventos são raros e não produzem um sinal suficientemente intenso para as polarizações cruzadas da luz incidente e espalhada (HV e VH). Este efeito, tal como alterações mais complexas do estado de polarização da luz refletida, surge apenas quando, devido a grandes relevos na superfície, as reflexões múltiplas são frequentes. Por exemplo, retrorrefletores cuja superfície é composta por facetas planas, regulares que fazem ângulos suficientemente grandes entre si para facilitar a reflexão consecutiva da luz em mais do que uma delas, chamados refletores diédricos, triédricos, etc., já provocam alterações "não diagonais" da polarização linear [23]. Com superfícies esféricas, a alteração do estado de polarização da luz retrorrefletida também requer mais do que uma reflexão.

### 3.2. Luz parcialmente polarizada

Uma onda eletromagnética monocromática,  $\vec{E} = \vec{E}_0 \exp[i(kx - \omega t)]$ , com  $\vec{E}_0 = \text{const.}$ , é polarizada por definição. No entanto, na prática as ondas nunca são exatamente monocromáticas, com a variação temporal do campo elétrico dada por  $\vec{E} = \vec{E}_0(t) \exp(-i\omega t)$ , onde  $\omega$  é uma frequência média. A variação temporal, aperiódica, da direção do campo elétrico significa que a luz não é completamente polarizada. Matematicamente, isto significa que a fase da onda deixa de ser bem definida. A luz parcialmente polarizada pode ser descrita com base nas intensidades, i.e., combinações bilineares das diferentes componentes do campo elétrico.

Um método usado para analisar alterações de polarização produzidas por diferentes materiais baseia-se

na medição do vetor de Stokes,  $\vec{S}$ , que comporta uma descrição completa das propriedades polarimétricas de um feixe ótico, mesmo não coerente (i.e., composto por ondas fisicamente independentes que não interferem entre si) [23]. Os quatro parâmetros que formam o vetor de Stokes podem ser calculados a partir de uma série de medidas de intensidade assim como a partir do campo elétrico:

$$\vec{S} = \begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \langle E_p E_p^* + E_s E_s^* \rangle \\ \langle E_p E_p^* - E_s E_s^* \rangle \\ \langle E_p E_s^* + E_s E_p^* \rangle \\ i \langle E_p E_s^* - E_s E_p^* \rangle \end{pmatrix},$$

onde  $E_p$  e  $E_s$  são as componentes paralela e perpendicular do vetor campo elétrico relativamente ao plano de incidência. A interpretação física das componentes do vetor de Stokes é:  $S_0$  é a intensidade total do feixe;  $S_1$  descreve a quantidade de luz com polarização linear, horizontal ou vertical;  $S_2$  descreve a quantidade de luz linearmente polarizada a  $+45^\circ$  ou  $-45^\circ$ ; e  $S_3$  descreve a quantidade de luz circularmente polarizada (à direita ou à esquerda). Em termos, dos parâmetros de Stokes, o grau de polarização do feixe é dado por:

$$P = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0}, \quad 0 \leq P \leq 1.$$

Por exemplo, o vetor de Stokes  $\vec{S}_{\text{np}} = (1, 0, 0, 0)$  (normalizado por  $S_0$ ) representa uma luz não polarizada (natural) e o vetor  $\vec{S}_1 = (0, 0, 0, -1)$  corresponde a uma luz com a polarização circular à esquerda. Um feixe parcialmente polarizado pode ser representado por um vetor de Stokes  $\vec{S} = S_0[(1 - P)\vec{S}_{\text{np}} + P\vec{S}_p]$ , onde  $\vec{S}_p$ , um vetor com norma 1 e com 0 na primeira entrada, representa a parte polarizada.

A reflexão numa superfície, tal como a passagem por um elemento ótico, altera o vetor de Stokes do feixe,  $\vec{S} \rightarrow \vec{S}'$ . Esta alteração pode ser descrita por uma matriz  $4 \times 4$ , chamada a matriz de Mueller:

$$\vec{S}' = \hat{M} \cdot \vec{S}.$$

Os 16 elementos reais desta matriz,  $m_{ij}$ , que obedecem a certas relações de compatibilidade e, por isso, não são todos independentes [23], descrevem as propriedades polarimétricas dos materiais. A medição destes elementos discute-se em seguida.

## 4. Polarimetria, uma técnica laboratorial

### 4.1. Implementação experimental

Um polarímetro é composto por um gerador de polarização (PSG) e por um analisador de polarização (PSA), veja-se Figura 7. O PSG consiste numa fonte de luz (laser) e por elementos óticos (lâminas de atraso, cristais líquidos, etc.) que polarizam a luz emitida pela fonte da forma desejada. Este módulo experimental permite ilu-

minar a superfície da amostra com luz cujo estado de polarização é controlado. No PSG, o polarizador linear é montado antes do modulador de fase. Depois da interação da luz com a superfície do material, o estado da polarização da luz refletida/transmitida é medido pelo PSA. De forma análoga ao PSG, o PSA é composto por um modulador de fase, por um polarizador, montado depois do modulador, e por um detetor.

A geometria da montagem experimental foi desenvolvida para poder fazer os estudos de polarização na amostra em função do ângulo de incidência e de reflexão, como é exemplificado na Figura 8. No caso dos estudos de polarização de luz refletida, o controlo dos dois ângulos referidos de forma independente permite estudar a polarização de luz refletida na direção especular e nas direções (em princípio, arbitrárias) da reflexão difusa.

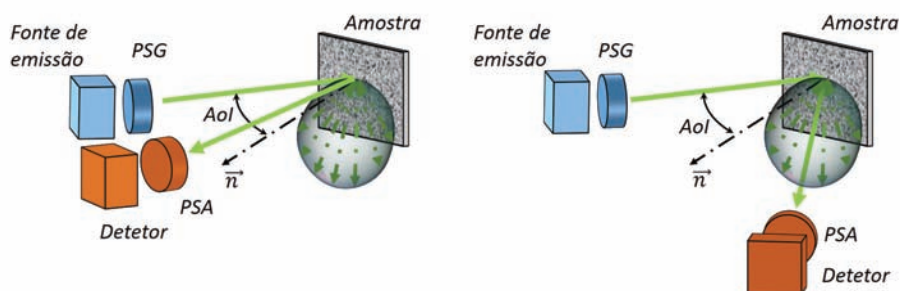


Figura 7 - Ilustração esquemática de um polarímetro Mueller de imagem medindo: a) luz refletida pela amostra; b) luz espalhada pela amostra, para um determinado ângulo de incidência ( $AoI$ ). Imagem: cortesia de Irene Estevez.

Uma forma convencional de fazer a aquisição completa da resposta de polarimétrica de uma amostra, consiste em fixar os polarizadores lineares e alterar as fases no PSG e no PSA, nos respetivos moduladores com uma

frequência de 5:1. Essa razão permite codificar a informação dos 16 elementos da matriz de Mueller na respetiva transformada de Fourier. A descrição mais detalhada pode ser encontrada, por exemplo, na referência [24].

A título de exemplo, a Figura 8 apresenta as 16 componentes da matriz de Mueller (MM) medidas em função do ângulo de reflexão ( $\theta$ ) a incidência normal para uma superfície metálica comum [25]. A reflexão especular de luz está centrada em ângulo de reflexão de  $0^\circ$ . Os elementos da matriz de Mueller que estão representados nesta figura, exceto o elemento  $m_{00}$ , estão normalizados por elemento  $m_{00}$ . O elemento  $m_{00}$  representa a intensidade de luz (em unidades arbitrárias).

A largura da curva de variação angular do elemento  $m_{00}$ , mostra que a superfície da amostra é bastante rugosa, no entanto, está longe de ser lambertiana (compare com a Figura 3). Os elementos diagonais ( $m_{11}, i = 1, 2, 3$ ) representam o grau de polarização linear, vertical e oblíqua, e de polarização circular, respetivamente. Podemos ver que o grau de polarização de luz refletida é máximo para a reflexão especular e diminui com o aumento do ângulo de reflexão. Os elementos da matriz  $m_{10}$  e  $m_{01}$  mostram que a diatenuação da polarização linear aumenta à medida que o ângulo de reflexão aumenta. No entanto, a polarização linear da luz incidente é preservada, em grande parte, mesmo para os ângulos

(observe-se a variação dos elementos  $m_{11}$   $\theta \approx 15^\circ$  e  $m_{22}$ . Este efeito (chamado “retenção da polarização”) também foi observado em estudos de tintas metalizadas [26].

## 4.2. Aplicações da polarimetria

Polarimetria é uma técnica laboratorial que consiste em medir os estados de polarização, sendo útil em diferentes áreas de investigação e de desenvolvimento. Complementar às técnicas de espectroscopia, ela é útil para caracterização e classificação de diversos materiais. Consideremos brevemente algumas das suas aplicações principais.

### Aplicações biomédicas

A interpretação das matrizes de Mueller facilita a compreensão das características fundamentais dos tecidos, através de polarização, e também permite estabelecer uma relação entre as imagens polarimétricas e os exames médicos. Na técnica de imagiologia conhecida pela abreviação OCT (*Optical Coherence Tomography*), a aplicação

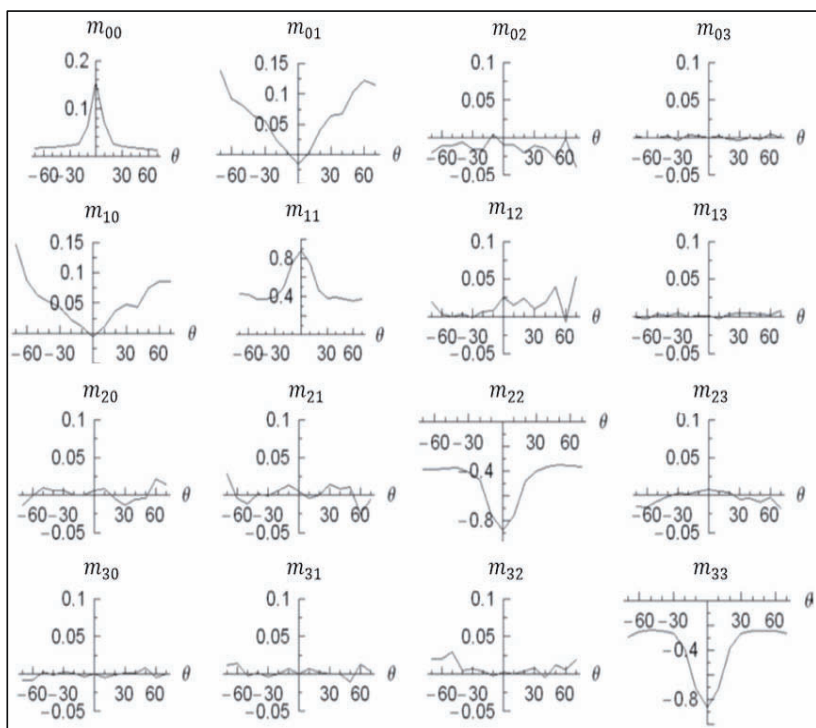


Figura 8 - Representação dos elementos da matriz de Mueller de superfície de uma caixa metálica [25].

de polarização permitiu aumentar o contraste nas imagens. Uma discussão mais detalhada sobre o uso de polarização em OCT pode ser encontrada em [27]. Para além de OCT, podemos encontrar o uso de polarimetria nos estudos de tecidos biológicos [28] e do esqueleto muscular [29], bem como na monitorização da população das bactérias [30].

Em particular, foi demonstrado que o valor absoluto dos elementos da matriz de Mueller  $m_{11}$ ,  $m_{22}$  e  $m_{33}$  da luz retrorrefletida nas células cancerígenas é superior ao valor relativo às células não cancerígenas. Nos estudos de polarimetria feitos com vários tipos de tecidos (gordura, tendão, parede arterial) [31], foi observado que:

$$|m_{11}| = |m_{22}| > |m_{33}|,$$

e apenas para o sangue foi observada a relação inversa. Estas conclusões são importantes para o avanço no diagnóstico dos tecidos e na cirurgia.

### Outras aplicações

A polarimetria também é usada nas aplicações relacionadas com os estudos da vegetação e do terreno. Por exemplo, foram feitos estudos da resposta de polarização de diferentes árvores e determinou-se que a orientação das folhas afeta o estado de polarização linear da luz refletida na sua superfície [32]. Também foi demonstrado que existem diferenças entre a vegetação seca e a vegetação húmida, em termos da polarização da luz retrorrefletida. É de notar que estes estudos normalmente são feitos com radiação de comprimentos de onda mais longos, da ordem de 1 mm (tratando-se, deste modo, de uma tecnologia intermédia entre o LIDAR e o RADAR).

Uma aplicação interessante de polarização nos estudos urbanos surge no âmbito da tecnologia SAR (*Synthetic-Aperture* RADAR). A quantificação de danos provocados nos edifícios, por exemplo, por um sismo baseia-se na diferença da resposta a incidência de polarização antes e depois da catástrofe. Em particular, a deteção de espalhamento duplo (em duas paredes que fazem um ângulo de 90° e formam um retrorrefletor) da radiação incidente em estruturas não danificadas é facilitada pela polarimetria [33]. A presença de reflexão dupla é característica não apenas nos estudos relacionados com os danos provocados aos edifícios, mas também foi observada antes e depois da construção da ponte "Great Belt Bridge", na Dinamarca. Nesse caso foi possível de detetar as reflexões múltiplas entre as partes da ponte e a superfície de água [34].

### 5. Conclusões e perspectivas

Esta breve revisão de efeitos associados à reflexão difusa da luz por objetos do mundo real per-

mite concluir que há muita informação na luz difundida sobre o objeto "responsável" pela reflexão, mesmo quando o processo é praticamente elástico (sem alteração do comprimento de onda) e a medição do valor absoluto da refletividade é dificultada. Uma análise detalhada do estado de polarização do feixe refletido, auxiliada por simulações, pode permitir extrair uma parte desta informação. Por exemplo, concluir se o objeto despolariza (o parâmetro fica menor após reflexão) ou apenas altera o tipo (linear ou circular) e/ou a direção da polarização.

A polarimetria possivelmente é uma técnica subaproveitada na caracterização de materiais em laboratório. Pode ser complementar às mais usadas, tais como a espectroscopia de transmissão/reflexão, elipsometria e espectroscopia de Raman, no estudo de materiais.

Fora de laboratório, o potencial da polarimetria até pode ser superior comparando com essas porque as medições são mais robustas em relação a perturbações introduzidas pelo meio ambiente. Vários artigos publicados recentemente [26, 35, 36] analisam a utilidade da polarimetria para identificação de materiais usando imagens de métricas de polarização em comparação com as de radiometria convencional, e também a otimização da sua medição. Usando os algoritmos de "*machine learning*", pode ser possível reconhecer muitos materiais do mundo real pelas suas matrizes de Mueller, o que promete aplicações em mapeamento e caracterização de objetos remotos e na tecnologia LIDAR.

### Agradecimentos

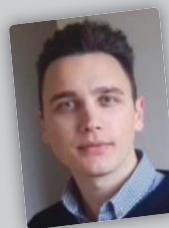
Este trabalho é suportado pelo: Fundo Europeu Estrutural e de Investimento para a Componente Fundo Europeu para o Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional para a Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020) [Projeto nº 037902 – Sensible Car, Referência do Fundo: POCI-01-0247-FEDER-037902].

#### Bibliografia

- [1] C. F. Bohren, D. R. Huffman (1998), "Absorption and Scattering of Light by Small Particles", Wiley & Sons, New York.
- [2] J. D. Jackson (1975), "Classical Electrodynamics", Wiley & Sons, New York.
- [3] J. W. Strutt, J. W. S. B. Rayleigh (1877), "The theory of sound", Macmillan, Cambridge.
- [4] E. Feinberg (1944), "On the propagation of radiowaves along an imperfect surface", J. Phys. (USSR), 8:317-330.
- [5] J.A. Ogilvy (1987), "Wave scattering from rough surfaces", Rep. Prog. Phys., 50:1553-1608.
- [6] P. Beckmann, A. Spizzichino (1963), "The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces", Pergamon, New York.
- [7] L. Belcour, P. Barla (2017), "A practical extension to microfacet theory for the modeling of varying iridescence", ACM Transactions on Graphics (TOG), 36:1-14.
- [8] R. L. Cook, K. E. Torrance (1982), "A reflectance model for computer graphics", ACM Transactions on Graphics (ToG), 1:7-24.

- [9] Geant4 Collaboration, "Introduction to Geant4" (<http://geant4-userdoc.web.cern.ch/geant4userdoc/UsersGuides/IntroductionToGeant4/fo/IntroductionToGeant4.pdf>).
- [10] E. Dietz-Laursonn (2016), "Peculiarities in the Simulation of Optical Physics with Geant4", arXiv preprint arXiv:1612.05162.
- [11] W. E. K. Middleton (1953), A. F. Spilhaus, "Meteorological instruments", University of Toronto Press, xi-263.
- [12] E. H. Synge (1930), "XCI. A method of investigating the higher atmosphere", The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 9:1014-1020.
- [13] J. L. Bromberg (1991), "The laser in America, 1950-1970", MIT press.
- [14] I. Smalikhov (2003), "Techniques of wind vector estimation from data measured with a scanning coherent Doppler lidar", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 20:276-291.
- [15] "A European Aerosol Research Lidar Network to Establish an Aerosol Climatology: EARLINET" ([https://www.earlinet.org/index.php?id=earlinet\\_homepage](https://www.earlinet.org/index.php?id=earlinet_homepage)).
- [16] J. H. Churnside, R. D. Marchbanks, S. Vagle, S. W. Bell, P. J. Staben (2020), "Stratification, plankton layers, and mixing measured by airborne lidar in the Chukchi and Beaufort seas", Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 177:104742.
- [17] L. D. Smullin, G. Fiocco (1962), "Optical echoes from the moon." Nature G., 194:1267-1267.
- [18] M. K. Barker, "High-resolution Lunar Topography (SDEM2015)" (<https://pgda.gsfc.nasa.gov/products/54>).
- [19] J. Shuttleworth, "SAE Standards News: J3016 automated-driving graphic update" (<https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>).
- [20] E. Ackerman, "What Full Autonomy Means for the Waymo Driver" (<https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/full-autonomy-waymo-driver>).
- [21] R. A. Chipman, W. S. T. Lam, and G. Young (2018), "Polarized light and optical systems", CRC Press, New York.
- [22] L. M. Bernardo (2010), "Histórias da luz e das cores", Universidade do Porto, Porto.
- [23] S. Cloude (2009), "Polarisation: Applications in Remote Sensing", Oxford University Press, New York.
- [24] M. H. Smith (2002), "Optimization of a dual-rotating-retarder Mueller matrix polarimeter" Applied Optics, 41:2488-2493.
- [25] B. J. DeBoo, J. M. Sasian, R. A. Chipman (2005), "Depolarization of diffusely reflecting man-made objects", Applied Optics, 44:5434-5445.
- [26] E. J. Nunes-Pereira, H. Peixoto, J. Teixeira and J. Santos (2020), "Polarization-coded material classification in automotive LIDAR aiming at safer autonomous driving implementations". Applied Optics, 59:2530-2540.
- [27] J. F. de Boer, C. K. Hitzenberger, Y. Yasuno (2017), "Polarization sensitive optical coherence tomography - a review", Biomedical Optics Express, 8:1838-1873.
- [28] J. Qi, D. S. Elson (2016), "A high definition Mueller polarimetric endoscope for tissue characterisation", Scientific Reports, 6:1-11.
- [29] H. He, N. Zeng, R. Liao, T. Yun, W. Li, Y. He, H. Ma (2010), "Application of sphere-cylinder scattering model to skeletal muscle, Optics Express, 18:15104-15112.
- [30] P. Banerjee, J. Soni, H. Purwar, N. Ghosh, T. K. Sengupta (2013), "Probing the fractal pattern and organization of Bacillus thuringiensis bacteria colonies growing under different conditions using quantitative spectral light scattering polarimetry", Journal of Biomedical Optics, 18:035003.

- [31] M. R. Antonelli, A. Pierangelo, T. Novikova (2010), "Mueller matrix imaging of human colon tissue for cancer diagnostics: how Monte Carlo modeling can help in the interpretation of experimental data", Optics Express, 18:10200-10208.
- [32] C. C. Borel, R. E. McIntosh (1990), "Millimeter wave backscatter from deciduous trees", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 38:1391-1398.
- [33] S. Chen, X. Wang, M. Sato (2016), "Urban Damage Level Mapping Based on Scattering Mechanism Investigation Using Fully Polarimetric SAR Data for the 3.11 East Japan Earth-quake", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 54:6919-6929.
- [34] J. S. Lee, E. Krogager, T. L. Ainsworth, W. M. Boerner (2006), "Polarimetric analysis of radar signature of a manmade structure", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 3:555-559.
- [35] M. Kupinski, L. Li (2020), "Evaluating the Utility of Mueller Matrix Imaging for Diffuse Material Classification", Journal of Imaging Science and Technology, 64(6):60409-1-60409-7.
- [36] J. Brown, C. Saludez, D. Card, R. Roberts (2020), "Polarimetric Lidar Feature Selection for Material Classification," 2020 IEEE Research and Applications of Photonics in Defense Conference (RAPID), 1-3.



Nazar Romanyshyn, é Mestre em Engenharia Física pela Universidade de Aveiro, com experiência de investigação, como bolseiro, no âmbito de projetos "EasyPET" e "Sensible Car". No projeto easyPET desenvolveu detetores de radiação gama para o protótipo, sendo co-autor de um artigo publicado. Atualmente está a trabalhar no Centro de Física da Universidade do Minho, projeto "Sensible Car", sobre novos conceitos e o desenvolvimento do sensor LiDAR.



Moisés A.S. Duarte, concluiu o Mestrado Integrado em Engenharia Física, com especialização em Física da Informação, pela Universidade do Minho. Na sua tese explorou técnicas de light-field para a implantação de um processo de testes para a inspeção de sistemas AR-HUD (Augmented Reality Head-Up Display) que resultou em duas publicações. No momento encontra-se associado à Bosch Car Multimédia trabalhando no desenvolvimento de processos de teste para a inspeção de sistemas LiDAR. Parte do seu trabalho também inclui a gestão e colaboração na linha de inovação para o desenvolvimento da tecnologia LiDAR.



Nelsson Fernandez Cunha, é Mestre em Física pela Universidade do Minho, com especialização em Física Aplicada e atualmente estudante de Doutoramento no Programa Doutoral MAP-Fis. A sua experiência de investigação inclui

a participação, como bolseiro do Centro de Física da Universidade do Minho, no projeto “Functional and smart materials for advanced applications” (desenvolvimento de filtros óticos à base de filmes finos para arrefecimento radiativo passivo) e, atualmente, no “Sensible Car” (no desenvolvimento de estação de testes de fim de linha, auto-calibração e alinhamento).



Mário Rui Cunha Pereira, é Doutorado em Física em 2004, é Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade do Minho e membro efetivo do Centro de Física das Universidades do Minho e do Porto. Estuda a incorporação

de moléculas orgânicas e biologicamente ativas em estruturas Sol-Gel e a aplicação de técnicas de espectroscopia de fluorescência, em estado estacionário e transiente, no estudo de materiais. Também desenvolve investigação na aplicação de métodos de deteção de objetos e caracterização de materiais usando a tecnologia LiDAR.



Mikhail Vasilevskiy, obteve os seus graus de Mestre em Física e de Doutor em Ciências Físicas e Matemáticas pela Universidade N. I. Lobachevsky na cidade de Gorky, União Soviética, em 1981 e 1985, respetivamente. Desde 1999 é professor no

Departamento de Física da Universidade do Minho (Professor Catedrático desde 2006) e investigador no Centro de Física das Universidades do Minho e do Porto, onde desempenhou as funções do Diretor. Os seus interesses científicos são focados na Física e Ótica de materiais semicondutores e plasmónicos incluindo nanoestruturas e na interação luz-matéria (teoria e modelação). É autor ou coautor de um livro, vários capítulos de livro e mais de 170 artigos publicados em revistas com avaliação por pares.

# Painel Fotovoltaico

Manuel Santos<sup>1</sup>, Rúben Cardoso<sup>1</sup>, André Duarte<sup>1</sup>, Horácio Fernandes<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior Técnico, Universidade Lisboa

<sup>2</sup> Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade Lisboa

## Resumo

Neste artigo descreve-se uma nova montagem experimental criada para a plataforma de experiências remotas online do Instituto Superior Técnico, o e-lab. A nova montagem experimental, denominada Painel Fotovoltaico, foi criada por forma a permitir o estudo das características básicas de um painel fotovoltaico. Em particular, permite a obtenção dos objectivos definidos nas metas curriculares do 10º ano da disciplina de Física e Química A.

Assim, começa-se por apresentar a montagem experimental, os seus componentes, geometria e protocolos de utilização. A montagem permite estudar como varia a potência gerada pelo painel em função do ângulo que faz com a fonte luminosa e em função da resistência de carga e permite ainda encontrar a resistência que maximiza a potência gerada para determinadas condições de ângulo de incidência e potência luminosa. Deste modo, apresentam-se também alguns resultados obtidos utilizando a montagem seguindo estes protocolos, sendo feita uma breve análise à forma como os resultados se desviam dos modelos mais simples, em particular dos comumente utilizados no ensino secundário.

## Introdução

Os painéis fotovoltaicos são uma das tecnologias de energia renovável com maior destaque em termos sociais e um dos mais reconhecíveis segmentos das energias renováveis e da transição energética. Em Portugal, no ano de 2019, estava instalada potência fotovoltaica de 905 MW, tendo sido produzidos 1 342 GWh de energia eléctrica através de painéis fotovoltaicos. Este valor representa cerca de 4,6 % de toda a energia eléctrica renovável e 2,5 % de toda a energia eléctrica produzida no país nesse ano [2], sendo que o governo ambiciona ter 80 % do mix eléctrico centrado nas energias alternativas em 2030 [3].

Assim, no actual contexto de transição energética e de acordo com os objectivos do ensino obrigatório, que pretende educar cidadãos e conscientizá-los para o uso responsável e eficiente de recursos, o estudo básico da tecnologia dos painéis fotovoltaicos faz parte das metas curriculares de 10º ano da disciplina de Física e Química A, em particular a experimentação da variação da potência de saída com a carga aplicada ao painel [4].

Deste modo, e com o propósito de facilitar o estudo desta tecnologia e de cumprir os requisitos necessários para atingir

as metas curriculares definidas para a disciplina de Física e Química A, foi criada a experiência do painel fotovoltaico para o e-lab [5]. O e-lab é um laboratório de física, criado e mantido no Instituto Superior Técnico, que disponibiliza gratuitamente e remotamente, através da *internet*, mais de 40 montagens experimentais idealizadas para permitir o estudo de variadas áreas da física, organizadas em 4 laboratórios diferentes – básico, intermédio, avançado e o pêndulo mundial.

## Descrição da Experiência

Do ponto de vista do utilizador, a experiência é constituída por dois blocos complementares. A montagem experimental em si, localizada no Instituto Superior Técnico e controlável remotamente, e o cliente, uma aplicação Java que constitui a “sala de controlo” e permite (i) configurar a montagem experimental, (ii) recolher em tempo real os dados gerados por esta e (iii) visualizar gráficos com a evolução temporal das variáveis relevantes (iv) bem como o vídeo em direto da mesma.

## Montagem Experimental

A montagem experimental da experiência do painel fotovoltaico é constituída por 6 elementos principais:

- Um painel de LED (*Light-Emitting Diode* – Díodo Emissor de Luz) RGB (*Red-Green-Blue* – Vermelho-Verde-Azul) modelo SMD5050, dispostos numa matriz de 18x9 totalizando 486 LED e ocupando uma área de 145x90 mm<sup>2</sup>
- Um painel fotovoltaico com dimensões 150x100 mm<sup>2</sup>
- Uma placa de controlo equipada com microcontrolador dsPIC30f4013
- Uma placa de eletrónica de interface entre a placa de controlo e os painéis de LED e o painel fotovoltaico
- Um servo-motor que controla a posição angular do painel fotovoltaico
- Um computador Raspberry Pi 3 modelo B que faz de interface entre os utilizadores e o microcontrolador através da internet

Na figura 1 está exemplificada, numa foto, a montagem experimental em operação com uma mistura de diferentes intensidades RGB.

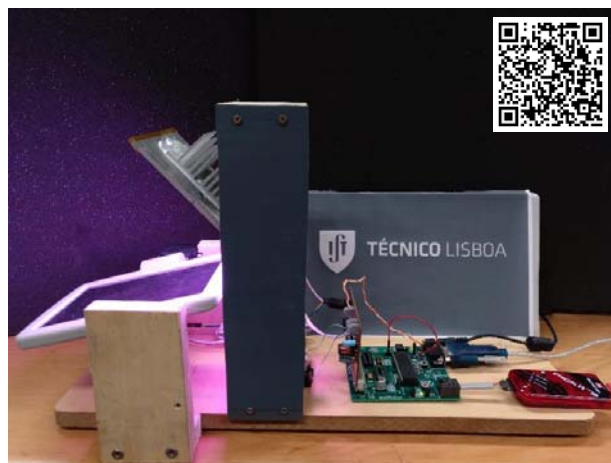


Figura 1 - Montagem experimental da experiência do painel fotovoltaico

A montagem foi construída de forma a que fosse possível variar os seguintes parâmetros da experiência:

- A intensidade de cada uma das cores dos LED entre 0 e 255 (vermelho, verde e azul);
- O ângulo do painel fotovoltaico relativamente ao painel de LED, como apresentado na figura 2;
- O valor da resistência equivalente de carga do painel fotovoltaico, que varia de 1 ohm (na prática um curto-circuito face à impedância do painel) à situação de circuito aberto ( $>1,5 \text{ k}\Omega$ ).

A configuração dos parâmetros da experiência não é totalmente livre, estando implementados 3 protocolos de execução:

- Variação do ângulo do painel fotovoltaico – Neste protocolo o ângulo do painel é variado de  $-20^\circ$  a  $100^\circ$ , sendo possível configurar a intensidade luminosa de cada cor do painel de LEDs e o valor da resistência de carga, ambas constantes durante o desenrolar da experiência.
- Variação da resistência de carga – Neste protocolo o valor equivalente da resistência de carga é variada de 0 %, situação de quase curto circuito, a 100 %, situação em que vale cerca de  $1.5 \text{ k}\Omega$ , sendo possível configurar a intensidade luminosa de cada cor do painel de LED e o ângulo que o painel fotovoltaico faz com o painel de LED.
- Procura de máximo de potência – Neste protocolo é variada a resistência de carga de forma a encontrar o ponto que gera a potência de saída máxima, sendo possível configurar a intensidade luminosa de cada cor do painel de LED e o ângulo que o painel fotovoltaico faz com o painel de LED. De forma a encontrar o máximo, a resistência de carga é aumentada de 10 % em 10 %, do valor total, até que se encontre o ponto de inflexão e a potência de saída comece a diminuir. Neste momento, a resistência de carga é diminuída e parte

do intervalo é re-testado mas em segmentos de 2 % em 2 %. Por fim, o último ponto de amostragem que a experiência retorna ao utilizador é o ponto a que corresponde a carga que maximiza a potência gerada pelo painel.

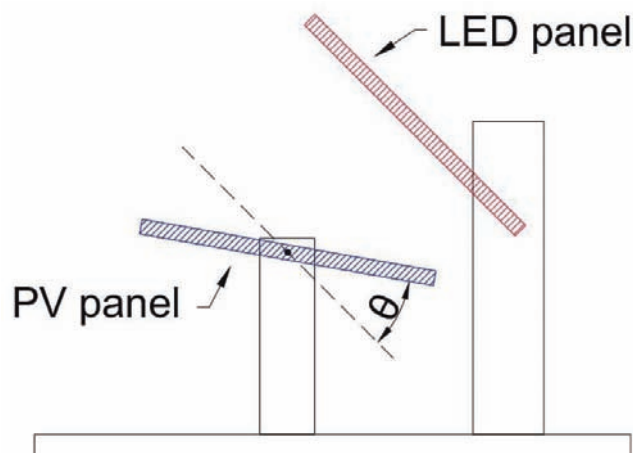


Figura 2 - Esquema da geometria da montagem experimental

É importante notar que a utilização destes protocolos experimentais permite cumprir as metas definidas para a disciplina de FQ-A [4].

### Sala de controlo

A aplicação cliente do e-lab permite aos utilizadores configurarem e recolherem os dados dos vários aparatos experimentais. Apresenta-se na Figura 3 um *screenshot* do cliente do e-lab. Como se pode verificar na figura, há 4 separadores: (i) configurador, (ii) resultados, (iii) gráficos e (iv) fila de utilizadores, sendo os 3 primeiros os mais relevantes para a utilização da experiência.

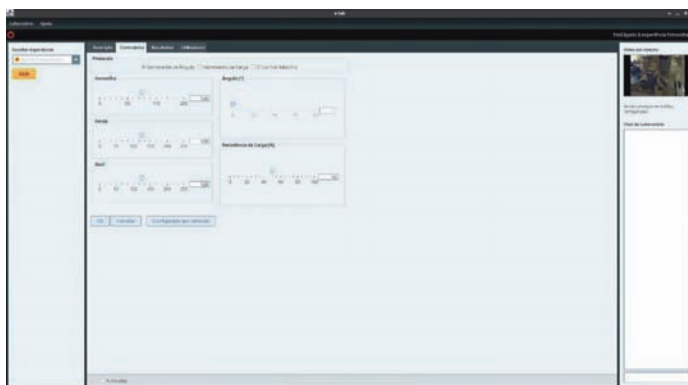


Figura 3 - *Screenshot* da aplicação cliente no e-lab. Neste ecrã, mostram-se os parâmetros que é possível controlar na experiência, bem como os separadores onde é possível recolher os resultados da execução experimental e os respectivos gráficos

No separador “configurador” é possível escolher qual o protocolo a correr e quais os valores que os diferentes parâmetros podem assumir. Em particular, no caso da cor dos LED, a sua seleção segue o modelo RGB, pelo que os valores de intensidade variam de 0, caso em que os LED dessa cor estão apagados, a 255, caso em que o brilho desse LED é máximo. É possível utilizar uma ferramenta *color picker*, facilmente encontrada num motor de busca, para verificar no computador qual a cor a que corresponde a configuração pedida.

No separador “resultados” são disponibilizados os dados experimentais obtidos durante a execução da experiência. Em particular, são recolhidos o ângulo do painel fotovoltaico e a corrente, tensão e potência produzidas, bem como as estimativas de erro a elas associadas.

No separador “gráficos” são mostrados alguns gráficos que representam os dados obtidos: (i) o gráfico da evolução do ângulo do painel, (ii) o valor percentual da resistência de carga relativamente ao seu valor máximo, (iii) o valor da corrente gerada, (iv) da tensão produzida e (v) da potência de saída, todos eles em função do tempo de execução da experiência.

### Resultados experimentais

A execução dos três protocolos experimentais descritos permite a recolha de dados para a caracterização da resposta do painel fotovoltaico. Deste modo, executou-se cada um deles por forma a exemplificar os resultados que é possível obter.

### Varrimento da resistência de carga

Os painéis fotovoltaicos têm uma resposta à resistência de carga que é característica deste tipo de dispositivos.

Configurando a experiência para executar o protocolo de varrimento de carga, neste caso particular realizado com ângulo  $0^\circ$  e com os LED na sua intensidade máxima, e fazendo o gráfico da potência gerada em função da resistência de carga, eliminando o tempo, obtém-se um gráfico que é do tipo apresentado na Figura 4.

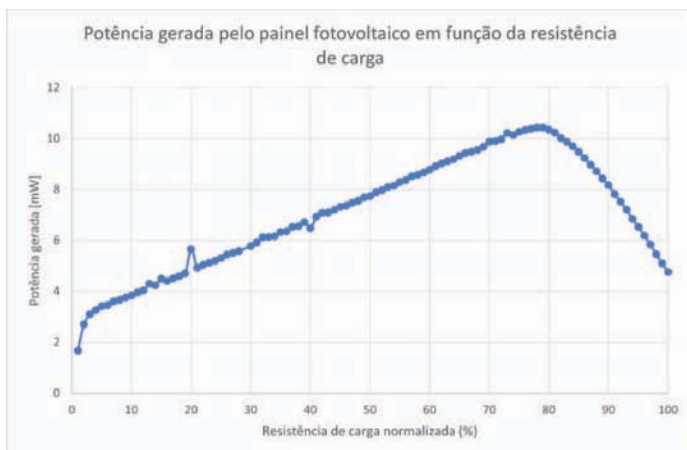


Figura 4 - Potência gerada pelo painel fotovoltaico em função da resistência da carga. Apresentam-se os valores da resistência de carga como percentagem do seu valor máximo.

Verifica-se que inicialmente a potência gerada aumenta com a resistência de carga, já que o painel mantém aproximadamente constante a corrente aos seus terminais mas a tensão gerada aumenta. No entanto, a partir de um certo valor de carga, o painel atinge o seu máximo de corrente gerada, pelo que um aumento da carga resulta numa diminuição da tensão aos terminais do painel e consequentemente numa diminuição da potência gerada pelo mesmo.

Este resultado é bastante importante para a operação de um painel fotovoltaico, já que se verifica que para obter a potência máxima, ou seja, operar o painel no ponto de eficiência máxima, é necessário adaptar a resistência de carga à impedância do painel que se relaciona diretamente com a potência luminosa incidente.

Adicionalmente pode ser calculada essa mesma impedância através da lei de Ohm uma vez que se dispõe da tensão e corrente geradas pelo painel.

### Procura de máximo de potência

Executando o protocolo de procura de resistência de carga que gera o máximo de potência é possível obter directamente do cliente o valor que maximiza a potência para o ângulo e luminosidade configurados, lendo, como já explicado, o valor da resistência de carga do penúltimo ponto amostrado.

Utilizando os valores do protocolo anterior, verifica-se que o máximo ocorre para  $\sim 80\%$ , o que é consistente com o gráfico da figura 4. Aplicando a lei de Ohm aos valores de tensão e corrente gerados pela experiência, conclui-se que o valor da resistência de carga óptima é de 571.

O valor de resistência de carga que maximiza a potência gerada poderia também ser obtido lendo directamente o gráfico produzido no protocolo anterior.

### Varrimento do ângulo

Variando o ângulo e mantendo constantes as condições de iluminação, é possível verificar de que forma varia a potência produzida pelo painel em função do ângulo de iluminação. Neste caso, a experiência foi executada uma vez para cada cor, com a potência máxima, de forma a evidenciar quaisquer diferenças entre cores. Apresentam-se na Figura 5 os resultados experimentais obtidos.

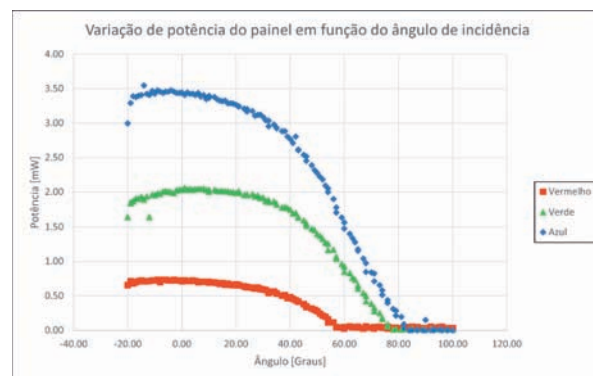


Figura 5 - Potência de saída do painel em função do ângulo de iluminação e da cor da luz.

Verifica-se que há uma grande disparidade de potências de saída, sendo que a potência produzida com a luz azul é aproximadamente seis vezes a da luz vermelha. Esta é originada por uma combinação de fatores, sendo os mais importantes (i) as diferentes potências luminosas dos LED de cada cor, (ii) a diferente eficiência do painel para diferentes comprimentos de onda e a diferente direcionalidade da luz emitida pelos LED de cada cor devido ao espalhamento.

De forma a evidenciar a variação angular, os dados obtidos foram normalizados dividindo pelo valor máximo. Apresenta-se o resultado na Figura 6.

Como é possível constatar na Figura 6, a variação angular da potência de saída do painel é semelhante para as três cores.

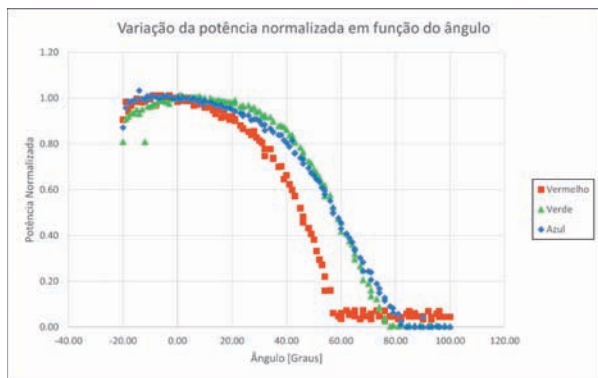


Figura 6 - Variação da potência de saída em função da cor e do ângulo de iluminação. Valores de potência normalizados valor máximo de cada cor.

Análise da potência gerada em função do ângulo de incidência

De forma a caracterizar esta variação, foram ajustados aos dados dois modelos, um mais simples outro mais complexo.

O modelo mais simples que usualmente se utiliza para caracterizar este fenómeno vem do cálculo da “secção eficaz” do painel num plano paralelo ao plano dos LED e de se assumir que a radiação incidente é constituída por raios paralelos entre si e perpendiculares ao plano do painel de LED. Este modelo origina a expressão  $P = A \times \cos(\theta)$ . Verificou-se que o modelo não se ajusta perfeitamente aos dados, principalmente por não ser válida a assunção que os raios são paralelos entre si devido à relativa proximidade da fonte de luz e à difusividade da luz emitida. Assim, modificou-se o modelo para  $P = A \times \cos(\omega \times \theta)$ . Neste modelo, o parâmetro  $\omega$  codifica a possibilidade de, devido aos efeitos da pouca direcionalidade da luz emitida, a variação angular efetiva da potência ser diferente da variação angular real do painel.

O modelo mais complexo procura não só contabilizar a variação “secção eficaz” do painel mas também a variação da transmissibilidade da luz na interface ar-vidro com o ângulo [6] [7], sendo a expressão associada

$$P = A \times \left( 1 - \frac{e^{-\frac{\cos(\omega \times \theta)}{\alpha_\tau}} - e^{-\frac{1}{\alpha_\tau}}}{1 - e^{-\frac{1}{\alpha_\tau}}} \right)$$

onde no termo angular se inseriu o termo  $\omega$  pelas razões explicadas acima. O parâmetro  $\alpha_\tau$  no modelo codifica a transmitância do painel. Neste modelo, painéis mais transmissivos têm parâmetro  $\alpha_\tau$  menor, sendo que a bibliografia [6] indica para o parâmetro  $\alpha_\tau$  valores no intervalo [0,17;0,27]. Note-se que, ainda assim, este modelo continua a assumir a existência de raios paralelos já que foi criado para modelar painéis iluminados pelo Sol, situação onde a existência de raios paralelos é uma boa aproximação.

Apresenta-se na Figura 7 os ajustes realizados para cada cor.

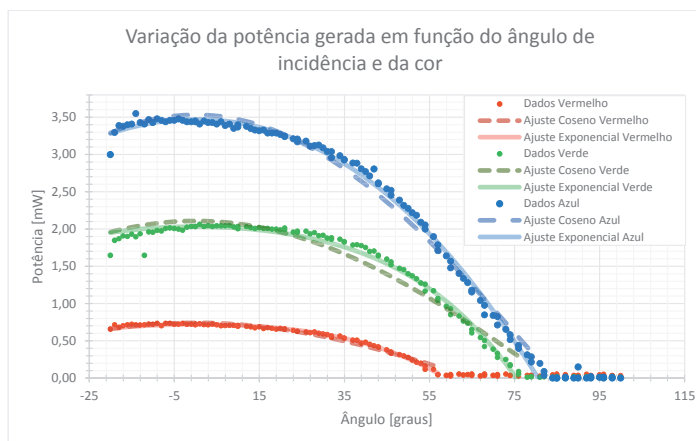


Figura 7 - Ajustes dos modelos aos pontos experimentais para cada cor. A tracejado o modelo mais simples e a cheio o mais complexo.

Para o modelo simples, legendado nos gráficos como “Cosseno”, obteve-se para parâmetros  $A = [3,53; 2,11; 0,74]$ ,  $\omega = [1,07; 1,08; 1,37]$  e  $R^2 = [0,991; 0,958; 0,974]$  para as cores Azul, Verde e Vermelho, respectivamente. Verifica-se que todos os ajustes têm valores de  $R^2$  próximos de 1, pelo que se ajustam bem aos dados recolhidos. Analisando os valores obtidos para os parâmetros, todos os valores do parâmetro  $A$  se aproximam de 1 como esperado, já que os dados experimentais foram normalizados, e os valores  $\omega$  são próximos de 1, mas maiores que 1. Este resultado mostra a influencia da luz difusa como explicado na análise de resultados do modelo complexo.

Para o modelo mais complexo, legendado nos gráficos como “Exponencial”, obteve-se para parâmetros  $A \in [3,47; 2,03; 0,72]$ ,  $\omega \in [1,12; 1,19; 1,53]$ ,  $\alpha_\tau \in [1,56; 0,68; 0,76]$  e  $R^2 = [0,996; 0,987; 0,994]$  para as cores Azul, Verde e Vermelho, respectivamente. Estes valores de  $R^2$  são também próximos de 1, mas superiores aos valores do modelo simples. Este resultado é concordante com os gráficos, onde facilmente se verifica que o modelo complexo assume em cada ponto valores mais próximos dos recolhidos experimentalmente. Escrutinando os valores obtidos para os parâmetros, é possível mais uma vez encontrar a influência da presença de luz que não se pode considerar como sendo de raios paralelos. Foram mais uma vez encontrados valores de  $\omega$  superiores a 1, tal como no modelo simples, e valores de  $\alpha_\tau$  muito superiores aos da referência bibliográfica [6].

A explicação encontrada para os resultados obtidos no parâmetro  $\omega$  em ambos os modelos e em  $\alpha_\tau$  no caso do modelo mais complexo, pode ser facilmente entendida com recurso à Figura 8. Nesta representa-se a fonte luminosa a iluminar o painel. Este encontra-se representado pelo retângulo branco num ângulo de  $0^\circ$  e num outro ângulo diferente de  $0^\circ$ . No caso de a radiação ser constituída por raios paralelos, a iluminação do painel poderia ser representada como o somatório de  $N$  fontes só a emitirem o raio directo, identificado com o número 1. No caso de radiação dispersa, a iluminação do painel pode ser representada como o somatório de  $N$  fontes a radiarem com uma certa distribuição angular, como ilustrado pela presença dos raios 2 e 3. No entanto, verifica-se que, à medida que o ângulo do painel aumenta, a luz dispersa sofre 2 fenómenos não encontrados no caso de raios directos

(como no caso solar): o primeiro deriva de alguns raios que antes iluminavam o painel deixarem de o fazer como representando pelo raio 3. Este fenómeno explica o parâmetro ser superior à unidade, já que estes raios extra mais depressa deixam de iluminar o painel que os paralelos, em particular os que se situam no extremo da zona iluminada. Quanto ao facto do parâmetro ser muito maior que o indicado na referência bibliográfica, este pode ser explicado por raios como o representado por 2: verifica-se com o aumento do ângulo do painel, existir uma incidência cada vez mais tangente no painel, o que faz com que a sua transmissibilidade diminua [6]. Este fenómeno acontece para um conjunto grande de raios para cada uma das fontes, o que leva ao ângulo de incidência “médio” ser superior no caso de luz dispersa do que se forem raios paralelos, em que todos os raios têm ângulo de incidência igual ao do painel. Consequentemente, o modelo acaba por representar o painel como sendo mais refletivo que para os valores nominais. Verifica-se que não é o painel que tem refletividade extraordinária. A iluminação é que, por ser dispersa em relação aos esperados raios paralelos do sol, atingem o painel com um ângulo médio superior ao ângulo do painel e, por isso, é mais reflectida do que aconteceria apenas com raios paralelos.

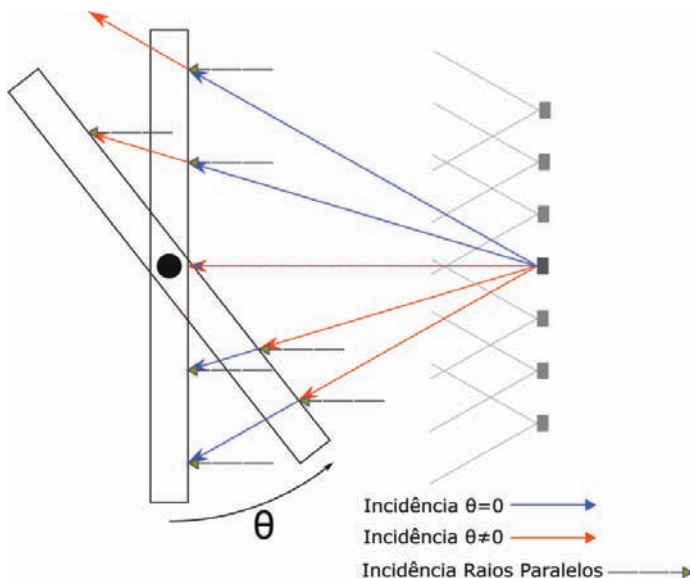


Figura 8 - Esquema da incidência dos raios luminosos: este caso distingue-se dos raios solares porque devido à sua geometria os mesmos não são paralelos. Evidencia-se na figura os vários ângulos possíveis de incidência dum led particular em duas situações distintas de posicionamento do painel.

Os diferentes valores de  $\omega$  e  $\alpha_{\tau}$  encontrados para as diferentes cores podem ser explicados por diferentes construções nos LED de cada cor, nomeadamente a nível da direção do máximo e da direcionalidade da luz emitida.

### Conclusão

A experiência do painel fotovoltaico do e-lab permite o estudo das características básicas de um painel fotovoltaico, sendo possível, em particular, atingir as metas definidas no plano curricular de FQ-A[4]. Para além deste estudo básico, verificou-se também que as particularidades da experiência possibilitam estu-

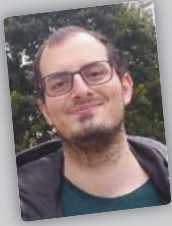
dos mais profundos relativamente (i) à validade da aproximação de raios paralelos frequentemente utilizada, (ii) a influência da luz dispersa na experiência e nos resultados obtidos, (iii) a compreensão do funcionamento dos controladores de carga solares (MPPT) e (iv) por último a influência do comprimento de onda na eficiência das células fotovoltaicas.

### Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto PTDC/CED-EDG/31480/2017.

### Bibliografia

- [1] Renewable Capacity Statistics 2021, International Renewable Energy Agency (IRENA), IRENA 2021, <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021>, acessado 4/05/2021
- [2] Produção de energia eléctrica: total e a partir de fontes renováveis, PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo, Fundação Francisco Manuel dos Santos, <https://www.pordata.pt/Portugal/Produ%C3%A7%C3%A3o+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+a+partir+de+fontes+renov%C3%A1veis-1127>, acessado 4/05/2021
- [3] Matos Fernandes: “Em 2030 teremos 80% da eletricidade produzida em Portugal vinda de renováveis”, Rosália Amorim, Diário de Notícias, <https://www.dn.pt/edicao-do-dia/12-dez-2020/matos-fernandes-em-2030-teremos-80-da-eletricidade-prodizada-em-portugal-vinda-de-renovaveis-13130755.html>, acessado 13/12/2020
- [4] Aprendizagens Essenciais – 10ºAno Física e Química A, Direção-Geral da Educação, Ministério da Educação, [https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens\\_Essenciais/10\\_fq\\_a.pdf](https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/10_fq_a.pdf), acessado 16/12/2020
- [5] e-lab: o laboratório online, Horácio Fernandes, SC Leal, João Paulo Leal (2010), Gazeta de Física, vol. 33
- [6] Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Antonio Luque; Steven Hegedus (editors), 2011, 2 Edition John Wiley & Sons
- [7] Fresnel Equations, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel\\_equations#Power\\_\(intensity\)\\_reflection\\_and\\_transmission\\_coefficients](https://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_equations#Power_(intensity)_reflection_and_transmission_coefficients), acessado a 11/9/2020



Manuel Santos, é aluno de 5º ano do Mestrado de Engenharia Aeroespacial no Instituto Superior Técnico.

Colaborador no projecto e-lab, tendo contribuído no desenvolvimento de experiências, na criação de conteúdo para a wiki do projecto e na manutenção dia-a-dia das experiências e da infraestrutura IT do laboratório. As suas principais áreas de interesse são a física experimental e a computação.



André Duarte, completou o mestrado em Engenharia Física Tecnológica no IST e é desde 2007 investigador júnior no IPFN, inserido no grupo de engenharia e na equipa de informática.

Para além do tokamak ISTTOK, trabalhou também em projetos internacionais de investigação de fusão nuclear, como o tokamak Compass e atualmente o acelerador LIPAc. Tem igualmente colaborado, desde 2005, no projeto do e-lab, inicialmente criando uma das experiências e mais recentemente integrando experiências novas na plataforma. As suas principais áreas de interesse são programação, controlo de diagnósticos, aquisição e partilha de dados experimentais.



Rúben Cardoso, foi aluno de Engenharia Física Tecnológica no Instituto Superior Técnico.

Desenvolveu a plataforma informática AskTec, que tem por objetivo principal a aproximação dos alunos do secundário ao ensino no IST. Dedicase também a ações de divulgação científica, das quais se destacam a participação na Semana da Física no IST. Interessa-se pela Física enquanto ciência experimental, com particular ênfase na resolução de problemas através da aplicação de tecnologias.



Horácio Fernandes, é professor associado do departamento de física do IST e investigador no Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear onde coordena a atividade do tokamak ISTTOK. Em 1999 criou o e-lab, laboratório remoto do IST, com acesso livre. Mantém igualmente uma regular participação em divulgação científica. Foi

membro do "Technical Advisor Panel" da agência europeia para o ITER (F4E) e é investigador coordenador duma atividade de pesquisa da IAEA

# Determinação do valor da aceleração gravítica com a aplicação *phyphox*

Albino Rafael Pinto<sup>1</sup>, Carlos Saraiva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Agrupamento de Escolas da Lixa, Felgueiras; albinorafaelpinto@gmail.com

<sup>2</sup> Agrupamento de Escolas de Trancoso; carlos.saraiva1@gmail.com

## Resumo

A variedade de sensores, a sua portabilidade e a sua acessibilidade fazem dos telemóveis e as aplicações um excelente recurso digital para ser explorado. A aplicação *phyphox* é muito versátil e pode ser usada em experiências de luz, pressão, mecânica e eletromagnetismo. Neste artigo, vamos usar esta aplicação para determinar o valor da aceleração gravítica. A utilização de smartphones tem tido um grande incremento nos últimos anos e são publicados vários artigos que exploram estes dispositivos móveis e aplicações gratuitas como instrumentos de medida.

## Introdução

A determinação do valor da aceleração gravítica em queda livre é um trabalho prático-laboratorial (AL 1.1.) que está previsto no programa de Física, componente de mecânica, do 11.º ano. Esta atividade foi realizada durante o período de pandemia em 2021 com as escolas e os alunos em ensino a distância. O nosso objetivo é mostrar que é possível fazer trabalho experimental fora da sala de aula. Esta atividade experimental é exequível e pode ser replicada com sucesso em qualquer escola. Foi também escrita com o objetivo de promover aprendizagens e desenvolver competências, tal como preconizado no “Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória” que é um documento estruturante no nosso sistema educativo.

## Material necessário

Eletoímã, interruptor, fonte de alimentação, esfera de aço e smartphone com a aplicação *phyphox*.

## Procedimento

Fixámos um eletroímã a um suporte de modo a que fosse possível variar a sua altura. Na sua extremidade colámos um parafuso de ferro com a sua ponta pontiaguda virada para baixo. Ligámos o eletroímã a uma fonte de alimentação de corrente contínua e aproximámos uma esfera de aço da ponta pontiaguda do parafuso de modo a ser atraída (fig. 1). Colocámos também um cartão no solo para o proteger do impacto da esfera. O interruptor usado foi o que se vê na

figura 2 e que é muito fácil de comprar. No entanto, também se podem usar outros modelos, uma vez que o importante é o estalido produzido quando se abre o circuito.

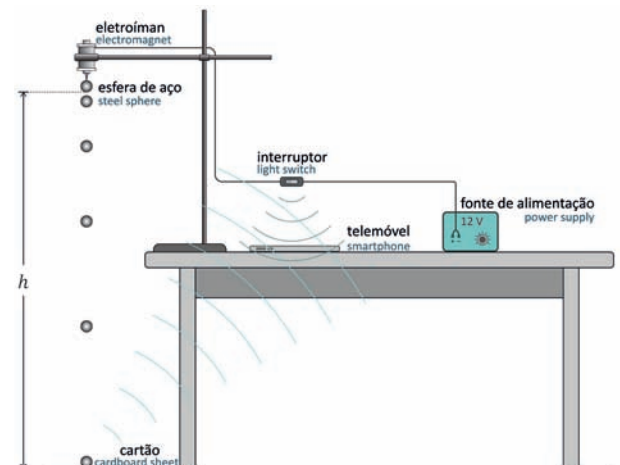


Figura 1 - Esquema da montagem.



Figura 2 - Interruptor.

De seguida, abrimos a aplicação e na secção “Temporizadores” seleccionámos “Cronómetro Acústico”. Na opção “Limiar” escolhemos 0,02 u.a. e “Intervalo Mínimo” de 0,1 s (fig. 3). Depois, clicámos na parte superior no triângulo branco que estava intermitente (posição indicada pela seta azul) para mudar para dois traços brancos verticais (posição indicada pela seta verde). O telemóvel tem o cronómetro acústico pronto para detetar uma onda sonora. O primei-



Figura 3 - Configuração da aplicação.

ro som produzido aciona o cronómetro e o segundo som detetado pelo cronómetro vai pará-lo.

O telemóvel foi colocado em cima da bancada e ao clicar no interruptor para abrir o circuito, o estalido produzido (onda sonora 1) vai propagar-se e ao ser detetado pelo smartphone inicia a contagem do tempo. Quando a esfera atinge o solo o som produzido devido ao choque com este (onda sonora 2) vai propagar-se e ao ser detetado vai parar o cronómetro acústico da aplicação. No ecrã do telemóvel, aparece o intervalo de tempo que corresponde ao tempo de queda da esfera. Fizemos um vídeo para explicar o procedimento que está disponível no youtube e cujo *link* está nas referências. Usámos um parafuso de ferro com a ponta pontiaguda porque o magnetismo residual do núcleo de ferro do eletroímã (campo remanescente) pode fazer com que ao usar esferas de massas pequenas estas permaneçam atraídas pelo eletroímã mesmo depois de se abrir o circuito.

O eletroímã usado nesta atividade poderá ser construído por alunos, explorando-se, desta forma, conceitos de eletromagnetismo.

### Resultados

Medindo a altura com uma fita métrica e sabendo o tempo de queda, o valor da aceleração determina-se através da fórmula:

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

No nosso caso a altura foi de 1,870 m e o tempo dado pela aplicação foi de 0,620 s, logo,

$$g = \frac{2h}{t^2} = \frac{2 \times 1,870}{0,620^2} = 9,73 \text{ m/s}^2$$

Assim, o módulo do desvio entre o valor experimental

e o valor de referência, em percentagem, será:

$$d_r \% = \frac{|g_{\text{Experimental}} - g_{\text{teórico}}|}{g_{\text{teórico}}} \times 100 \% \Rightarrow d_r \% =$$

$$\frac{|9,73 - 9,80|}{9,80} \times 100 \% \Leftrightarrow d_r \% = 0,71 \%$$

Este processo que apresentamos é muito simples de realizar e o valor obtido para a aceleração gravítica é bom. Embora o valor da aceleração gravítica dependa de fatores tais como altitude, latitude, distribuição de massa, usámos o valor de 9,80 m/s<sup>2</sup> que geralmente é considerado na literatura.

### Referências

- [1] A aplicação "phyphox" está disponível para Android e iOS em: <https://phyphox.org/>



- [2] Vídeo "Determinação do valor da aceleração gravítica com a aplicação phyphox" disponível em: <https://youtu.be/TraWBZuXZV8>
- [3] Vídeo "O meu telemóvel é um osciloscópio - My smartphone is an oscilloscope" disponível em: <https://youtu.be/10Gg059wUxc>
- [4] Vídeo "O meu telemóvel é uma balança. My smartphone is a scale" disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=326\\_HGXsrPA&t=6s](https://www.youtube.com/watch?v=326_HGXsrPA&t=6s)

- [5] Sebastian Stacks et al., Simple Time-of-Flight Measurement of the Speed of Sound Using Smartphones, *The Physics Teacher*, 57: 112-113, 2019.
- [6] Julien Vandermarlière, Detect Earth's rotation using your smartphone, *The Physics Teacher*, 59, january, 72-73, 2021.
- [7] A. Kaps e F. Stallmach, Tilting motion and the moment of inertia of the smartphone, *The Physics Teacher*, 58, março, 216-217, 2020.
- [8] A. Kaps e F. Stallmach, Using the smartphone as oscillation balance, *The Physics Teacher*, 58, dezembro, 377-378, 2020.
- [9] David Weiler e Arne Bewersdorff, Superposition of oscillation on the Metapendulum: Visualization of energy conservation with the smartphone, *The Physics Teacher*, 57: 646-647, 2019.
- [10] Albino Pinto e Carlos Saraiva, Determinação do Valor da Aceleração da Gravidade, *Gazeta de Física*, Vol.35, Nº 2, 27-29, 2012.
- [11] Rui Agostinho e Ana Tavares Sousa, Medir  $g=(9,83\pm 0,02)$  m/s<sup>2</sup> na queda de esfera, Vol. 40, Nº 2 *Gazeta de Física*, Vol. 41, 23-27, 2017.
- [12] Ana Tavares Sousa e Rui Agostinho, Medir g numa queda livre: a experiência em sala de aula, *Gazeta de Física*, Vol. 41 Nº 2, 16-20, 2018.



Albino Rafael Mesquita Pinto, é professor no Agrupamento de Escolas da Lixa, Felgueiras, Licenciado em Física pela Universidade da Beira Interior e Mestre em Física pela Universidade do Minho. Desenvolve simulações utilizando ferramentas computacionais de acesso gratuito. É autor do blog: <http://fisicanalixa.blogspot.com/>



Carlos Alberto Alexandre Saraiva, é Licenciado em Física pela Universidade de Coimbra, Mestre em Ensino de Física e Química pela Universidade de Aveiro e professor no Agrupamento de Escolas de Trancoso.

Os autores deste artigo são coautores de várias simulações e de recursos digitais premiados pela Casa das Ciências. São embaixadores da aplicação *phyphox* que é uma referência mundial.

## O comboio a vapor (STEM M)

*O ensino da física sempre se apoiou no conhecimento aprofundado do domínio da matemática ou pelo menos das suas técnicas. Todo o desenvolvimento da física até meados do século XX teve uma enorme componente de física-matemática. No entanto, e após surgirem os primeiros computadores, os métodos numéricos foram conquistando terreno às soluções necessariamente aproximadas que a física-matemática e analítica nos propunha. Mas será que a física não poderá servir o propósito de conquistar as outras ciências para a ilustrar?*

A migração do universo da investigação para o ensino, ou seja actualização do currículo por via do estabelecimento do conhecimento, demora necessariamente mais tempo do que a passagem da investigação para o desenvolvimento. Contudo, é difícil compreender como, após 2 gerações humanas depois do advento do computador, ainda hoje o ensino da física é essencialmente baseado na física-matemática.

Com a tecnologia de que dispomos, literalmente na palma da nossa mão, não seria de encetar um novo paradigma na utilização da física como matéria para ensinar outras ciências?

Ou seja, se hoje usamos a matemática para ensinar física e tiramos partido da computação para a exemplificar, não é chegado o momento para a física oferecer terreno para ensinar as demais ciências? Não pode a física ser o palco para desenvolver o ensino profissional? Não é a física o motor para aprender e desenvolver os algoritmos computacionais mais desafiantes? E por fim, não terá a física os problemas e modelos necessários para um ensino da matemática mais realista e menos abstracto?

Todas estas questões têm uma resposta afirmativa. O papel da física tem de ser reinventado num novo paradigma que promova o seu ensino nas disciplinas de STEAM<sup>1</sup>. Daí a importância de associar as “artes” às STEAM. Para muitos, STEAM é adicionar ensino das Artes à Ciência como se dum apêndice se tratasse, sem realmente compreenderem que o “A” é parte integrante de como se apende STEM. Ou seja, é trazer para a aprendizagem meios de investigação e métodos de aprendizagem criativos baseados em problemas comuns. Estes problemas podem ter uma base física, desde a programação dum jogo baseado na alunagem dum veículo, até à criação dum parábola de água numa instalação modernista.

Importa pois enfrentar este novo paradigma com a criação de conteúdos orientados não à física mas a

outras disciplinas, desde a filosofia e a história até à matemática e às tecnologias da informação.

Com este posicionamento, a física poderá perder o seu ónus pesado como é vista pelas novas gerações, tornar-se numa disciplina desafiante, alterando o preconceito negativo da sua aprendizagem, e demonstrar que as áreas de aprendizagem não são separadas. Vencer o preconceito e ir além da maneira de pensar “Eu sou bom em matemática e ciências, então não sou criativo”. Isso mudará a forma como vemos os problemas STEM e criará uma nova forma de pensar mais envolvente, multifacetada e inclusiva, com diversidade de representação mental e um pensamento mais racionalizado. Afinal, é assim que as coisas são no mundo real. Afinal, é assim que as coisas são no mundo real.

Por isso, STEAM não é um comboio de letras que se interpretam individualmente, S-T-E-A-M, mas sim um comboio de letras com uma leitura e um significado comum. Devemos rejeitar a interpretação da sua leitura com um significado único, mas específico mas sim como fazemos recorrentemente com o português e as palavras homónimas, com múltiplas interpretações adequadas a cada momento e situação. A velocidade actual desta adaptação dum comboio a vapor, tem de ser de alta-velocidade se não quisermos perder o comboio.

Horácio Fernandes

<sup>1</sup> STEAM: acrónimo de Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics

## SPF homenageia neste número da Gazeta de Física o seu sócio honorário **Professor Jorge Dias de Deus, Físico que se notabilizou no ensino da Física, na investigação e na cidadania**



### Jorge Dias de Deus 1941 - 2021

Jorge Venceslau Comprido Dias de Deus nasceu a 2 de maio de 1941 em Vila Fernando (Elvas), filho de pai arqueólogo e mãe professora primária, e faleceu a 1 de fevereiro de 2021. Pai de Joana Pimental Dias de Deus.

Aos 10 anos, vem para Lisboa, onde frequentou os liceus D. João de Castro e Camões.

De 1958 a 1964, foi aluno de Engenharia Química no Instituto Superior Técnico (IST), e presidente da Associação de Estudantes do IST (AEIST) entre 1963 e 1964.

Expulso por um ano, em 1964, depois das comemorações do dia do estudante, quando lhe faltavam apenas 3 disciplinas para terminar a licenciatura em Engenharia Química, foi preso pela PIDE em dezembro de 1965, esteve na prisão de Caxias até maio de 1966 e depois exila-se.

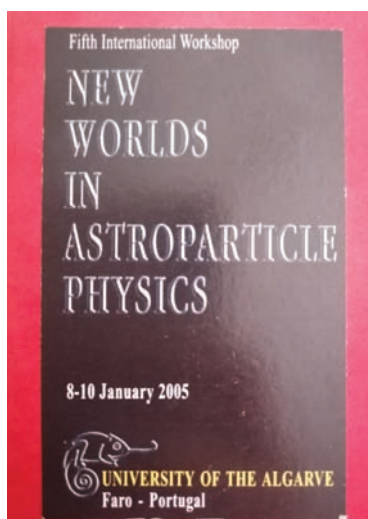
Em Londres, trabalhou e estudou na *University College*. Licenciou-se em Física em 1968 e doutorou-se em Física das Partículas em 1971, sendo bolseiro da Fundação Gulbenkian entre 1968 e 1971. Ocupou de seguida posições no CNRS, na Universidade de Paris VI, no Instituto Niels Bohr de Copenhaga e no Laboratório Rutherford em Inglaterra.

Volta a Portugal após a revolução dos cravos, trabalhando como investigador do INIC (1976-87). A partir de 1987 foi professor catedrático do Instituto Superior Técnico, jubilandando-se em 2011.

O seu currículo é extenso nas vertentes de ensino, investigação, política, gestão e divulgação científica. Como professor do IST, desde 1979, foi responsável directo pela formação de licenciados, mestres e doutorados, e merece destaque o seu papel na criação de duas licenciaturas de sucesso no panorama universitário português, a Licenciatura em Engenharia Física Tecnológica (1981) e a Licenciatura em Engenharia Biomédica (1999). É co-autor do livro "Introdução à Física", que tem sido bem aceite nas universidades portuguesas e que existe em edição espanhola (tradução do Prof. Carlos Pajares).

No âmbito da actividade científica, manteve ao longo dos anos diversas colaborações, nomeadamente com a Universidade de Santiago de Compostela, com o Instituto Niels Bohr, com o CERN, com a Universidade de S. Petersburgo e com a Unicamp (Brasil).

Publicou cerca de 200 artigos científicos (em Física de Partículas, Astrofísica e Sistemas Dinâmicos), incluindo nas revistas mais credenciadas como a *Physical Review Letters*, *Physical Review*, *Physics Letters* e *Nuclear Physics* (onde também fez arbitragem científica). Participou como orador em numerosas conferências e escolas de Verão internacionais e organizou conferências e escolas, destacando-se as *New Worlds in Astroparticle Physics*. Foi fundador em 1994 do CENTRA - Centro Multidisciplinar de Astrofísica, do qual foi presidente por três vezes. Foi por diversas vezes conselheiro científico da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT).



Teve, juntamente com outros colegas da sua geração, papel de relevo no processo de integração de Portugal no CERN. Foi presidente do Fundo CERN (1985-87), estabelecido no acordo Portugal/CERN, para o desenvolvimento não só da Física de Altas Energias, mas outras áreas relevantes como instrumentação, computação e participação de empresas.

No Instituto Superior Técnico, depois do regresso a Portugal, foi presidente adjunto para os assuntos científicos, presidente do IST em 1991/92 e exerceu em diversas ocasiões outras funções de gestão. Nomeadamente, foi presidente do Departamento de Física e coordenador da LEFT e da LEBM nos seus anos iniciais. Em 2000-2001 presidiu à Agência Portuguesa para a Energia.

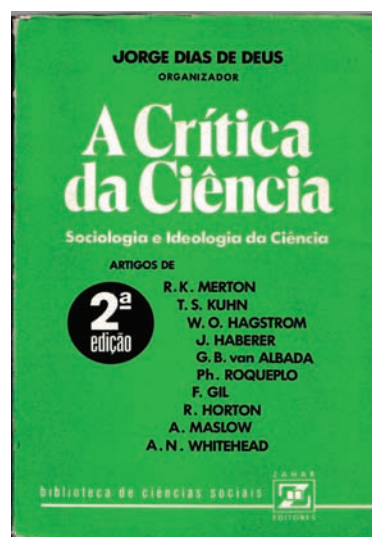
Desenvolveu uma actividade profícua no domínio da divulgação científica, tendo publicado livros de divulgação/reflexão sobre ciência: “A crítica da ciência” (editor, 1974, Ed. Zahar), “A parábola de Galileu” (1981, Ed. Direcção Geral de Educação de Adultos), e na editorial Gradiva “Ciência, Curiosidade e Maldição” (1985), “Viagens no Espaço-Tempo” (1998), “Da crítica da ciência à negação da ciência” (2003), “Einstein... Albert Einstein” (em co-autoria), “Ciência Cosmológica” (2016), “Galileu e a parábola” (2019). Colaborou com jornais, nomeadamente com o Diário de Notícias e com o Diário Popular, e colaborou com a rádio e televisão. Proferiu inúmeras palestras de divulgação e escreveu, em co-autoria, argumentos para vídeos de divulgação científica.

Fundou, com outros colegas, a Associação de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (ACTD) em 1985, tendo sido seu presidente. Foi igualmente fundador da Associação Cientistas no Mundo (SiW). Colaborou em acções de formação em Timor Lorosae (2007) e S. Tomé e Príncipe (2009). Foi coordenador da área de Ciência, Tecnologia e Sociedade do Referencial de Competên-

cias a nível secundário para adultos (2006), do Ministério da Educação.

O reconhecimento público chegou ainda em vida, tendo sido agraciado em 2005 pelo Presidente da República com o grau de Grande Oficial da Ordem do Infante D. Henrique e em setembro 2011 com a Medalha de Ouro da Universidade de Santiago de Compostela.

Este esboço biográfico não faria justiça ao multifacetado Jorge Dias de Deus se não referisse que desde sempre desenhou, se interessou por música e acima de tudo se preocupou com a condição humana, quer fossem Jovens à procura de uma licenciatura ou de trabalho de investigação ou Adultos que queriam melhorar a sua educação, Cidadãos amantes da divulgação científica e mesmo Investigadores à procura de um País com melhor organização científica. Nesta linha de preocupações se incluem, aliás, algumas das atividades já mencionadas como a iniciativa de criação de cursos de licenciatura no IST e o contributo para a criação de outros, noutras universidades, a orientação e o acolhimento de jovens nos seus projetos, a colaboração oficial na educação de adultos, a participação nas Semanas de Ciência e Tecnologia e até no 1.º Centro de Ciência Viva, o do Algarve, as inúmeras palestras proferidas, a publicação de livros de texto, de divulgação e de carácter sociológico, e o empenhamento na criação da ACTD.



Como exemplo do espírito polifacetado que caracterizou Jorge Dias de Deus, citamos o parágrafo com o qual iniciou, nos primeiros anos do século XXI, um texto:

“Eu estava em Copenhaga, no começo da década de 70, do outro século, quando fiz a «minha» crítica da ciência (...) Trata-se de uma colectânea de textos sobre sociologia e ideologia da ciência, com uma introdução da minha autoria, e que saiu publicada no Brasil.”<sup>1</sup>

Referia-se o autor a um livro por si organizado, editado em 1974, sob o título, «A crítica da Ciência. Textos básicos de ciências sociais» e do qual se reproduz a capa da sua segun-

<sup>1</sup> Dias de Deus, Jorge (2003). A minha crítica da ciência. In Boaventura Sousa Santos (org). *Conhecimento Prudente para uma Vida Decente*. Lisboa: Edições Afrontamento, 201-208.

da edición 2. Na badana desta capa, escribe-se no último parágrafo da presentación:

“Os dez ensaios reunidos neste volume, escritos por sociólogos e sábios de renome, mostran que de há muito a ciencia perdeu a súa inocencia e desvendam os camiños que ela percorreu até se transformar en tecnoloxía da dominación. A estes ensaios soma-se a magistral introdución do organizador da coletânea, Professor JORGE DIAS DE DEUS. Com este libro, que é un verdadeiro tratado sobre o colapso da tradición ética da ciencia, os estudiosos têm ao seu alcance una óptica que lhes permitirá avaliar se o universo científico em que vivemos é ou não um «teatro do absurdo».”

Os testemuños de colegas e amigos que se seguen, relembram-nos Jorge Dias de Deus nesta miríade caleidoscópica em que se entrelaçam educación, ciencia, sociedade, política, cultura e arte.

*Pela Direcção da SPF  
M<sup>a</sup> da Conceição Abreu*

### **Testemunho de Carlos Pajares**

Coñecín o Profesor Jorge Días de Deus nos primeiros anos da década dos setenta nos Rencontres de Moriond, workshop clásico sobre partículas que se celebra todos os anos nos Alpes franceses organizado pola Or Universidade de Paris-Sur a Orsay. Este encontro foi o inicio dunha colaboración científica intensa o longo de moitos anos, así como o establecemento dunha estreita amizade. Os dous compartimos as inquietudes, alegrías e preocupacións sobre o devenir dos nosos países, en particular sobre a construción e a evolución da Ciencia e Tecnoloxía en cada un deles. Asistín en primeira fila a volta de Jorge a Lisboa, primeiro no Instituto de Física e Matemáticas e despois no Instituto Superior Técnico. Vín como axudaba a creación do LIP e a súa alegría coa entrada no CERN de Portugal, conxuntamente coa ilusión da incipiente comunidade portuguesa de Física de Altas Enerxías en especial de dous entrañables amigos comúns, tamén falecidos, Gaspar Barreira e José Mariano Gago. Tamén observaba como crecía esa comunidade e a súa interacción ca Sociedade. Aprecie a visión de Jorge sobre a necesidade do intercambio de ideas entre diversas disciplinas, en particular entre o mais pequeno e o mais grande do Universo, Física de Partículas, Gravitación, Cosmoloxía e Astrofísica, visión que foi esencial na creación do prestixioso CENTRA.

Levaba dentro de sí a sede de xusticia social e por eso quiso que, unha das cousas mais importantes da humanidade como e a Ciencia, non quedase en mans duns poucos, e por eso adicou moitos esforzos a súa divulgación, publicando varios libros que acercaban a Ciencia a Sociedade e apoiando decisivamente o nacemento e crecemento de Ciencia Viva, implicándose tamén no ensino e divulgación da Ciencia en San Tomé e Príncipe. Como profesor era brillante na exposición transmitindo cunha maneira intuitiva as ideas físicas. En colaboración con Mario Pimenta, Ana Noronha, Maria Peña e Pedro Brogueira público o magnífico libro *Introdução a Física* na editorial McGraw Hill. Eu tive o prazer de traducilo o español. Considero que e dos mellores libros introductorios para cursos de Física e Inxeneira.

Non lle gustaba o traballo administrativo e de xestión, mais colaboro e incluso foi presidente do Instituto Superior Técnico, tempo que coincidiu coa niña etapa como Reitor da Universidade de Santiago de Compostela, intercambiando visions e proxectos. Jorge comenzo una colaboración científica intensa entre Santiago de Compostela e o LIP e o Instituto Superior Técnico con workshops informáis case todos os anos, celebrándose unha vez en Lisboa e a seguinte en Santiago. Por esto e polo seu prestixio como científico a Universidade de Santiago lle impuso a medalla dourada no ano 2013. Foi un dinamizador da Física de Partículas estando na organización de importantes meetings como foron: International EuroPhysics Conference Lisboa 1981, The Physics of the Quark-Gluon Plasma, Lisboa 1987, Multiparticle Dynamics en Faro, Hard Probes en Lisboa e en Eriçeira, ...

Jorge Días de Deus tiña una gran intuición para ver e explicar fenómenos físicos. Establecía as escalas que interviñan no fenómeno e aplicaba leis xerais como conservación de enerxía momento ou o de momento angular e cunha mínima adicional dinámica, as veces sen ela, era capaz de explicar os datos e incluso establecer leis de escala. Era capaz de relacionar fenómenos aparentemente moi diversos coñecendo principios xerais. Traballando así, fixéramos a predicción que os mesmos fenómenos vistos en colisións núcleo-núcleo que permitiron establecer a obtención de un fluido de quarks e gluons (elliptic flow, long range correlations, strangeness enhancement) tamén se debían producir en colisións proton-proton como foi confirmado experimentalmente posteriormente. Long range correlations and their relation with multiplicity distributions, clustering of color sources, confinement-deconfinement phase transition and string percolation, rare events and shape of the multiplicity distributions, heavy flavor production, quarkonium suppression, forward particle production and cosmic ray physics, Unruh effect and Schwinger mechanism of particle production, son algúns dos temas que traballamos xuntos. Publicamos o redor de 30 investigacións en xournals como Physical Review Letters, Physical Review C and D, Physics Letters B, Journal of Physics G, Euro Physical Journal C, Physics Reports, conxuntamente con diversos colaboradores das Institucións portuguesas e españolas (Mario Pimenta, Jose G. Milhano, Ruben Conceção, Pedro Brogueira, Maria.C.Espírito Santo, Roberto Ugoccioni de lado portugués e Carlos A. Salgado, Elena.G.Ferreiro, Leticia Cunqueiro, Jaime Alvarez de lado galego). Buscaba explicacións simples para a explicación dos datos experimentais. Tiña sempre en mente a afirmación de Newton cando decía: “A natureza non fai as cousas en vano e é vano o que sucede por efecto de moito cando e dabondo con menos”.

O meu recordó de Jorge dias de Deus será dun amigo e gran físico do cal pase moi bos días facendo Física e gozando da sua simpatía con quen sempre tendré un sentimento de gratitude.

*Carlos Pajares*

*Profesor emérito Universidad de Santiago de Compostela*

## **Testemunho de Mário Pimenta**

### **Jorge Dias de Deus: Ciência na República**

Jorge Dias de Deus regressou a Portugal uns anos depois do 25 de Abril de 1974, após uma dezena de anos de exílio político.

Nos anos sessenta, tinha-se envolvido nas lutas estudantis, tinha sido detido pela PIDE, tinha rumado a Londres. Em Londres, o jovem estudante de engenharia química do Instituto Superior Técnico, descobriu a Física teórica de Partículas.

Eram tempos de contestação. Contestação às guerras: Colonial em Portugal; do Vietnam nos Estados Unidos e em Inglaterra. Eram tempos de tentativas de revolução política e social. Eram tempos dos Beatles. Tempos também de revolução na Física de Partículas. Tempos de descoberta de uma nova escala na estrutura da matéria.

Os prótons, os neutrões, os píons, os mesões, os hádrons, não eram afinal partículas elementares. Feynman, seguramente um dos heróis do Jorge, tinha no fim dos anos sessenta, com uma simplicidade assustadora, interpretado os dados experimentais da difusão profunda de electrões em prótons, como o somatório das interações dos electrões em partículas pontuais, os quarks, que viviam livremente, mas confinados, no interior dos prótons.

Interpretar os dados experimentais, de fenómenos muitas vezes complexos, com modelos aparentemente simples e com poucos parâmetros, foi a Física que o Jorge gostava de fazer. Com ele, anos depois, aprendi a olhar para os comportamentos assintóticos, na busca de reter o essencial, não nos distrairmos com o acessório. A sua interpretação geométrica das interações próton-próton, o “geometric scaling”, foi, nos anos setenta, o trabalho que lhe deu notoriedade na comunidade científica.

A cultura científica estava, no Portugal dos anos setenta, reduzida a uma camada muito estreita da população. Se o analfabetismo literal ainda tinha níveis escandalosos, a iliteracia científica era avassaladora. O Jorge foi um dos combatentes mais activos nessa guerra, com artigos de jornais, mas sobretudo com uma produção impressionante de pequenos livros, que se leem com deleite, e em que o rigor científico está sempre presente.

A investigação científica, essa, era praticamente inexistente, e considerada mesmo, um luxo só possível em países ricos. O Jorge impulsionou, pela

acção e pelo exemplo, uma escola de física teórica fundamental, mas sempre atenta à experiência. Nos anos oitenta, regressou, agora como professor, ao Instituto Superior Técnico e foi determinante na transformação do Departamento de Física num espaço de ensino e de investigação. Trouxe alegria e entusiasmo, sempre disponível para conversas, científicas ou não, com estudantes e colegas, muitas vezes à volta de uma mesa de almoço com a indispensável garrafa de vinho. Foram também nesses almoços, que muitos artigos científicos foram gizados, muitas iniciativas programadas, vários livros pensados.

Durante 30 anos, o Jorge marcou gerações de estudantes e investigadores, e foi determinante na minha vida científica e pessoal. Não há, dizem, pessoas insubstituíveis, mas há umas, poucas, muito mais do que outras, e o Jorge era uma dessas. Deixou-nos livros e o exemplo, a luta, essa, continua sempre.

*Mário Pimenta*

*Professor Catedrático do Dep. Física do Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa*

*Presidente do LIP*

## **Testemunho de Maria Eduarda Gonçalves**

### **Jorge Dias de Deus, militante das causas da ciência**

É sempre doloroso ver partir um amigo. Fica-nos a memória de tempos vividos em comum, sonhos partilhados, realizações cujas sementes possamos ter ajudado a plantar. O tempo da minha convivência com o Jorge foi breve, mas intenso. Entre meados de 80 e meados de 90, “militámos” na ACTD – a que o Jorge presidiu - com tantos outros “ativistas” desta causa como o Manuel Carrondo, o Romão Dias, o Mariano Gago, o Trigo de Abreu, o Jorge Calado, o José Tribolet, ... A ACTD - Associação de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento nasceu da ideia e do impulso inicial de José Mendes Mourão, presidente da JNICT na primeira metade dos anos 80, e fora formalmente constituída em setembro de 1985.<sup>1</sup>

Revolvendo recortes de jornais amarelecidos pelo tempo, reencontro uma reportagem do Diário de Notícias de 6 de maio de 1997 em que, a par da notícia da extinção da JNICT e da criação da FCT<sup>2</sup>, pode ler-se, em subtítulo, “Grupo quis mudar o mundo e chegou ao poder” e “Associação criada em 1985 foi movimento mobilizador de consciências da comunidade científica. A missão está cumprida”.

A ACTD propôs-se realmente a missão de mobilizar a “consciência pública e política da importância da integração da ciência no plano da decisão económica e política”, como se afirmava nos seus Estatutos. Confrontada com a insensibilidade dos governos e o incipiente orçamento da JNICT (1% da despesa total em Investigação e Desenvolvimento!), que inviabilizavam qualquer ensejo de política científica e tecnológica, agiu como um verdadeiro *lobby* da comunidade científica, que se revelou decisivo para a autonomização e a institucionalização da política de ciência na

<sup>1</sup> Mendes Mourão viria a falecer, prematuramente, no Verão de 1985.

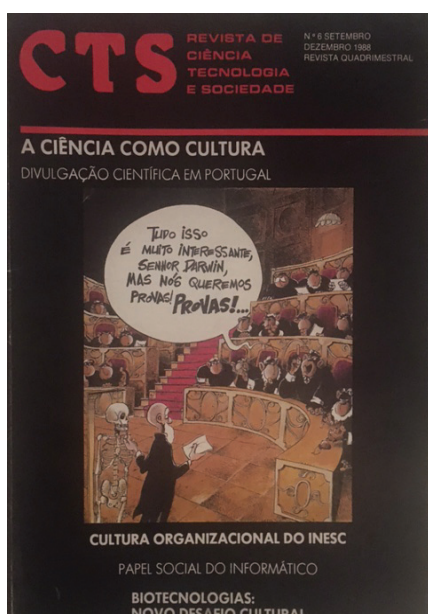
<sup>2</sup> JNICT – Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica; FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

esfera do governo em Portugal. Foi um processo marcado por dificuldades e resistências, mas também pela ação individual e coletiva de um núcleo de investigadores que souberam ler as circunstâncias - desde logo, a iminente adesão de Portugal à Comunidade Económica Europeia - e convocar forças internas (e externas, como a OCDE) em prol do reconhecimento da relevância crítica da ciência no desenvolvimento económico, social e cultural do país. A primeira Secretaria de Estado da Investigação Científica (rapidamente convertida em Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia) surgiria logo após as eleições legislativas de outubro de 1985.

“Missão cumprida”, escreve-se na notícia do DN: lembrem-se as Jornadas de Ciência e Tecnologia, realizadas em 1987, com Mariano Gago, cofundador da ACTD na presidência da JNICT, ou o lançamento por essa altura dos primeiros programas de financiamento da I&D.

O Jorge foi um líder destacado deste movimento. Uma liderança muito própria, feita de afetos, de candura, e de outras virtudes que lhe são reconhecidas como a do “físico que gostava de ser multidisciplinar”, que se “preocupava com a cultura científica”, com uma notável “capacidade de pensar e imaginar o futuro”. Guardo belas memórias das nossas reuniões no Instituto de Física Matemática no Complexo Interdisciplinar ali à Gama Pinto ou no gabinete do Romão Dias, sem falar na churrasqueira vizinha do Técnico onde terminavam muitas vezes as nossas reuniões e onde foram imaginadas várias das iniciativas da ACTD.

A ACTD como espaço singular de convergência, diálogo e intervenção de investigadores e de administradores da ciência, não foi estranha ao espírito e às dinâmicas que o Jorge lhe imprimiu. O Jorge foi grande impulsionador não só das Exposições de Ciência e Tecnologia para a Juventude, mas também da CTS, Revista de Ciência, Tecnologia e Sociedade, publicada, na sua primeira série, entre 1987 e 1992, todas elas iniciativas da ACTD.<sup>3</sup>



<sup>3</sup> Existe uma coleção da Revista CTS no Arquivo de C&T da FCT.

As Exposições, que contaram com a colaboração dedicada da Maria da Conceição Abreu, passaram, desde 1987, por Setúbal, Portalegre, Faro, Évora, Porto e Castelo Branco, atraindo, segundo palavras do próprio Jorge referindo-se à exposição de Setúbal, uma média de 10 000 visitantes por semana. Anteciparam, creio que se pode dizer, a Ciência Viva.

Na introdução ao Catálogo da 1ª Semana de Ciência e Tecnologia para a Juventude (publicada no n.º 2 da CTS, Maio/Agosto 1987), o Jorge oferece-nos uma síntese, ainda hoje atual, dos desafios do conhecimento, do que se sabe e do que não se sabe, reveladora da sua visão ao mesmo tempo humanista e humanizada sobre a ciência: “como é que se há de conseguir que a Ciência e a Tecnologia estejam realmente ao serviço da população, da liberdade, do desenvolvimento económico e do progresso social?”, perguntava, acrescentando, “sem a alegria de fazer nada se aprende”. Por essa altura publicava o Jorge o seu livro “Ciência, curiosidade, maldição” (Gradiva, 1986), cujo título diz muito sobre o modo como encarava a divulgação ao público e, em especial, aos jovens, de uma ciência simultaneamente “fada boa” e “fada má”.

O Jorge empenhou-se também na CTS de alma e coração, como era seu tom. A CTS foi pioneira no lançamento da área dos estudos sociais da ciência e da tecnologia (ou estudos de CTS), um domínio essencialmente interdisciplinar. Ali convergiram investigadores portugueses e estrangeiros das ciências sociais e humanas e das ciências exatas e naturais e engenharias, numa reflexão coletiva e criativa sobre os impactos culturais, socioeconómicos e políticos das ciências e das tecnologias, tratando temas que se espraiaram da ciência na arena política à compreensão pública da ciência, da ciência como cultura à ética da investigação científica, da história ao direito da ciência.

É atribuída ao filósofo das ciências Michel Serres a afirmação de que “*L’action culturelle scientifique oscille entre une vulgarisation qui ne se préoccupe pas des implications sociales de la science et son contraire*”. O Jorge deixa-nos o exemplo da opção certa, que é, ao mesmo tempo, o de um forte sentido da responsabilidade social do cientista.

Maria Eduarda Gonçalves

Professora catedrática aposentada do ISCTE e Investigadora do Dinâmia’CET – ISCTE. Foi membro da Direção da ACTD e editora da CTS.

### Testemunho de Alberto Melo

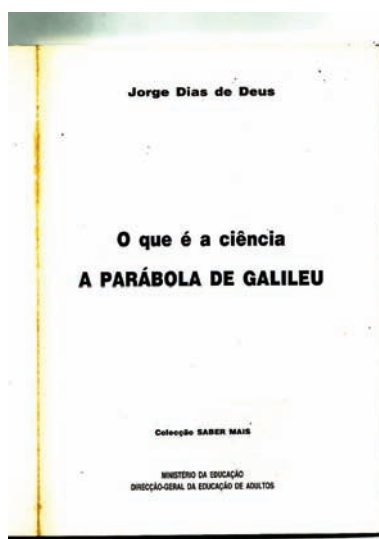
#### Jorge Dias de Deus: um militante da democratização da ciência

Jorge Venceslau Comprido Dias de Deus, tal como ele se apresentou à turma do 3.º ano, no Liceu Camões, em Lisboa, recém-chegado, com a família, da sua região natal próximo de Elvas. Cedo nos aproximámos, descobrimos imensas afinidades e,

muito rapidamente, estávamos a conceber e levar a cabo iniciativas comuns.

A mais importante, a meu ver, terá sido a criação da Revista “Júpiter”, produzida à mão, num exemplar único, que, para além de nós dois, recebia contributos de outros colegas. Circulava por quem, dentro da turma a encomendasse, para levar para casa durante 1 dia, pagando, creio, 1 escudo para partilhar as despesas do papel e tintas. Continha narrativas da vida escolar, com algumas críticas (veladas) a docentes e ao reitor, com passatempos, curiosidades, anedotas e alguma informação de natureza cultural e educativa. Foi uma experiência muito enriquecedora que nos deu vontade e confiança para, mais tarde, voltarmos a reunir esforços na divulgação do conhecimento.

Depois das muitas vicissitudes por ambos vividas nos anos pesados da ditadura salazarista e do exílio no estrangeiro a que fomos forçados, com longos afastamentos e curtos mas calorosos reencontros, ao ser nomeado Director Geral da Educação Permanente (Setembro de 1975), logo recorri ao Jorge Dias de Deus para apoiar a campanha de educação para adultos em fase de arranque. Nessa altura, ele trabalhou, com Ana Hatherly, em pequenos filmes de 8 mm, visando transmitir o espírito e o conhecimento científico às pessoas menos escolarizadas. Começou então o trabalho que levaria, em 1982, à publicação pela Direcção Geral de Educação de Adultos (na Coleção Saber Mais) de “O que é a Ciência. A Parábola de Galileu”. Aqui, na Nota Biográfica, lê-se: “Tem-se interessado pelas questões da divulgação científica e popularização da ciência, tendo colaborado com alguma regularidade na imprensa diária, em especial através da série “À Roda da Ciência”, no Diário Popular”.



Na Introdução ao mesmo livro (p. 5-6), JDD escreve:

“Este pequeno livro tenta dar uma ideia geral do que é a ciência: o que ela é mesmo; como nasceu; como funciona; como se liga ao que se vê, ao que

se sente; como se liga à vida prática”... “A ciência está realmente muito mais próxima de um instrumento de trabalho ... do que da magia que parece ser.”

“A educação científica faz parte daquela educação formal das escolas e das universidades que continua vedada aos que, no campo ou na cidade, têm que começar a trabalhar cedo na vida. Um curso de formação científica de base poderá dar aos que não passaram pela educação formal a oportunidade, dentro de um esquema geral de educação permanente, de adquirir os conhecimentos de que foram privados. Este livro, que começou a ser preparado em 1976 ... pretende funcionar como uma ponte de transição entre o conhecimento usual das pessoas, que trabalham e que vivem afastadas da escola ... e o conhecimento dito superior, que utiliza níveis de abstracção mais elaborados”.

E na Conclusão (p. 59), pode ainda ler-se. “Cremos ser possível, fora do esquema de educação formal das escolas e das universidades tradicionais (ou talvez até sobretudo fora do esquema de educação formal das escolas e das universidades tradicionais) e sem ir para a divulgação científica abreviada, que não liberta mas submete, falar do que é a ciência, do modo como funciona a ciência. E ir mais longe, transmitir a qualquer pessoa sem preparação científica escolar os conhecimentos básicos e as interligações das várias disciplinas científicas, da física, da química, da biologia, da geologia, etc., etc. Essa é uma tarefa difícil, que exige uma ligação aos problemas concretos e à vida quotidiana, mas que é preciso vencer se se quer realmente democratizar a ciência e integrá-la numa nova cultura de conteúdo e expressão populares”.

Este livro teve uma nova edição, que JDD reviu e ampliou, publicada pela Gradiva em 2019 com o título “Galileu e a Parábola”.

Aquando do relançamento da Educação e Formação de Adultos, entre 1997 e 2002, JDD aderiu de novo às iniciativas então lançadas, colaborando com a recém-criada ANEFA (Agência Nacional de Educação e Formação de Adultos) a vários títulos:

- Participou no debate “Deitar Contas à Ciência”, com João Caraça e Fernando Luís Machado (inserido em Cadernos S@bER +, Janeiro-Março 2001, (ANEFA) e na Revista Aprender ao longo da Vida, nº 0, Outubro – Dezembro



2003, Associação O Direito de Aprender), onde fez as seguintes considerações:

“É cada vez mais necessária... uma divulgação que não seja parcial e que tente ser o mais abrangente possível, que aponte as várias soluções possíveis, mas que leve a que as pessoas não tomem as decisões na base do pânico ou de medos atávicos ou seguindo líderes de ocasião... Neste momento, há uma iliteracia de fundo, já não sabemos o que é o bem e o que é o mal”.

“Fazer divulgação científica é um acto de cultura. Da mesma maneira que a ciência é cultura, fazer divulgação científica é ter uma acção cultural, é tentar transmitir capacidades, conhecimentos e possibilidades de fazer perguntas e ter acções.”

“Quando olhamos para o nosso sistema de ensino, no que respeita ao ensino das ciências, é uma catástrofe ... As crianças já ouviram falar no que é o efeito de estufa e não fazem a mínima ideia do que é o efeito de estufa ... não fazem a mínima ideia do que é o buraco de ozono. Tem havido uma cultura de incultura anticientífica, que é transmitida e está nos programas oficiais e isso é muito difícil de combater. Porque as gerações ... estão a ser formadas numa atitude anticientífica. Porque o que é científico é mau porque vai alterar a natureza, o ambiente, vai criar problemas ... Toda a transformação cria alterações e a ciência é a forma mais activa de transformar o mundo ... As pessoas têm de se educar no sentido de “cuidado, vai haver mudanças”.

- Trabalhou com Rui Seguro na produção de curtos vídeos em que a transmissão de conhecimentos científicos se fazia a partir de experiências do quotidiano (num dos casos, recordo-me, com base no funcionamento de uma lareira). Devido ao menosprezo que é dado, em geral, pelos poderes públicos à Educação de Adultos, estas obras do início do século, assim como os filmes mais antigos, feitos com Ana Hatherly, não tiveram a difusão necessária e encontram-se em algures no “arquivo morto” do Ministério da Educação, aguardando a heroína ou o herói que escreva a História da Educação de Adultos em Portugal desde o 25 de Abril.

- Também integrou o grupo de trabalho responsável pela definição do Referencial a aplicar no processo de reconhecimento, validação e certificação de competências, na área interdisciplinar “Sociedade, Tecnologia e Ciência”, por convite da ANEFA (e depois da DGFV) nos primeiros anos do corrente século.

Mais recentemente, JDD escreveu “Ciência Cosmológica” (Gradiva 2016) em que, na primeira parte, descreve as congeminações humanas sobre o Universo desde os mitos da pré-história, passando pelas tentativas de racionalidade na Grécia Clássica e a abordagem científica de Galileu até às cosmogonias modernas. Esta narrativa histórica, por vontade expressa do autor (que fez até o teste comigo, levando-me a ler e comentar o texto antes de o enviar para a editora) é perfeitamente acessível a qualquer “leigo” (como eu), que é aqui, de uma forma natural e agradável, conduzido à compreensão de um sector fundamental da Física contemporânea.

*Alberto Melo*

*Presidente da Comissão Directiva da Associação Portuguesa para a Cultura e Educação Permanente, APCEP*

### **Testemunho de Luís Oliveira e Silva**

#### **Jorge Dias de Deus e a engenharia daquilo que ainda não existe**

Na nossa experiência individual todos reconhecemos professores que nos marcam profundamente e que recordamos ao longo de toda a vida. Sendo uma combinação de múltiplos factores, os mais extraordinários destes professores conseguem unanimidade entre os alunos que se tornam seus devotos, repetem exaustivamente os seus chavões e, passados muitos anos, recordam episódios das suas aulas ou tentam reinventar, agora como professores, muito do que aprenderam. Jorge Dias de Deus, conhecido por muitos como DD, líder estudantil, físico, professor do Instituto Superior Técnico (IST), líder académico e divulgador de ciência falecido no dia de 1 de fevereiro foi um desses professores marcantes para várias gerações de alunos da licenciatura em engenharia física tecnológica (LEFT).

Muitos do que com ele conviveram como cientistas e colegas já escreveram sobre DD [1,2]. Atrevo-me, no entanto, a arriscar que o seu maior impacto, e o seu maior legado, é a LEFT e o seu mais de um milhar de licenciados e pelo menos outros tantos alunos de outros cursos no IST que DD inspirou como engenharia biomédica, informática ou aeroespacial. DD foi um dos principais mentores da LEFT do IST e, durante muitos anos, o seu principal “ideólogo”. A Engenharia Física Tecnológica, actualmente um dos cursos universitários com a média mais alta de acesso ao ensino superior, deve a sua reputação, e a sua aura, a muito do que foi sendo construído desde meados dos anos 80 por, entre outros, Mariano Gago, Matos Ferreira e Dias de Deus.

DD sintetizava a engenharia física tecnológica como “a engenharia daquilo que ainda não existe”. Esta abertura total ao futuro e à incerteza tinha consequências imediatas na própria LEFT: incentivo à curiosidade e à exploração dos alunos em cadeiras com forte componente experimental, elevada flexibilidade curricular e liberdade para os alunos fazerem cadeiras dos mais diversos cursos do Técnico, trabalhos de fim de curso com durações de um ano nos mais variados temas e orientados por professores de diferentes departamentos, visão de que o ensino universitário só faz sentido em estreita ligação à investigação. Como escreveu DD no seu “Ciência: Curiosidade e Maldição” [3] entre os que são travões ao renascimento científico em Portugal contavam-se “(...) os “pedabobos” que tentam criar uma oposição entre ensino e investi-

gação, como se o melhor ensino não fosse a prática da investigação científica”. No final dos anos 80, a LEFT antecipava, em muitas décadas, tudo aquilo que, de forma mais genérica, entendemos que deve ser o ensino universitário no séc. XXI.

Era por isso natural o apelo e a atração de alunos com um perfil distinto, com uma escolha não ditada por questões vocacionais mas por uma combinação de curiosidade imensa pela física e pela matemática, o desejo de ser desafiado por outros excelentes alunos e o gosto pela ciência. Esta diversidade é visível na variedade de percursos profissionais, das melhores universidades do Mundo às Nações Unidas, das maiores empresas tecnológicas a start-ups, em domínios tão diversos como a física, a matemática, as engenharias, a economia e a gestão, a biologia e as ciências sociais.

Dias de Deus também acreditava que o ensino universitário nos primeiros anos devia ser assegurado pelos professores com mais experiência. Imaginem o deslumbramento dos alunos recém-chegados à universidade perante um professor, na sua voz nasalada e óculos grossos de massa na ponta do nariz que, sem condescendência e com grande sentido de humor, conseguia ligar o que estava a ensinar com a própria história da física e com temas mais avançados. A oportunidade para ter alguém que nos falava sobre os grandes avanços da física, mas também debatia os grandes dilemas morais que se colocam aos cientistas, enfatizava o carácter profundamente humano da ciência e partilhava a vivência de um cientista, com os seus anseios, erros, desafios e expectativas, era absolutamente inspiradora. Para muitos dos alunos, que devoravam os livros da coleção Ciência Aberta da Gradiva onde Dias de Deus foi o primeiro autor português, era a oportunidade para todos os dias ser desafiado e deslumbrado.

Sempre disponível para apoiar as iniciativas dos alunos (incluindo as mais reivindicativas) foi durante o seu período de maior ligação à LEFT que se lançaram as primeiras iniciativas de divulgação da física por alunos do Técnico e que foi criado o Núcleo de Estudantes de Física do IST (NFIST), um dos núcleos de estudantes mais activos do país, em particular na divulgação de ciência. Também acreditava no poder dos eventos sociais, estando sempre disposto para participar nas confraternizações com os alunos, sendo memoráveis os jantares na Casa do Alentejo, região de onde era orgulhosamente originário.

Com as suas características únicas, tocou a vida de vários milhares de alunos que, com certeza, o irão lembrar para sempre nas suas idiossincrasias, mas principalmente como fonte de inspiração e como modelo. Que maior legado pode um professor e cientista deixar às gerações vindouras?

(Publicado originalmente no Jornal i 09/02/2021)  
[https://ionline.sapo.pt/artigo/724090/jorge-dias-de-deus-e-a-engenharia-daquilo-que-ainda-nao-existe?seccao=Opiniao\\_i](https://ionline.sapo.pt/artigo/724090/jorge-dias-de-deus-e-a-engenharia-daquilo-que-ainda-nao-existe?seccao=Opiniao_i)

*Luís Oliveira e Silva*

*Professor Catedrático do Departamento de Física  
Instituto Superior Técnico*

web: <http://web.tecnico.ulisboa.pt/luis.silva/>

twitter: @luis\_os

[1] <https://www.publico.pt/2021/02/01/ciencia/noticia/morreu-jorge-dias-deus-fisico-gostava-multidisciplinar-1948847>

[2] <https://tecnico.ulisboa.pt/pt/noticias/campus-e-comunidade/jorge-dias-de-deus-1941-2021-o-professor-mobilizador-que-se-divertia-a-fazer-e-divulgar-a-fisica/>

[3] J. Dias de Deus, “Ciência Curiosidade & Maldição”, Gradiva, 1ª edição, 1986

## **Testemunho de Guilherme Milhano**

### **O JDD foi muitas coisas diferentes e importantes para muita gente diferente.**

Ao contrário do que sei ser o caso para muitos dos meus colegas de curso, o Professor Dias de Deus não foi para mim um professor especialmente marcante. Julgo apenas ter sido seu aluno numa cadeira da qual me lembro menos do que seria razoável. Sobra a memória de um exame onde, propositadamente ou não, se incluía um problema sem solução; da resposta séria dita a brincar que recebi à minha manifesta indignação com a artimanha: a solução do problema é que não tem solução. Só muito mais tarde, anos mais tarde, entendi a verdadeira importância desta lição.

A minha estória com o JDD começa muito mais tarde.

Verão de 2002, pausa entre sessões na conferência ICHEP em Amsterdão, eu postdoc na Vrije Universiteit Amsterdam. Um calor húmido insuportável num centro de congressos feito para o frio. No meio das centenas de pessoas cruza-me com JDD e cumprimento-o. Uns poucos minutos de conversa ligeira para perceber quem eu seria antes de perguntar se eu, como residente local, saberia de algum sítio próximo onde houvesse algo frio, mesmo gelado, para beber. As poucas garrafinhas de água da conferência há muito tinham desaparecido. Várias conversas nessa semana e a sugestão de concorrer a uma bolsa de pós-doutoramento da FCT. Apesar de parecer agora absurdo, nunca me tinha ocorrido voltar para Portugal.

Este foi o início de uma amizade de quase 20 anos, mais de 10 de colaboração científica. Foram também muitas conversas longas, longuíssimas, sobre tudo e mais alguma coisa. Foi generosidade desapegada em muito e muitas vezes.

Foi, pelo menos visto agora com alguma distância, quem com uma aparentemente simples pergunta me fez começar a pensar em Física como o tento fazer hoje. Pouco tempo depois do meu regresso ao IST, o tal plano da bolsa havia funcionado, mostrava-lhe umas contas longas

e algo complexas, hediondas, que então em ocupavam. Saiu então pergunta: “Qual é o boneco disto?”. Julgo que mostrei uns diagramas de Feynman. Obviamente não o pretendido. É a procura do boneco — de uma previsão ou no pior dos casos de uma explicação para um fenómeno, uma medição — que fui aprendendo com o Jorge a tomar como o fundamental em Física. Espero conseguir fazer continuar um pouco dessa visão.

Até sempre Jorge.

Guilherme Milhano

Prof Associado do Dep. de Física do Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Investigador do LIP

## Testemunho de Pedro Figueiral

### Ao Professor Dias de Deus

Falar do Dias de Deus, o DD para nós, não se consegue perceber por onde começar e melhor ainda quando parar. Divulgação da C&T, quando ainda quer a C quer a T nem sequer eram decifrados junto da esmagadora maioria de uma população, sim, por certo uma presença e consequente papel inquestionável na história da divulgação da C&T, reconhecido por todos sem grandes euforias, no formato que o DD estava sempre presente na sua vida ativa. Este longo parágrafo, podia também ser um parágrafo da escrita do DD, caso não tivesse tanta pontuação.



E esta Divulgação tinha que estar presente e focada junto dos mais novos, que nos dias seguintes acabaram por arrastar os menos novos. O gostoso problema junto do DD, foram as enchentes não controladas e os danos estruturais ocorridos. Mas era esta a dinâmica do prazer do DD.

As SCT da Conceição, sim, um privilégio terem contado com a omnipresença do DD. A ideia dos Jardins de Ciência, mais uma coisa estranha à volta da divulgação das palavras iniciadas por C e T, sim, só podia ter aparecido porque um grupo de pessoas puderam contar com o encanto de poder partilhar parte das suas vidas com o DD. Não interessava os caminhos dos desenvolvimentos posteriores destas ideias, por certo em ambientes com o de-

sejável recheio financeiro, que contrastavam com o nível de recursos no arranque destas iniciativas. O que interessava, é que as ideias iam ter continuidade, com os devidos impactes sobre a população, pois era este o único objetivo destas iniciativas de Divulgação.

As SCT que passaram quase por todas as Capitais de Distrito, sempre com contornos o mais politemáticos possível, desde as entradas no espaço através das explosões do Big Bang, as palestras com aquela coisa muito tecnológica que eram os raios laser acompanhados com aquele sons emocionantes, sempre com o DD a provocar os jovens *Designers* e Gráficos mais atrevidos, são memórias omnipresentes de muitos. Quem não se lembra daquela iniciativa de Setúbal? Um autêntico primeiro passo por certo sem a qual não existiria hoje o atual Pavilhão do Conhecimento entre outros Centros de Divulgação de C&T que se replicaram no País.

As Alexandras no papel de Responsáveis Científicos dos diversos *stands* das SCT, com peixes, tartarugas a saltarem em aquários transportados em carros dos Pais, até os cientistas mais evoluídos com áreas da Robótica e da Astrofísica, todos com diretas a trabalharem noites a dentro, só era possível acontecer nestas SCT. Mas todos com o privilégio de poderem partilhar estas dinâmicas com o DD. O gozo e a delícia com que o Senhor Professor acompanhava esta loucura de improvisação na montagem destas feiras de Divulgação, é algo que se encontra na memória de um grupo alargado de privilegiados que tiveram a sorte de poder fazer parte das SCT.

As palestras do DD, desde as reuniões de trabalho com meia dúzia de profissionais acabados de nascer na atividade mas fortemente empenhados nesta coisa da Divulgação da C&T, passando pelas reuniões mais alargadas (que vim a descobrir uns anos mais tarde terem o nome de team buildings), os almoços a dois ou os beberetes mais alargados, era um privilégio estar calado e ouvir o DD. Era consensual ouvir o máximo possível, pois era um privilégio poder aprender naquele nível.

E tudo isto depois de uma das minhas primeiras atividades na ACTD, que foi ter que recolher um conjunto de CV para apresentação de uma candidatura a um Ministério, que naquela altura não tendo nada a ver com a C&T, decidi dar voz a uma iniciativa de divulgação de C&T para os mais novos, de acordo com proposta do DD. Pois bem, dei início a esta recolha, e entre CVs individuais de 30 a 300 páginas, apareceu-me um de uma página, com meia página escrita. Passei um mau bocado naquela noite, pois não sabia como partilhar aquele contexto com o DD, que era o autor daquele CV de meia página. Pois bem, o que isto me serviu de ensinamento para o resto da minha vida.

Mas isto era normal. Partilho mais uma situação que tive o privilégio de viver, neste caso uma inconfidência. Desloquei-me ao Palácio de Belém, para uma reunião que íamos ter os dois com um dos nossos Presidentes da República, isto, obviamente, no âmbito da angariação de apoios à Divulgação da C&T. Pois bem, já lá dentro, o Senhor Presidente em passo apressado num canto oposto de uma larga sala, pára subitamente o seu passo apressado e, em voz alta, diz: Senhor Professor, as minhas desculpas por este atraso, mas dê-me mais 10 minutos e eu venho já ter consigo. E o amigo DD, com o maior respeito, tratou o Senhor Presidente pelo nome próprio, e usando um diminutivo. Pois bem, o Senhor Presidente riu-se com uma enorme satisfação, pediu aos assessores que o acompanhavam para seguirem em frente, e cruzando a sala, o Senhor Presidente decidiu antecipar os 10 minutos e veio ter connosco. Foi um passeio na varanda, enquanto o Senhor Professor explicava ao que tínhamos vindo. Foram 5 minutos de conversa incríveis, com uma enorme amizade e respeito entre o Senhor Professor e o Senhor Presidente.

Mas depois este SENHOR Professor tinha um CV apenas de meia página.

Já fora do tempo das SCT, pois ainda não tinha nascido, um filho de um Pai preocupado mesmo apesar da média do seu filho se posicionar acima dos 19 valores, depois de vários testes psicotécnicos entre outras iniciativas inconclusivas, o adolescente não sabia o que fazer na continuidade da sua vida académica. Pois bem, um almoço a três, com duração de três horas, e um passeio a dois pelo IST durante duas horas, o adolescente já não tinha dúvidas o que iria fazer nos próximos cinco anos em termos académicos. Hoje, este ex adolescente, perguntou-me há menos de um mês num ambiente emocional de tristeza, qual a razão deste Professor não ter estado à frente dos destinos deste País.

Um Grande Abraço de Enorme Amizade por parte de um Grupo de várias centenas de pessoas que tiveram o prazer de fazer parte das SCT.

*Pedro Figueiral*  
*Direção da ACTD e SCT*

### **Testemunho de Maria da Conceição Ruivo**

#### **Jorge Dias de Deus - um grande mestre e um bom amigo**

A obra de Jorge Dias de Deus (JDD) é sobejamente conhecida e não faltará quem possa falar dela com maior conhecimento do que eu. Falarei, por conseguinte, apenas de memórias pessoais.

Conheci JDD em 1977, durante um Encontro de Física Teórica realizado em Coimbra. O evento reuniu físicos teóricos de Lisboa e de Coimbra, o que, para as jovens assistentes, foi uma excelen-

te oportunidade de conhecermos professores e colegas que trabalhavam na área. Poucas memórias tenho desse encontro, a não ser a de algum nervosismo antes da apresentação da minha comunicação e do alívio que veio a seguir. Era a primeira vez que apresentava um trabalho num encontro científico, em inglês e para uma plateia exigente. Mas julgo que foi a partir daí que começou a haver um maior intercâmbio entre os físicos teóricos de Coimbra e de Lisboa e que alguns professores de Lisboa passaram a vir com regularidade a Coimbra dar seminários ou pequenos cursos. Foi assim que comecei a conhecer melhor JDD, a clareza, a vivacidade e a informalidade das suas exposições tão cativantes. Lembro-me, em particular, de uma série de lições sobre Física Estatística e de outra sobre Física de Partículas, esta última despertou-me vivo interesse e talvez fosse o primeiro apelo para uma área que, cerca de uma década depois, passaria a ser o objecto da minha investigação. As conversas informais depois das lições, o convívio num ou outro jantar permitiam-nos conhecer outras dimensões do Jorge, o seu sentido de humor, aquela gargalhada inesquecível, o seu trato amigável e a sua vasta cultura.

Antes de vir a ser publicado no livro *Ciência, Curiosidade e Maldição*, já circulava no Departamento uma versão da “Ceia dos Catedráticos”, essa sátira incisiva e hilariante a velhos hábitos de investigação, que, apesar dos ventos de mudança, ainda continuavam renitentes na sua obsolescência. O livro, bem como os que se seguiram, vieram tornar-me mais clara a percepção de que no ambiente universitário das ciências tinha surgido alguém diferente, que abria novos caminhos não apenas na investigação, mas também no ensino, na divulgação e na ligação com a sociedade.

Em diversas ocasiões os nossos caminhos se cruzaram, mas foi principalmente na sua última década no IST que eu e o Jorge mais interagimos. Juntou-nos o interesse comum pela história e pela epistemologia da ciência, chegámos a delinear um projecto de trabalho e ainda acompanhei de perto a escrita do livro *Da Crítica da Ciência à Negação da Ciência*, cujo manuscrito o Jorge me deu a ler. Contudo, devido a solicitações de tarefas mais urgentes, o nosso projecto foi ficando na gaveta e acabou por nunca de lá sair. Mas não se perdeu o essencial, esse frutífero intercâmbio que me permitiu conhecer melhor a abertura de espírito, a cultura e a simplicidade que é apanágio dos grandes.

Quem se deu de maneira tão universal criou uma onda no espaço-tempo que continuará a transportar energia mesmo quando já não se souber bem qual a sua fonte.

*Maria da Conceição Ruivo*

### **Testemunho de Dulce Conceição**

Conheci o professor Dias de Deus em 1990 e desde aí para além de “chefe” passou a ser um amigo. As memórias de tudo o que passámos são muitas. Trabalhámos juntos durante 20 anos e sinto-me privilegiada por ter privado com ele, e família, durante todos estes anos.”

*Dulce Conceição*

## **Testemunho de Ana Dias e de João Fonseca**

### **Jorge Dias de Deus – A vida depois da morte**

Acho que existe vida depois da morte, sem dúvida! O meu raciocínio racional e científico, que me levou a fazer o curso de Engenharia Física no Técnico, faz-me questionar a ideia de existirem pessoas a viverem no além, ou mesmo almas a pairarem pelo universo... não nego, mas tenho alguma dificuldade em acreditar nessas construções. No entanto, acredito que cada pessoa tem uma “vida depois de morrer” que resulta da marca indelével que deixa durante o tempo em que vive neste mundo, a vida que continua nas obras que edificou, nos filhos que criou, no impacto que teve em todas as pessoas com quem interagiu.

O Professor Jorge Dias de Deus com a sua inteligência, empatia e bom senso, marcou indelevelmente as instituições por onde passou e as pessoas que tiveram o privilégio de com ele interagir. A forma holística como interpretava a ciência, a sociedade e as pessoas, permitia-lhe ter uma visão estratégica e uma capacidade de concretização extraordinárias, que fez com que, por exemplo, estivesse na génese dos cursos do Técnico que atualmente mais atraem os melhores alunos, tivesse um papel fundamental no fomento da cultura científica em Portugal, contribuísse para entusiasmar e desenvolver as pessoas com quem se foi cruzando.

Para além do enorme impacto que teve na evolução da divulgação científica em Portugal e da Física no Instituto Superior Técnico, há uma dimensão humana extraordinária que marcou os alunos que, como eu, se cruzaram com ele. Uma daquelas pessoas que nos marcam profundamente pela inspiração do exemplo, por ser uma pessoa inteligente, interessante, empática, humilde e genuína, muito próxima dos alunos, alguém que sabíamos que podíamos sempre contar. Apesar de não ter sido meu professor em nenhuma cadeira, era uma presença constante e próxima, como se fosse naturalmente parte do grupo que formamos ao longo dos anos do curso, entre alunos e alguns professores. Dias de Deus era o professor que nos enquadrava no curso, que nos mostrava a ligação entre as várias matérias e o enquadramento em algo maior, ouvi-lo clarificava e entusiasmava e, apesar de ser uma sumidade, mantinha uma tal postura de proximidade com os alunos, que nos permitia levantar e discutir questões sem aquele medo de parecer mal não sabermos alguma coisa ou discordarmos.

Também era o Professor que nos acompanhava em todas as celebrações e jantares, onde proporcionava bons momentos de conversa, sobre todos os temas, desde o ensino à economia, política ou relações humanas. Alguém com quem tínhamos boas discussões bebendo da muita experiência e capacidade de intervenção e de ação. Era também alguém que funcionava como nosso mentor, porque sabíamos que podíamos sempre ir trocar ideias e opiniões sobre as nossas opções no curso, as lutas associativas ou mesmo na vida profissional que se seguia. Na verdade, e falando da minha experiência pessoal, a minha vida profissional começou exatamente a partir

de uma referência que o Professor Dias de Deus deu ao Professor Luís Tadeu, que na altura era o coordenador da Licenciatura de Engenharia de Gestão Industrial, defendendo que os alunos de Física eram uma boa aposta para a empresa de consultoria dele.

Quando pensamos nas pessoas que verdadeiramente nos marcaram e fizeram parte do nosso crescimento como pessoas, lembramo-nos de alguém como o Professor Dias de Deus, não por algo muito específico, mas pelo exemplo de pessoa que era, pelo brilhantismo intelectual, pela forma como se empenhava nas causas, pela empatia e empenho no desenvolvimento das pessoas. Estas marcas ficam para sempre e deixam-nos a ambição de também nós as conseguirmos passar aos que ao longo da vida se cruzam conosco, ficam também as memórias agradáveis de tantos momentos em que convivemos e fica uma enorme saudade...

*Ana Dias*

*Administradora RTP*

*João Fonseca*

*CTO Inflammatrix; Chairman Biosurfit*

# Engenharia do que ainda não existe

(lembrando o Jorge Dias de Deus)

Teresa Peña<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior Técnico

Departamento de Física e Departamento de Engenharia e Ciências Nucleares

<sup>2</sup> LIP - Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas



## O estrangeirado

O Jorge Dias de Deus foi um dos vários estrangeirados da ciência portuguesa dos anos setenta do século passado, criados pelo cruzamento do provincianismo e repressão salazaristas com a perspicácia da “primavera” marcelista e de Veiga Simão na aposta no conhecimento e na educação.

Eram os anos 80 do século passado quando o Jorge Dias de Deus chegou ao Instituto Superior Técnico, como Professor Convidado. Lembro-me, no dia que o conheci, da gabardina bege e do chapéu de chuva preto elegante da *city*, que recordo como um dos seus “looks” habituais ao longo dos anos.

Tinha regressado a Portugal da neblina e chuva miudinha de Londres, onde realizou o Doutoramento na Universidade de Londres, e da neve de Copenhaga onde, depois foi colaborador do Instituto Niels Bohr.

Descreveu-me muitas vezes o Niels Bohr como uma “casa de família”, onde se discutia e criava ciência. Essa casa marcou-o. No Técnico replicou sempre que lhe foi possível a atmosfera de vivência “doméstica” da ciência, das discussões em grupo em torno de uma mesa.

A neblina e a neve do norte não mudaram a sua alma de alentejano de Elvas. Manteve sempre a chama alentejana, o sol de uma empatia natural, inquieta e reservada. Fazia frases curtas, perguntas acutilantes, tinha humor certo. Era um homem das vastas planícies bem iluminadas e dos grandes horizontes.

## O Sedutor

O Jorge Dias de Deus também cultivava a sedução. Reconheci-lhe muitas vezes atitudes que podemos classificar como “cool” (mais modernamente de “*influencer*”) à Richard Feynman. Nas décadas de 70 e 80 o mundo da Física Teórica podia dividir-se no que respeita as atitudes, entre a escola de Richard Feynman (Estados Unidos) e a escola de Lev Landau (União Soviética). A irreverência era comum aos dois padrões. O Jorge Dias de Deus adoptava claramente o estilo de Richard Feynman.

Feynman, em 1959, na palestra “*There is plenty of room at the bottom*”(1)(2) teve a coragem e imaginação para prever a era de Nanotecnologia, imaginando que “poderíamos organizar os átomos um por um, como quisermos”. O ponto para mim é que ciência e a tecnologia não são feitas só com matemática e procedimentos laboratoriais. Necessitam de saltos de visão, “saltos de ideias”, para encorajar e criar novos percursos (3). Para Richard Feynman, o rigor da ciência não o impediu de dizer que, no futuro, nano-robots iam ser usados em cirurgias, e enfrentar a crítica de fazer ficção científica. O subtítulo da publicação da palestra de Caltech é “*An invitation to enter a new field of Physics*”.

O Jorge Dias de Deus assimilou e exteriorizava esta pose à la Feynman, sendo bem distante da postura da escola russa. Vou justificar esta minha afirmação com diferentes situações concretas:

1) Com o olhar no horizonte longínquo (era o homem das planícies alentejanas...), o Jorge impulsionou dois cursos novos no Técnico fora do enquadramento dos ramos tradicionais da Engenharia: o curso de “Engenharia Física Tecnológica”, e, mais tarde, o curso de Engenharia Biomédica. Quando lhe perguntaram “O que é a Engenharia Física Tecnológica?” criou a fórmula mágica paralela ao “*There is plenty of room at the bottom*” de Feynman: “A Engenharia Física Tecnológica é a Engenharia do que ainda não existe”. Simples, não?

Quando o Jorge começou o processo que levou ao curso de Engenharia Biomédica, a reacção que ouvi de muita gente foi “Mas isso de Biomedicina ainda não existe”, “O que existe é Física Médica e Medicina!”, ou “Engenharia e Medicina num curso nunca se viu”. De facto viu-se, e em Portugal, mesmo antes de ter surgido no Imperial College por exemplo. O tempo desfez a resistência e fez-se história: ambos os cursos influenciaram decididamente o desenvolvimento da Investigação no Técnico, e em Portugal, em áreas de fronteira, e

também nas áreas “core” associadas aos dois cursos. A diáspora de graduados espalhados pelo mundo é assinalável.

2) Cerca de 30 anos antes da detecção das Ondas Gravitacionais e da “fotografia” de um buraco negro que fez sensação nos *media*, o Dias de Deus, um físico de fenomenologia das Partículas Elementares criou uma unidade de Investigação do Técnico, o Centra, um centro, a que chamou na sua criação o Centro Interdisciplinar de Astrofísica. Hoje o Centra, Centro para Astrofísica e Gravitacão, é um centro de excelência, já não multidisciplinar como no tempo do Dias de Deus, mas englobando também um ramo da Faculdade de Ciências e sendo uma referência internacional.

3) Feynman foi o autor de um modelo, o modelo de partões, para analisar colisões de altas energias entre hadrões (os protões dos núcleos dos átomos são o exemplo mais conhecido destas partículas). Os partões são constituintes (os quarks e gluões) ou aglomerados de constituintes, dependendo da escala a que se observam, dos hadrões. O que resulta das colisões a energia muito altas nos aceleradores de protões ou outros núcleos pesados são “chuveiros”, ou jactos de multipartículas, de partões. O Jorge Dias de Deus também trabalhou em modelos de partões e na independência dos resultados dessas colisões de certas variáveis adimensionais definidas como razões de grandezas cinemáticas (4) (uma propriedade designada por “*scaling*”).

4) Nas minhas colaborações com o Dias de Deus, quando eu queria explicar detalhes, dizia-me sempre que eu exagerava no formalismo. Obviamente, eu exasperava com o horror dele ao pormenor. As nossas discussões eram sempre sobre a importância ou falta do detalhe. E foi principalmente com ele que aprendi a depurar as ideias e procurar fórmulas simples para as formular. Isto é extremamente difícil em Física, mas para ele era natural. Era assim que ele acentuava a sedução pela ciência, o que o aproximava, à sua maneira, do padrão de Richard Feynman.

5) No editorial da 3.<sup>a</sup> edição do livro *Introdução à Física* (5) de que fui co-autora, ficou um testemunho da postura do Jorge, bem oposta a de Lev Landau --- cujos livros da coleção MIR eu devorei durante a minha licenciatura: “A *Introdução à Física* torna agora a aparecer, vinte anos depois, com novo vestuário: o de uma terceira edição, revista e aumentada ou revista e melhorada, como convém. No entanto, a ideia que esteve por de trás do livro mantém-se: conciliar a intuição com o rigor, (...) a intenção de aproveitar ao máximo o sentir que vem do contacto directo com as coisas, evitando barroquismos formais e inutilidades pomposas. Tudo num equilíbrio que se diria instável, com pedagogias algo suspensas, e resultados quase (ou tudo) nada imperfeitos.”

Nos anos de convivência com o Dias de Deus, fui aceitando esta ideia que se não deve ter receio do provisório. A ciência e o ensino de facto são processos dinâmicos em constante construção ou desconstrução. Para se investigar e ensinar, é necessário, usando as palavras de

Fernando Pessoa na personalidade de Alberto Caeiro, fazer “...um estudo profundo, uma aprendizagem de desaprender”.

## O Elogio da Ciência

Mas na verdade conheci o Jorge Dias de Deus, o DD como os amigos o tratam, antes de o conhecer.

Conheci-o através do livro “Ciência, Curiosidade e Maldição” (6) que li quando estava a fazer doutoramento. O livro define a origem da ciência: “Na origem da ciência moderna estiveram a curiosidade pelo saber e saber fazer. Estiveram também o gosto da aventura, pelo desconhecido, pelo fantástico”.

Que retive desse livro na altura? Que a ciência, sendo a base da tecnologia e da engenharia, nunca é neutra. O livro exemplifica a contradição profunda da ciência, criada pela tecnologia/engenharia que origina. A ciência liberta, resolve problemas humanos e cria problemas humanos: “É a fada boa que torna real o sonho infantil da curiosidade original. Por outro lado, a ciência é a fada má, a fada da maldição, a fada que manipula, que corrompe, que destrói” escreve o DD nesse livro.

Nada poderia ser mais actual e universal. Por exemplo, a revolução digital de base na Física, pode vir a transformar o “homo sapiens” em “homo” Deus. Temos nas pontas dos nossos dedos e nos nossos *smart-phones* o acesso imediato a informação praticamente infinita que algoritmos escondidos processam por nós. As nossas “extensões” digitais prolongam a nossa capacidade de lidar com grandes conjuntos de dados, “calculando” o que somos e o que são os outros. Esta revolução é muito mais poderosa que a Imprensa de Gutenberg e a Enciclopédia do Iluminismo de Diderot! É mais fácil e instantaneamente distribuída. Por isso é mais transformativa. E estamos a vivê-la.

Poderia ser apenas uma nova dimensão da nossa vida, agora prolongada ao ciberespaço, um espaço de colaboração para partilha informação e criação. Este espírito existe na Wikipedia, já madura, e onde há uma regulação livre de preconceito e validação da verdade. Poderia (ainda pode?) evoluir para um sistema de apoio à decisão perfeito, tornando-nos infalíveis, conhecedores de tudo e perfeitos como Deus, um novo espaço da mente.

Pode ser ou vir a ser isto tudo, mas trouxe consigo uma maldição. Os algoritmos escondidos nas redes sociais permitem a vigilância e a manipulação. E os sistemas políticos utilizam esta possibilidade. Há pessoas enganadas ao nível de grandes escolhas, em processos eleitorais, e enganadas na base das suas decisões pessoais.

Este exemplo dos dias de hoje mostra que a contradição “fada boa/fada má” da ciência descrita pelo Dias de Deus exige que justiça e a ética não fiquem separadas da ciência. Percebi bem a dualidade da ciência com esse livro do Jorge Dias de Deus.

O livro é ainda uma obra prima de humor. O último capítulo, a “Ceia dos Catedráticos” é uma paródia à “Ceia dos Cardeais” de Júlio Dantas. É uma verdadeira obra prima de imaginação. Estão três catedráticos juntos numa ceia. Mas em vez de, como os Cardeais do Dantas, “rememorar” com deleite os amores proibidos da juventude, os Catedráticos da versão Dias de Deus rememoram a “instigação” - leia-se investigação - que tanto os entusiasmou em jovens, e que é apresentada como foco de subversão. Em vez de “Ah como é diferente o Amor em Portugal” do Dantas, a Ceia dos Catedráticos acaba com “Ah, como é diferente a Ciência em Portugal! Cai o pano”.

Esta recriação à Dias de Deus da peça do Júlio Dantas tem o sal da crítica aos sistemas ditatoriais e burocráticos, como o que se tinha vivido em Portugal, que receiam a ciência e o conhecimento: “ (...) veio sua Eminência dizer-me que tivesse cuidado, que não barafustasse, que as paróquias são como são...enfim que me calasse” (6).

Hoje este receio da ciência existe? Os sistemas políticos aprenderam antes a usar a tecnologia para se fortalecerem (a guerra fria, a guerra das estrelas, etc) e agora com as redes sociais para localizar, vigiar, controlar opiniões e movimentos.

DD fez o elogio e a crítica da ciência para lá dos artigos científicos, através do ensaio e da divulgação.

Há dois tipos de divulgação da ciência: a da exibição das grandes descobertas, a da Ciência como espectáculo. A esta linha pertence a tendência moderna anglo-saxónica alicerçada em vídeos e *podcasts*, em produções cuidadas e bem estruturadas, como as da BBC por exemplo. Esta linha inclui hoje divulgadores excelentes e mediáticos, como Brian Cox e Jim Al-Khalili, por exemplo. É muito exigente de recursos.

A linha mais histórica (e económica nos recursos) é a de George Gamow (7), e em Portugal a de Rómulo da Carvalho (8), ou mais nos nossos tempos, a do humor de Carlos Fiolhais (9). Trata-se aqui de divulgação baseada na narrativa íntima de diálogo com o leitor. O DD pertenceu dominantemente à segunda categoria, pela força dos tempos, mas tinha o apetite aguçado pela primeira. Escrevia com ele artigos de divulgação na Gazeta de Física, mas fizemos também vídeos de animação de Física para a RTP2, com poucos recursos disponíveis, obviamente.

No entanto, o Jorge Dias de Deus distingue-se da postura de Rómulo de Carvalho que se delimita no percurso da observação à explicação. Referindo-se aos temas apelativos da ciência e tecnologias modernas, Rómulo de Carvalho justificou assim porque os exclui dos capítulos do livro “A Física no dia-a-dia”: “Julgo que seria exactamente sobre coisas que o meu amigo preferiria que eu lhe tivesse falado (...) nem o meu amigo supõe como seria difícil, quase impossível, fazer-lhe entender a razão do funcionamento dessas coisas (...)”. O Jorge Dias de Deus não tinha estas preocupações com o detalhe. Eram as ideias gerais e as grandes pinceladas que lhe interessavam.

### Cultivar novas ideias e competências

Quando entrei como docente no Departamento de Física poucos como o Dias de Deus compreendiam o papel fundamental da Fenomenologia para o avanço da Física. Esta visão inspirou muitos de nós. A fenomenologia faz avançar a Física, suscita a experiência e as grandes mudanças. Não pode ser vista como um simples ajuste de curvas a dados experimentais - veja-se a Lei de Planck e a Catástrofe do ultra-violeta e a origem da Relatividade Restrita e da Mecânica Quântica.

Fui co-autora com ele, de artigos e livros, um deles um livro de ensino (5). O DD juntou várias pessoas, muito diferentes, o Mário Pimenta, o Pedro Brogueira e a Ana Noronha e eu, para preparar esse livro visando o ensino da Física à Engenharia Informática. O Professor José Tribolet tinha “encomendado” ao DD um ensino diferente da Física para esse curso que estava a arrancar no Técnico. Assim nasceu a “Introdução à Física” (5) que estive à frente do seu tempo, mesmo em termos internacionais. Queríamos ensinar Física como quem conta uma história, e até recorrendo ao humor, e sem apresentar o ensino da Física compartimentado. A realidade é complexa e não é possível entendê-la sem atravessar as fronteiras entre a Mecânica, a Termodinâmica, o Eletromagnetismo e a Mecânica Quântica. O livro “*Physics for Scientists and Engineers*” do Serway, saiu na mesma filosofia. Mas foi posterior.

A Introdução à Física dedica um capítulo de aplicações e exemplos a resolver com recurso a ferramentas computacionais e não meramente analíticos. Podemos dizer que deixou a marca da antecipação da era de hoje da *Smart Education*, de novos padrões de ensino mais colaborativos e em rede, da mudança do estudante de espectador reactivo a actor pró-activo. O Jorge antecipava que as profissões emergentes precisavam de novas formações, de novos especialistas, de maior flexibilidade de formação, de versatilidade.

Quando levei a uma reunião europeia um resumo da “Introdução à Física” e das suas linhas orientadoras, a reacção foi tal que me incluíram de imediato numa equipa internacional para escrever um outro, agora de Física Nuclear: “*Nucleus: A trip into the heart of matter*”, publicado pela Johns Hopkins. O meu trabalho com o DD teve efeitos multiplicativos.

## Perguntar é essencial

O DD, como os cardeais do Dantas, apreciava a boa mesa. Era durante almoços e petiscos, em tertúlias ou em grupos mais pequenos, nos restaurantes na vizinhança do Técnico, a “Charrua do Lavrador” e no “Comprido”, que nasciam e se organizavam as iniciativas: livros, artigos, propostas de novos cursos no Técnico, como a Engenharia Biomédica, etc.

O livro “Einstein, Albert Einstein” (10) publicado pela Gradiva nasceu dessa forma.

Einstein era para ser visto, através desse título, como o James Bond da Física. O índice foi escrito num guardanapo de papel em menos de uma hora no fim de um almoço. “Não sabemos muito sobre a vida de Einstein”, disse eu. “Não faz mal, fazemos perguntas e vamos procurar as respostas.” Nesse ano, 2005, celebrava-se o centenário do “annus mirabili” dos artigos de Einstein - entre outros o do fenómeno que está na origem das células fotoelétricas hoje usadas de forma generalizada. Cada capítulo do livro é uma pergunta. Trabalhar com o DD era treinar fazer as perguntas certas, que conduzem a uma conclusão sempre.

Trabalhar com o DD era uma alegria, não era trabalho. A liberdade e a imaginação eram os princípios de base da colaboração com ele.

“A Luta continua”. Com esta frase fechava sempre ciclos, de derrotas ou sucessos. Nunca mostrou que ia desistir ou parar.

Abril 2021

### Referências

- [1] Feynman, R. P., “*There’s Plenty of Room at the Bottom*”, *Engineering and Science*, 22-36 (1960)
- [2] “Who was Richard Feynman and what did he actually say about nanotechnology?” Editorial, *Nature Nanotechnology* volume 4, page 781(2009)
- [3] Feynman’s fancy, Philip Ball, *Chemistry World*, 59, 2009 [https://www.rsc.org/images/Feynmans%20Fancy\\_tcm18-141620.pdf](https://www.rsc.org/images/Feynmans%20Fancy_tcm18-141620.pdf) (acedido em Abril 2021); <https://www.azonano.com/nanotechnology-video-details.aspx?VidID=114> (acedido em Abril 2021)
- [4] Jorge Dias de Deus, Multiparticle Production and Long Range Correlations in  $e^+e^-$  Annihilations and pp High-energy Collisions, *Phys.Lett.B* 177-181100 (1981).
- [5] Introdução à Física, de Ana Noronha, Jorge Dias de Deus, Teresa Peña, Mário Pimenta e Pedro Brogueira, 3ª edição, Escolar Editora (2012)
- [6] Jorge Dias de Deus, *Ciência Curiosidade & Maldição*, Coleção Ciência Aberta, ed. Gradiva, 1986.
- [7] George Gamow, *Mr Tompkins explores the atom*, primeira publicação em 1944; George Gamow, Roger Penrose (Foreword), *Mr Tompkins in Paperback* (Omnibus of Mr Tompkins in Wonderland and Mr Tompkins Explores the Atom), Cambridge University Press,
- [8] Rómulo de Carvalho, *A Física no dia-a-dia*, Relógio de Água Editores, 1995, 2ª edição 2007.
- [9] *Física divertida*, Carlos Fiolhais, Coleção Aprender/Fazer Ciência, Gradiva, 1999
- [10] Jorge Dias de Deus e Teresa Peña, *Einstein, Albert Einstein*, Coleção Ciência Aberta, ed. Gradiva (2005)



Teresa Peña, é professora Catedrática, em regime de “*Joint Appointment*” do Departamento de Física e do Departamento de Engenharia e Ciências Nucleares do Instituto Superior Técnico (IST) e Investigadora senior do LIP. Doutorada em

Física pelo IST, foi pós-doc na Universidade de Hannover, investigadora visitante do Jefferson Lab e professora visitante na Universidade de Ohio, nos Estados Unidos. Investiga o papel da relatividade nas interações e estrutura electromagnética de sistemas nucleares, que determina as taxas de reações fotonucleares nas estrelas. É autora de 4 livros, organizou exposições e várias conferências. O livro “*Nucleus - Uma viagem ao coração da matéria*”, ed. *Johns Hopkins*, foi traduzido para português, checo, húngaro, francês, sueco e coreano. Foi Presidente do Departamento de Física do IST e Presidente da Sociedade Portuguesa de Física. Foi eleita para a Comissão Executiva da Sociedade Europeia de Física, onde participa no Grupo de Trabalho “*Physics for Development*”, e é Presidente do Conselho Pedagógico do IST.

# Jorge Dias de Deus

Carlos Herdeiro

Departamento de Matemática, Universidade de Aveiro



Quando Isaac Newton morreu, em 20 de Março de 1727, foi enterrado na abadia de Westminster. O seu caixão foi carregado por membros da nobreza, num funeral digno de um rei. Alguns anos depois, o poeta Alexandre Pope escreveria como epitáfio

*“Nature and Nature’s laws lay hid in night; / God said, Let Newton be! and all was light.”*

Newton inspirou, e até assombrou, os seus pares. Pierre-Simon Laplace terá afirmado, com algum pesar, que “existia apenas um Universo, e por isso apenas um Homem poderia descobrir a sua lei fundamental”. Essa lei era a lei da Gravitação Universal, uma das grandes glórias de toda a ciência. E esse Homem foi Newton.

Volidos mais de dois séculos, no dia 18 de Abril de 1955, foi a vez de outro dos verdadeiramente grandes da ciência, Albert Einstein, partir. Num famoso cartoon, publicado no *Washington Post* do dia seguinte, Herber Block ilustrou a Terra vista do espaço com um cartaz onde se lê “Einstein viveu aqui”. Sim, o terceiro calhou a contar do Sol poderia perfeitamente ter esse cartaz como cartão de visita.

Einstein foi eleito “pessoa do século” pela revista *Time*, inspirou e continua a inspirar físicos e não físicos. É por muitos celebrado como o sucessor de Newton, sendo a sua contribuição maior, precisamente, destronar a lei da Gravitação de Newton com a sua extraordinária Relatividade Geral, uma obra de arte científica muito à frente do seu tempo.

Pessoas de ciência, e físicos em particular, orgulham-se de pertencer ao mesmo ofício de Newton e Einstein. Contudo, Newton “só viu mais longe por estar sobre ombros de gigantes”, como (no caso da sua lei da gravitação) Johannes Kepler, Tycho Brahe e outros. Também Einstein se empoleirou em Carl Friedrich Gauss, Bernhard Riemann, James Clerk Maxwell, Hendrik Lorentz, Hermann Minkowski, entre outros para descobrir a Relatividade Geral.

Os “monstros” da ciência são o topo de pirâmides, e nas pirâmides as bases têm de ser robustas. Transpondo para a realidade do Sec. XXI, a base da pirâmide que poderá ter

como vértice novos visionários da ciência é a educação científica.

A educação nas escolas, em todos os níveis de ensino e em particular nas Universidades é o fundamental para dar futuro à ciência. Mas também o é a educação do grande público, através da comunicação e divulgação de ciência. E este processo educativo estará mais próximo de criar os próximos visionários da ciência se conseguir fazer a ponte para aquilo que é fazer ciência, desmistificando esta atividade e mostrando-a como um contributo despretensioso, com regras de rigor, método e ética, para um esforço coletivo que busca o esclarecimento e o bem comum.

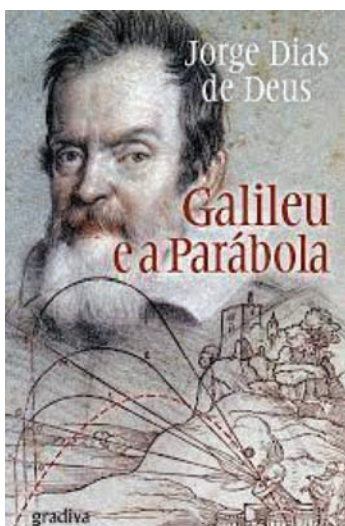
O nosso país tem um défice científico crónico, mas deve ter a legítima ambição de se elevar, também na ciência, à altura do melhor da sua História. Para esta elevação, o papel educacional nas suas várias vertentes, bem como a ponte com o trabalho científico assume ainda maior urgência e importância. E se hoje estamos (e certamente estamos) em muitas áreas a dar cartas a nível internacional, frequentemente com menores recursos e maiores incertezas, é porque alguns visionários, daqueles que constituem pilares da pirâmide, tomaram como missão mudar o panorama da ciência, do seu ensino e dos seus recursos, em Portugal, nas últimas décadas. E para o fazer, foi necessária uma mente aberta, inclusiva, multidisciplinar, empenhada na inovação educativa e na boa comunicação dessa ciência.

Jorge Dias de Deus fez precisamente este papel, com mérito e com resultados. A sua inovação formativa com os cursos superiores cuja criação estimulou e se tornaram referências nacionais; as suas iniciativas de comunicação com públicos alargados incluindo os seus livros de divulgação; e a sua atitude sagaz e multidisciplinar de constante estímulo e ênfase na investigação como parte natural e obrigatória da missão das Universidades, numa altura em que isso não era um dado adquirido na academia portuguesa, deixaram marcas que perdurarão bem para além da sua vida física.

As celebrações de vidas e legados são, antes de mais, homenagens a percursos com mérito, que inspiraram e tocaram outros seres Humanos. Mas apresentam-se, adicionalmente, como a oportunidade de relembrar que estes percursos podem e devem continuar a inspirar. E, no contexto do que é a ciência atual, futuras contribuições relevantes, em particular da comunidade portuguesa, necessitam de mais Jorge(s) Dias de Deus a pavimentar o caminho para o fortalecimento da ciência rigorosa como um pilar da nossa sociedade.

Acresce que, como está a ser mais uma vez comprovado durante esta pandemia, a ciência é a nossa grande arma civilizacional contra a fragilidade da nossa presença no Universo.

## Livros



### «Galileu e a Parábola»

de Jorge Dias de Deus, Gradiva, 2019, 89 p.,

ISBN 978-989-616-894-0

José Braga

Além de professor, Jorge Dias de Deus (1941-2021) foi também um divulgador científico preocupado com a difusão da atitude crítica e o aumento da cultura científica. Assim, além de uma «Introdução à Física» (2014), deixou seis livros de divulgação, o último dos quais é «Galileu e a Parábola», onde o autor expõe a sua visão empirista daquilo que é a Ciência e o seu método.

O livro é composto por sete capítulos. Nos primeiros quatro, são expostas considerações gerais sobre a Ciência, a técnica e o Homem; no quinto capítulo, parte-se do exemplo de Galileu e das suas experiências para ilustrar o método científico; no sexto, Dias de Deus dá exemplos da importância dos sentidos para o conhecimento científico e o último capítulo é uma breve conclusão. Encerra com um apêndice onde se expõe sinteticamente a visão mais difundida da relação entre o cientista italiano e a Astronomia. A obra está recheada de quadros, esquemas, figuras e gráficos onde o autor reconstitui os raciocínios de Galileu, ilustra as experiências que aborda e os instrumentos de que fala. Pensado desde 1976, nota-se que este livro resulta de longas reflexões expondo de forma simples raciocínios e práticas complexas. Para este engenheiro, «A ciência é o saber que está na origem do progresso e do desenvolvimento técnico moderno, um saber que é possuído, desenvolvido e aplicado pelos especialistas das várias especialidades científicas e técnicas.» (p. 15). Relaciona-se com a técnica e é desta, e das transformações do Homem, que nasce. Este conheceu transformações no seu cérebro e mão. Nenhum outro animal tem as

mãos que o Homem possui, com um polegar oponível. No cérebro, surgiu a capacidade de raciocinar e tomar decisões para o futuro, projetando necessidades. Enquanto o Homem é um animal que aprende técnicas, os outros animais repetem sem pensar e inovar algo que lhes é inato. O Homem é um animal social, capaz de descrever novas situações, expor ideias, reproduzir imagens. Criando técnicas os Homens obtêm novos conhecimentos. O saber dos técnicos e artesãos é parte do saber científico. Ajuda a Ciência a colocar os problemas práticos do futuro. Mas a Ciência tem também uma componente especulativa. A Ciência moderna nasce na Europa durante o século XVII, precisamente da união das tradições técnica e intelectual. Galileu representa a união entre o artesão e o intelectual.

No capítulo cinco, dá-se conta que que as perguntas de partida para o método científico devem ser simples, precisas e insistindo no quantitativo. O autor ilustra a sua visão com a mecânica e os exemplos da queda dos graves, do atrito e inércia transmitindo a importância das experiências científicas, previsão e extrapolação. Reconstitui as experiências e raciocínios que presidiram à descoberta desses fenómenos pelo cientista italiano e conclui que a Ciência ganhou importância pois é capaz de prever, contribuindo para transformar o mundo.

No capítulo seis, Dias de Deus releva a importância do Homem se ultrapassar, indo além dos sentidos, estudando fenómenos de dimensões diminutas ou enormes através de instrumentos apurados. Dá o exemplo das ilusões de óptica e de como a técnica alarga o campo de ação dos sentidos. Se o engenheiro alentejano chama a atenção para a objetividade, saber dependente de objeto de estudo e da quantificação, também sublinha que, se a explicação científica começa nas experiências e medições, não se esgota aí. A Ciência explica os resultados de medições e experiências para realizar previsões, criando novas situações. Assim, as leis científicas devem ser incluídas em teorias gerais, surgindo a teoria e as hipóteses. Estas podem mudar, ser substituídas e modernizadas, não existindo dogmas.

São assim características fundamentais do cientista a capacidade de simplificação e abstração, o engenho, a vontade de ir de encontro a necessidades, a habilidade manual, o esforço e concentração e o espírito crítico, conclui Dias de Deus.

A obra atinge os objetivos que se propõe «(...) dar uma ideia geral do que é a ciência; o que ela é mesmo; como nasceu; como funciona; como se liga ao que se vê, ao que se sente; como se liga à vida prática.» (p. 9) respondendo à curiosidade de pessoas de todas as idades e formações ao fornecer uma breve

introdução daquilo que é a Ciência e o seu método. Espelha as preocupações pedagógica e didáticas do seu autor recém-falecido. A melhor homenagem que se lhe pode fazer é ler e reler as suas obras.



José Braga, é Investigador do Centro Interuniversitário de História da Ciência e Tecnologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e professor do ensino secundário”.

**Let's**  
*Inspire*  
*people*

▪ Partículas e astropartículas ▪ Instrumentação, saúde e espaço ▪ Computação ▪ Ciência e Sociedade

O **LIP** é a instituição de referência em física experimental de partículas e tecnologias associadas em Portugal, e o parceiro português de referência do CERN. É um Laboratório Associado de âmbito nacional com cerca de 200 membros e pólos em Lisboa, Coimbra e Braga.

Deseja receber regularmente informação sobre actividades para escolas ou público geral?

Faça o pedido por e-mail para [lip-eco@lip.pt](mailto:lip-eco@lip.pt)



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO  
E FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS  
partículas e tecnologia

MAIS INFO

▪ [geral@lip.pt](mailto:geral@lip.pt) ▪ [www.lip.pt](http://www.lip.pt)

# Fontanários: brincando com a Física!

Constança Providência

CfisUC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra

## Material

- garrafa de plástico transparente
- agulha e palito de espetadas ou lápis afiado
- água
- fita-cola ou fita adesiva
- tabuleiro
- seixos

## Uma parábola de água

Certamente já observaste os repuxos de rega automática nos parques da cidade ou nos campos, os repuxos que no verão molham os canteiros, relvados ou campos. Ou até já terás pegado numa mangueira para regar as tuas plantas e, possivelmente, molhar os amigos que se colocaram pela frente... Já reparaste na forma do jato de água que sai da mangueira ou do tubo de rega? Sabes como debes orientar a mangueira para a água chegar mais longe?

Vamos fazer uma experiência muito simples que te permitirá observar o que se passa com a água que sai de uma pequena abertura, empurrada pela água que fica acima do buraco. Precisas de uma garrafa de plástico com a capacidade de 1,5 l e uma agulha. Enche a garrafa com água e fecha-a com a tampa. Coloca-a na horizontal, cola um pouco de fita-cola ou fita-adesiva a cerca de dois terços da altura da garrafa, e com uma agulha faz um buraquinho através da fita-cola e parede da garrafa tendo o cuidado de manter a agulha perpendicular à garrafa. Alarga o buraquinho um pouco com o palito. Segue

as indicações de acordo com a figura 1. Coloca a garrafa na vertical e tira a tampa. O que observas? Sai um jato de água da garrafa! Anota qual o seu alcance fazendo uma marca no tabuleiro com um seixo, e desenha no teu caderno a forma da curva que a água forma no ar (fig. 2). À medida que o tempo passa o que acontece ao alcance do jato?



Figura 2 - Repuxo obtido com um buraco na garrafa. Nota: O tabuleiro preto foi utilizado nesta e nas outras fotos para dar contraste e permitir ver-se o repuxo de água.

A forma da curva desenhada pela água é conhecida por uma parábola. É também a forma da trajetória de uma bola que jogas para um amigo.

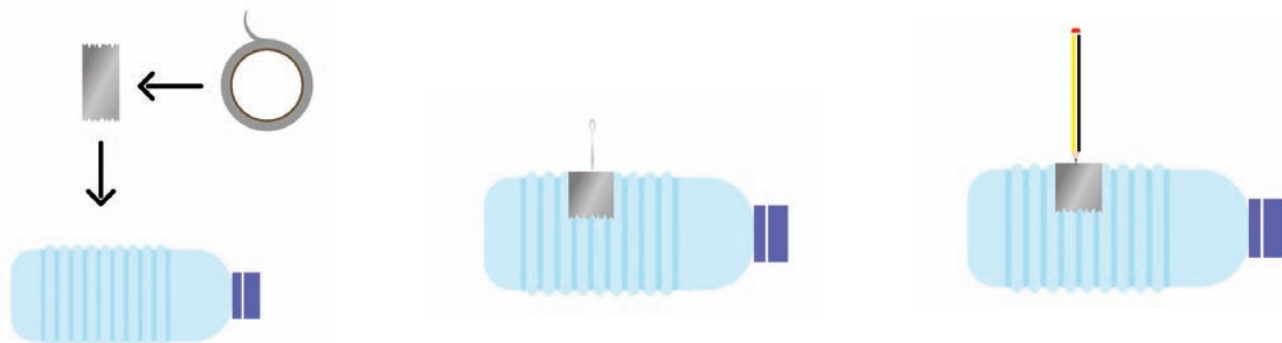


Figura 1 - Preparação e abertura de buraco na garrafa: a) colocar fita-cola; b) espetar com agulha; c) alargar buraco com palito.

E certamente verificas que à medida que o tempo passa o jato de água vai tendo um alcance menor até que o nível de água da garrafa atinge o buraquinho e deixa de sair. O que explicará este comportamento? Sai um jato de água da garrafa! Anota qual o seu alcance fazendo uma marca no tabuleiro com um seixo, e desenha no teu caderno a forma da curva que a água forma no ar (fig. 2). À medida que o tempo passa o que acontece ao alcance do jato?

Empurra a tampa da garrafa para fora da mesa deixando-a simplesmente cair. Ela cai na vertical e fica próxima da mesa. Agora volta a empurrar a tampa para fora da mesa dando-lhe um piparote, i.e. fazendo que saia da mesa com uma velocidade não nula. Onde é que ela cai? Vai cair afastada da mesa e tanto mais longe quanto maior for o empurrão que lhe tiveres dado. Se observares bem a queda da tampa verás que desenha no ar uma trajetória semelhante à que a água desenha. Então já percebemos: a água desenha uma parábola porque sai do buraquinho com uma velocidade não nula. Ora o físico italiano Torricelli, aluno de Galileu, mostrou que a velocidade com que a água sai é tanto maior quanto maior for a distância entre o buraco e a superfície da água na garrafa. Mas isto quer dizer que se fizeres um buraco abaixo do primeiro a água sai com uma velocidade maior e poderá atingir um alcance maior (fig. 3). Experimenta: faz um segundo buraco mais abaixo. E se quiseres, faz ainda mais abaixo um terceiro buraco.



Figura 3 - Fontanário com dois e três repuxos: quanto mais baixo está o buraco mais longe chega o repuxo.



Figura 6 - a) Fontanário com dois repuxos, com os buracos feitos com a agulha quase paralela à garrafa e cabeça virada para cima ou para baixo; b) Fontanário com a água a sair por um tubinho; c) Fontanário com dois repuxos a sair por tubinhos

Alguns conselhos práticos: se algum dos buracos ficar mal feito, por exemplo demasiado grande, coloca a garrafa na horizontal, limpa a garrafa em volta do buraco com um pano seco e coloca um pedaço novo de fita-cola ou fita-adesiva a tapar o buraco. Volta a fazer o buraco com a agulha e palito. Coloca a tampa sempre que quiseres preparar algo. Repara que com a tampa fechada, mesmo tendo buracos a água quase não sai da garrafa, porque o ar fora da garrafa impede que a água saia pelos buracos. Enquanto a água sai deverás ir enchendo a garrafa. Podes pedir a um colega que vá mantendo o nível da garrafa. O melhor é fazeres esta experiência ao ar livre ou numa varanda! Para fazer dentro de casa tens de arranjar uma bacia grande ou um tabuleiro onde colocas a garrafa.

A tua garrafa é como se fosse um fontanário. Podes melhorar o teu repuxo colocando com cuidado um pouco de uma palhinha fina ou um tubinho de borracha no buraco da garrafa (figuras 4 e 5). Repara na diferença do repuxo quando apontas o tubinho para cima, na horizontal, ou para baixo (fig. 6). Tens um efeito semelhante se fizeres o buraco com a agulha quase paralela à garrafa a apontar para cima ou para baixo. Ao mudares a orientação do

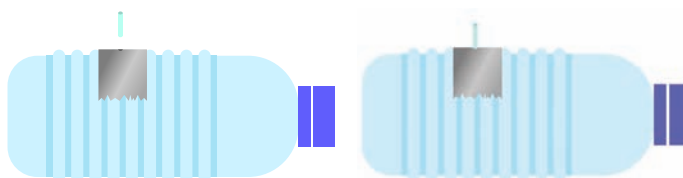


Figura 4 - Colocação de um tubo pequeno no buraco feito na garrafa, depois dos passos indicados na Fig. 1.

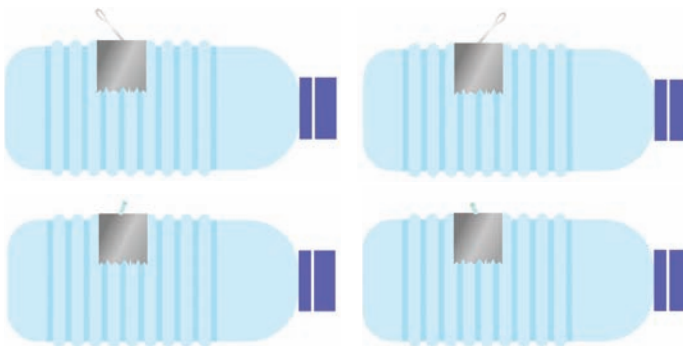


Figura 5 - Orientação do tubinho ou do buraco feito na garrafa.

tubo ou do buraco obrigas a água a sair numa direção diferente: o repuxo sai apontando para cima, na horizontal ou para baixo.

E agora proponho que faças o projeto de um fontanário com vários buracos, em posições diferentes de modo a teres repuxos que caem perto da garrafa e outros longe. Se em cada buraco que fizeres colocares um tubinho conseguirás orientar os esguichos na direção que desejares!



Legenda: *Manneken Pis*, fonte muito conhecida em Bruxelas incluída no livro Galileu e a parábola de Jorge Dias de Deus (Gradiva 2019), para exemplificar a trajetória de um objeto sujeito à força da gravidade (Créditos: Myrabella / Wikimedia Commons)  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Bruxelles\\_Manneken\\_Pis.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Bruxelles_Manneken_Pis.jpg)

*Jorge Dias de Deus foi um físico de partículas que gostava muito de física. Conseguia apresentar a física de um modo simples e claro, e, em particular, gostava muito de discutir a física dos fontanários tal como neste Vamos experimentar! Este Vamos Experimentar! É lhe dedicado.*

### **Agradecimentos**

Agradeço à Lucília Brito a revisão do texto e as suas ótimas sugestões e à Rita Wolters os lindos desenhos gráficos que ilustram a explicação.

# notícias

## Aconteceu

### Ações de Formação

No primeiro semestre de 2021, a Sociedade Portuguesa de Física realizou duas Ações de Formação para professores do grupo 510 do 3.º ciclo e do ensino secundário:

**Luz, Som e Circuitos Elétricos**, de 12 horas, de componente experimental dominante, realizada por videoconferência, com a colaboração dos Departamentos de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e da Universidade da Beira Interior. Participaram 19 colegas.

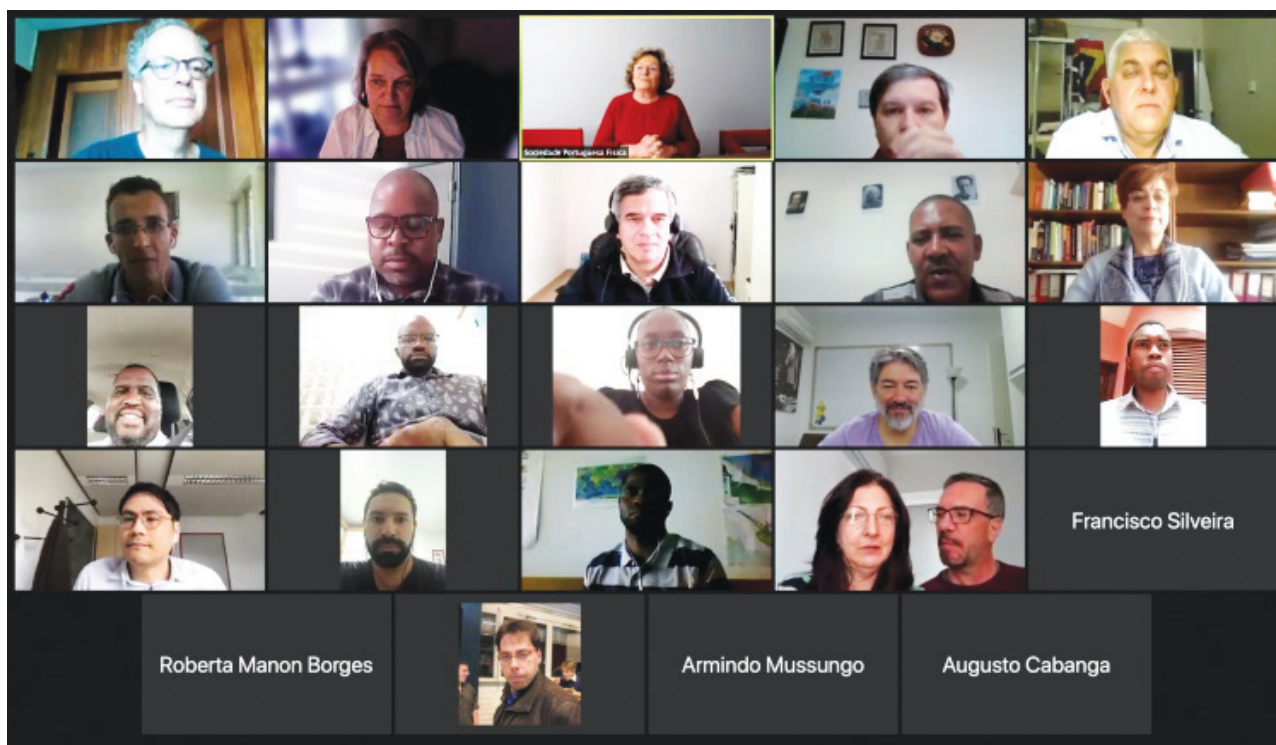
**Buracos negros: conceitos físicos, evidência astrofísica, história e estórias**, de 12 horas, realizada por videoconferência, com a colaboração do Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro. Participaram 21 colegas.

## Olimpíadas Regionais

A fase regional das Olimpíadas de Física, devido à situação de pandemia, decorreu de forma online no dia 10 de abril de 2021. A Sociedade Portuguesa de Física, uma vez mais, adaptou-se à realização deste evento de forma remota, mobilizando professores e alunos. Numa situação muito atípica, estiveram envolvidos nesta atividade 232 alunos do 9º ano e 245 alunos do 11.º ano.

## A União de Físicos de Países de Língua Portuguesa celebrou o Dia Mundial da Língua Portuguesa

A UNESCO declarou o dia 5 de maio como o Dia Mundial da Língua Portuguesa. A União de Físicos de Países de Língua Portuguesa - UFPLP, da qual a Sociedade Portuguesa de Física é sócia institucional, celebrou esse dia juntando-se à realização de um Painel sobre “A Física nos Países de Língua Portuguesa”, que ocorreu às 14:00, hora de Lisboa, no dia 5 de maio e participaram meia centena de Físicos de Angola, Brasil, Cabo Verde, Moçambique Portugal, São Tomé e Príncipe e Timor - a programação pode ser vista na página da União: [www.ufplp.org](http://www.ufplp.org) e o registo do evento no YouTube



## PLANCKS 2021 - Um *spin* nas competições de física

Centenas de estudantes de física universitários de 42 países reuniram-se online durante 4 dias para resolverem 12 problemas desafiantes de física

A *Physics League Across Numerous Countries for Kick-ass Students* (PLANCKS) é uma competição internacional de física destinada a equipas de alunos de licenciatura e mestrado. É um evento de três/quatro dias que contém várias atividades científicas e sociais durante o qual os participantes são encorajados a descobrir diferentes áreas de investigação e indústria, bem como a cultura e o ambiente científico do país anfitrião do evento. A 8.<sup>a</sup> edição da PLANCKS ocorreu de 6 a 9 de maio pela primeira vez digitalmente, organizada por uma equipa de estudantes e alumni da Universidade do Porto (figura 1).



Figura 1 - Alguns dos membros do Comité Organizador © Márcio Lima, PLANCKS 2021

A PLANCKS foi criada em 2014 pela *International Association of Physics Students* (IAPS), por uma equipa de estudantes holandeses. O objetivo era estudantes de física de todo o mundo terem a oportunidade única de interagir entre si, fomentar colaborações internacionais e estimular o seu desenvolvimento pessoal, criando-se então um ambiente de troca de ideias e experiências, assim como de superação de desafios. Para além da competição, o evento ofereceu diversas atividades sociais e científicas, como um simpósio com oradores de re-

nome internacional como Stephen Hawking (figura 2),

Desde esta primeira edição, que a PLANCKS é um dos grandes eventos da IAPS, organizado todos os anos com o mesmo formato. A cidade de acolhimento e o comité organizador, constituído por estudantes membros da IAPS, após submissão de uma candidatura, são eleitos para organizar o evento. Assim, em 2019, o Núcleo de Física da Universidade do Porto, PhysikUP, foi eleito



Figura 2 - Simpósio de abertura do PLANCKS 2014 em Utrecht, Holanda. Palestra pelo Professor Stephen Hawking. © PLANCKS 2014 Organizing Committee, 2014



Figura 3 - Comité organizador do PLANCKS 2021 apoiando o seu andamento online, num dos dias do evento © Márcio Lima, PLANCKS 2021



Figura 4 - Um dos Digital Coffee Breaks do evento. © Márcio Lima, PLANCKS 2021

para organizar e receber a edição de 2021. No entanto, devido à pandemia, o Comité Organizador teve que se adaptar, organizando deste modo a primeira edição *online* desta competição (figura 3). Uma edição online da PLANCKS, no entanto, não é uma tarefa fácil. Para além das dificuldades inerentes à organização de um evento *online*, o Comité Organizador teve que adaptar o evento presencial ao formato online garantindo não só que o espírito de um evento presencial permanecesse, como também incluindo participantes de todos os pontos do mundo, sendo este um dos grandes objetivos para esta edição tão especial. Assim, o Comité Organizador criou a ideia do PLANCKATHON, ou seja, uma maratona PLANCKS. A competição durou 36 horas seguidas em vez das 4 horas tradicionais, sendo que qualquer estudante, independentemente do seu local, podia tentar resolver os 12 problemas propostos. Além disso, o programa teve atividades 24 sobre 24 horas, como palestras, *workshops* e *Digital Coffee Breaks* (figuras 4 e 5), para que ninguém perdesse nenhuma das partes do evento. Com um programa inclusivo e um formato *online*, o Comité organizador conseguiu então atrair 200 competidores, 150 observadores da competição e 30 voluntários, estudantes de 63 países diferentes de todos os continentes do planeta, que se mantiveram quase sempre online durante os 4 dias do evento.

Esta adaptação não diminuiu também a componente científica do evento, sendo que pelo contrário, esta foi ainda mais aprimorada. Nove palestrantes, pelo menos dois por continente/fuso horário, deram palestras enriquecedoras e inspiradoras. Jocelyn Bell Burnell, por exemplo, falou do seu percurso académico e das dificuldades que superou durante o seu ensino universitário, tendo sido uma das palestrantes que mais atraiu os participantes. Além disso, a Professora Petra Rudolf (ex-presidente da *European Physical Society*) e a Professora Elvira Fortunato, deram a palestra de abertura e encerramento do evento, tendo sido também das palestras preferidas dos participantes.

No entanto, no centro deste evento encontra-se a competição em si. Para isso, professores e estudantes de doutoramento da Universidade do Porto criaram 12 problemas de física desafiantes de diversas áreas, desde nanotecnologia a guias de onda, passando por exoplanetas e bolhas de sabão. Após correção das resoluções apresentadas pelos participantes, muitas imaginativas e engraçadas, 3 equipas conquistaram os lugares do pódio. O segundo lugar foi para uma equipa alemã, sendo que o primeiro e terceiro lugares foram ganhos por equipas inglesas, representantes das Universidades de Oxford e de Cambridge, respectiva-



Figura 5 - Um dos *Digital Coffee Breaks* do evento. © Márcio Lima, PLANCKS 2021

mente. Como não podia deixar de ser, estas três equipas ganharam prémios monetários proporcionais à constante de Planck, sendo que o primeiro lugar ganhou cerca de 527 €. Todavia, mesmo as equipas que não ganharam um lugar no pódio expressaram que o evento foi uma mais valia para o seu crescimento profissional e pessoal, tendo até havido participantes a referir que gostariam de continuar os seus estudos em Portugal.

A PLANCKS 2021 foi um evento realizado em circunstâncias extraordinárias. Apesar de tudo, conseguiu-se tirar o maior partido possível da competição no formato *online*, que, segundo quem participou, foi um sucesso, compensando assim toda a dedicação e trabalho árduo do Comité Organizador. Deixa-se assim também já o convite a estudantes que estejam interessados em participar nas próximas edições. Em 2022, a PLANCKS vai ocorrer em Munique, na Alemanha, sendo que poderão experimentar, desta forma, a grande e fantástica comunidade que o mundo da Física tem. Para mais informações sobre o evento, palestrantes e outras atividades, o website do evento (<https://2021.plancks.org/>) pode ser consultado, tal como as redes sociais do evento (@plancks2021).

Sofia Ferreira Teixeira

Coordenadora do Comité Organizador da PLANCKS 2021, Estudante de Doutoramento em Física na Universidade do Porto,

Alexandra Oliveira

Preliminaries Manager do Comité Organizador da PLANCKS 2021, Estudante de Licenciatura em Física na Universidade do Porto.

Duarte Graça

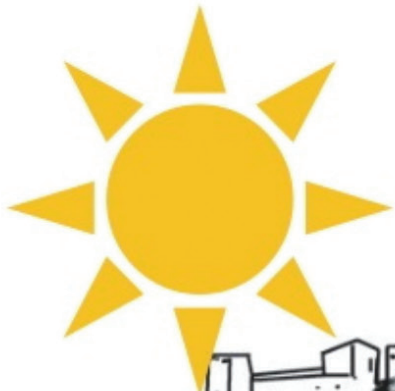
*Outreach Manager* do Comité Organizador da PLANCKS 2021, Estudante de Mestrado em Física na Universidade do Porto.

#### Informações adicionais

A Sociedade Portuguesa de Física foi uma das entidades que permitiram a realização do evento à qual muito agradecemos.

O PhysikUP (Núcleo de Física, Engenharia Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) é o núcleo de estudantes de física da Universidade do Porto que promove atividades de cariz científico e social tanto dentro como fora da universidade, dinamizando assim a física e a vida estudantil dos estudantes de física. Mais informações sobre o mesmo podem ser encontradas em: <https://www.fc.up.pt/physikup/>

A IAPS é uma umbrella organisation de associações locais e nacionais de estudantes de física, tendo como motto *For Physics Students, by Physics Students*. Promove anualmente, não só a PLANCKS, mas também a *International Conference of Physics Students* (ICPS) e outras atividades. Mais informações em: <https://www.iaps.info/>

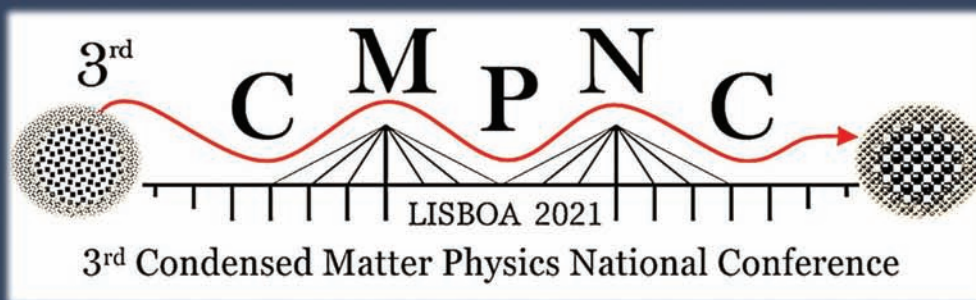


## 8º Encontro de Professores de Física e Química

Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora  
9 e 10 de setembro de 2021



Mais informações em: [8enpfq@spf.pt](mailto:8enpfq@spf.pt) ou <https://8enpfq.sci-meet.net/>



<https://cmpnc2021.sci-meet.net/>



Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

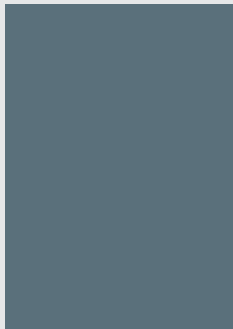
# TABELA PUBLICIDADE GAZETA DE FÍSICA



1 - Verso Capa



2 - Contracapa



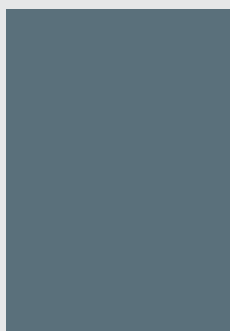
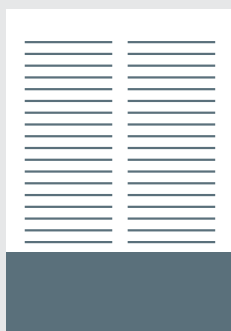
3 - Página



4 - 1/2 Página



5 - 1/4 Página



6 - Destacável/folha



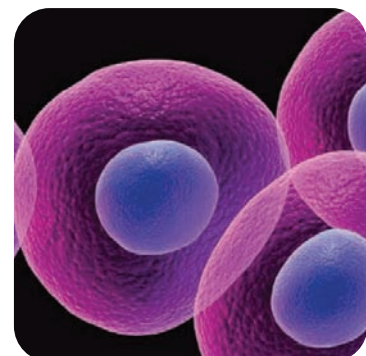
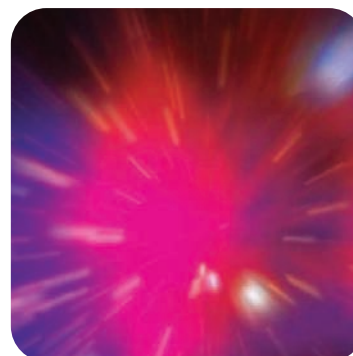
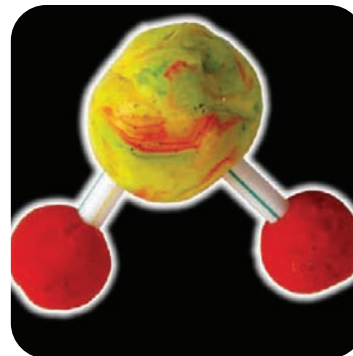
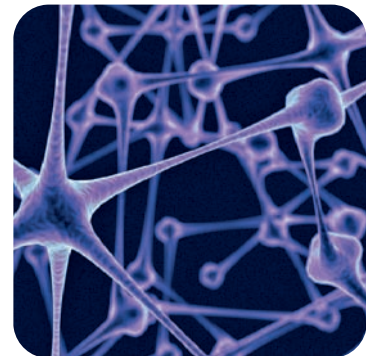
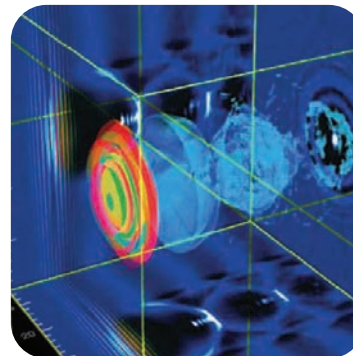
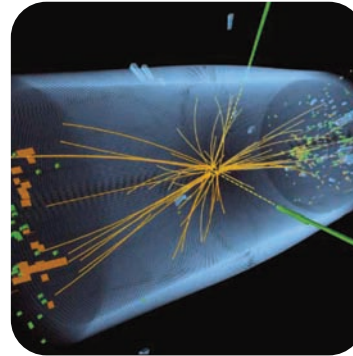
7 - Rodapé

## Tabela (acresce IVA)

1 - 1.500,00 €	Descontos
2 - 2.000,00 €	Sócios coletivos - 20%
3 - 800,00 €	Quantidade
4 - 600,00 €	2 x 20%   3 x 30%   4 x 40%
5 - 400,00 €	Tiragem: 3000 exemplares
6 - 1.500,00 €	Consulta online 15000 (C/CPLP)
7 - 100,00 €	Facebook ~40000 (C/CPLP)



Para os físicos e amigos da física.  
WWW.GAZETADEFISICA.SPF.PT



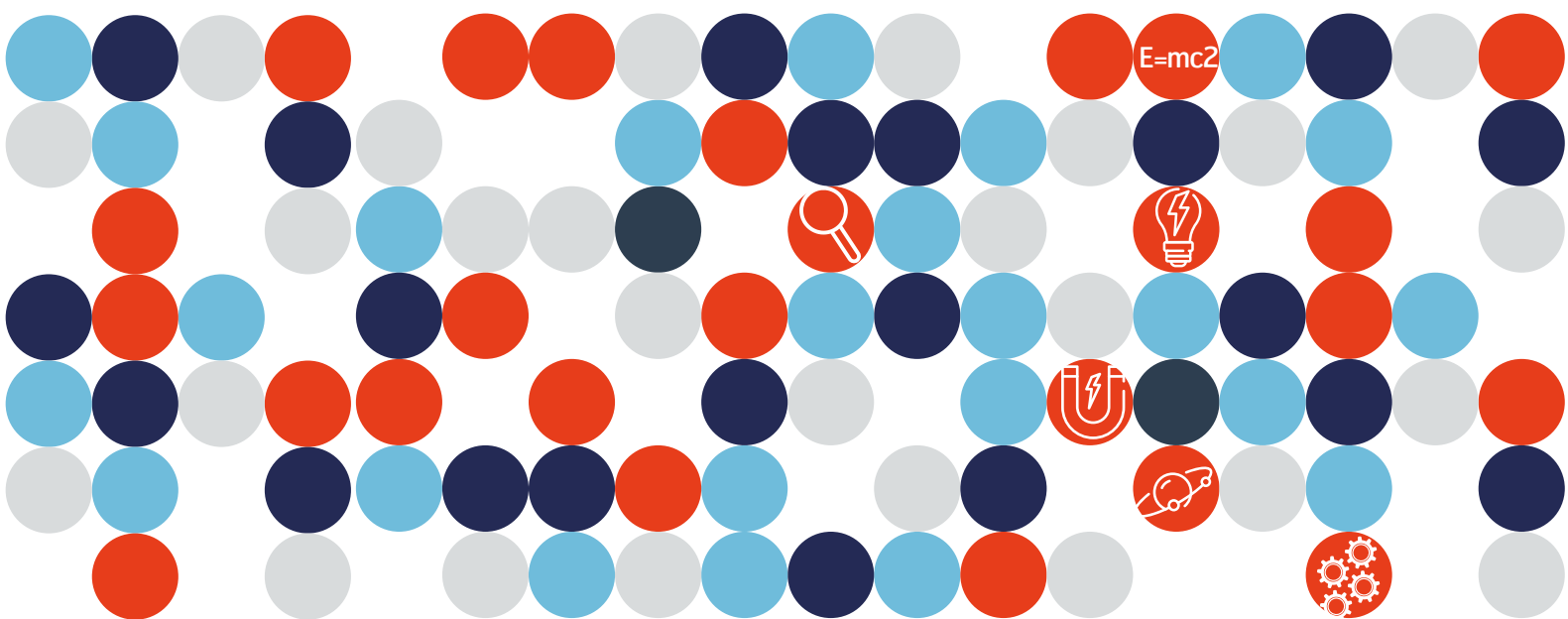
## CONTACTOS:

Sociedade Portuguesa de Física  
Av. da República, 45 - 3º Esq. | 1050-187 Lisboa  
Telef.: 217 993 665 | spf@spf.pt

# PRÉMIOS DE INCENTIVO DA EXCELÊNCIA

no ensino da física no 3.º ciclo  
e secundário

- PRÉMIO RÓMULO DE CARVALHO
- PRÉMIO ANDRÉ FREITAS
- PRÉMIO LÍDIA SALGUEIRO



[www.spf.pt/premios](http://www.spf.pt/premios)

com o apoio:

