

# O Nobel da Física de 2019 - Exoplanetas, Cosmologia Física

150 anos da Tabela Periódica

Centenário do eclipse de 1919: Einstein, Eddington  
e o Eclipse no Príncipe. A expedição brasileira para  
observação do Eclipse

As regras do novo SI

# Índice

## 1 Editorial

artigo geral

### 2 Um Nobel de outros mundos

Nuno C. Santos

artigo geral

### 8 Um prémio Nobel, para a Universalidade da Física

Carlos A. R. Herdeiro

artigo geral

### 12 Uma celebração operática da Tabela Periódica no sesquicentenário da sua criação

João Paulo André

artigo geral

### 19 Expedição brasileira para a observação do eclipse de 29 de maio de 1919

Luís Carlos Bassalo Crispino, Carlos Henrique Veiga

inovação

### 26 Einstein e Eddington e o eclipse no Príncipe: Celebração e ciência 100 anos depois

José P. S. Lemos, Carlos A. R. Herdeiro, Vítor Cardoso

artigo geral

### 33 Uma introdução sobre as regras de escrita das Unidades de medida e Grandezas segundo o SI

Olivier Pellegrino, Sílvia Gentil

sala de professores

### 45 Medição direta do comprimento de onda e indireta do valor da velocidade do som no ar

Albino Rafael Pinto, Carlos Saraiva

sala de professores

### 49 Modelo mecanístico de roldanas

Aires Vinicius Correia da Silveira

sala de professores

### 52 Formação inicial de Professores de Física e Química

Mónica Baptista

vamos experimentar

### 53 A descoberta dos exoplanetas!

Constança Providência

livros e multimédia

### 55 Lopes, Q. «A Europeização de Portugal Entre Guerras - A Junta de Educação Nacional e a Investigação Científica»

José Braga

## 57 Notícias

- Celebração do Dia Mundial da Ciência para a Paz e Desenvolvimento
- Criação da União dos Físicos dos Países de Língua Portuguesa – UFPLP
- Olimpíadas da Física
- Professores Premiados em 2019
- Curso “Regional Training Course on Quality Assurance and Dosimetry in Computed Tomography” e comemoração do “Dia Internacional da Física Médica”

## CRÉDITOS

Imagem da capa: Mapa de exoplanetas com referência aos asterismos das constelações. © Planetário do Porto/Paulo Pereira.

Desde há muito que o universo tem fascinado a humanidade. Ao longo das gerações, olhando para as estrelas, diferentes civilizações têm-se questionado de que é feito o universo; qual o seu tamanho; que lugar ocupa nele a Terra. Desde cedo que os seres humanos se aperceberam da existência de padrões e ciclos nos movimentos dos diferentes objetos celestes. Por um lado, observaram astros que executam percursos alargados ao longo do céu (os planetas). Por outro, aperceberam-se da existência de um fundo de estrelas “fixas”, que se movem em conjunto na esfera celeste. Seguindo as posições delas, foi possível desenvolver, entre outros, calendários, tão importantes para a previsão do desenrolar das estações ano, e métodos de orientação para viagens marítimas.

Do ponto de vista da Ciência, e em particular da Física, até ao início do século XX o universo era visto como estático e imutável. No entanto, esta visão tem mudado muito. Desde os anos 20 que mais e mais experiências mostraram que o universo não é estático e se encontra em expansão. Para explicar estas observações foi fundamental o desenvolvimento da Relatividade Geral de Einstein, para cujo reconhecimento tanto contribuíram as expedições de observação do eclipse de 1919 em Sobral, no Brasil, e na ilha do Príncipe. Essas expedições são aqui lembradas neste número da Gazeta. Por sua vez, métodos de observação cada vez mais poderosos e precisos têm mostrado a existência de objetos celestes desconhecidos até recentemente. Perante um universo tão vasto revelado pelos instrumentos de observação, voltamos de novo às questões antigas. Qual a evolução do universo? Qual o nosso enquadramento nele? Haverá vida para lá da Terra? Perguntas como estas

têm fascinado os cientistas, como mostra a famosa equação de Drake e os estudos associados aos seus parâmetros, o desenvolvimento do projeto SETI e a procura de vida extraterrestre.

O trabalho desenvolvido pelos investigadores que receberam o prémio Nobel da Física de 2019 ajuda a avançar um pouco mais nas respostas a estas questões. Em 2019 o prémio Nobel da Física de 2019 foi atribuído a James Peebles, Michel Mayor e Didier Queloz por “contribuições para a compreensão da evolução do universo e do lugar da Terra no cosmos”. James Peebles foi premiado pelas suas importantes contribuições para o desenvolvimento da Cosmologia Física. Por sua vez, Michael Mayor e Didier Queloz receberam o Nobel da Física pela descoberta do primeiro planeta existente para lá do sistema solar - um exoplaneta. Nesta edição da Gazeta, Nuno Santos e Carlos Herdeiro recordam-nos o percurso dos premiados e os trabalhos que desenvolveram, bem como as ideias inovadoras que trouxeram para a ciência.

Também neste número aproveitamos para comemorar os 150 anos da tabela periódica, evocados em 2019. Nele, João Paulo André mostra-nos o quanto a tabela periódica já entrou no imaginário de todos nós e na cultura contemporânea, como se pode ver pelas numerosas óperas que têm sido realizadas em torno dos seus elementos. Neste número fechamos, também, a série dedicada ao novo Sistema Internacional de Unidades, com um artigo que apresenta detalhadamente as regras de escrita da expressão dos resultados de medição.

Boas leituras



## Ficha Técnica

### Estatuto Editorial

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

### Propriedade | Sede | Redacção

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

Registo ICS 110856

ISSN 0396-3561

Depósito Legal 51419/91

Tiragem 1 000 Ex.

### 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.

# Um Nobel de outros mundos

Nuno C. Santos

Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, CAUP, Rua das Estrelas, 4150-762 Porto

Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 4169-007 Porto

## Resumo

A descoberta de outros mundos, planetas a orbitar outros sóis, apaixonou filósofos e cientistas ao longo de toda a história da humanidade. A curiosidade associada inspirou livros e filmes, tornando-se parte do imaginário de todos nós. O prémio Nobel da Física deste ano premiou quem ousou mostrar-nos que de facto esses mundos existem, uma descoberta que abriu caminho para o que é hoje uma das áreas de maior impacto na astrofísica moderna.

## Introdução

Ao longo de grande parte do século XX, diversos foram os esforços para procurar outros “sistemas solares” [1]. Mas, até meados dos anos 90 do século XX, a dúvida pairava de forma incómoda entre os investigadores. Alguns estudos apontavam mesmo para a raridade dos sistemas planetários [2]. Mas será que estávamos mesmo sozinhos neste Universo tão vasto?

Em 1995 tudo mudou, quando os astrónomos suíços Michel Mayor e Didier Queloz anunciaram a deteção de um planeta gigante semelhante em massa a Júpiter [3] a orbitar uma pequena estrela parecida ao Sol (de nome 51 Pegasi, fig. 1) e que se encontra a uns meros 50 anos-luz do nosso Sistema Solar. A descoberta foi possível através de um método que os astrofísicos chamam de “velocidades radiais” (fig. 2). O princípio é simples, e tinha já sido proposto nos anos 30 do século XX [4,5]. Quando uma estrela tem um planeta em sua companhia, a ação gravitacional deste leva a própria estrela a percorrer uma órbita no espaço em torno do centro de massa do sistema. Na verdade, ambos os corpos (planeta e estrela) dançam em torno um do outro. Assim, e visto por nós, a estrela vai parecer afastar-se a aproximar-se de nós, à medida que rodopia em torno do seu companheiro.

Sabemos também que, quando um objeto se afasta de nós, a sua luz (o seu espectro de radiação eletromagnética) fica mais vermelho. Quando se aproxima, fica mais azul. Para medir estas variações de Doppler (que são muito subtis), os astrofísicos utilizam um espectrógrafo, um instrumento capaz de decompor a luz das estrelas nas suas várias cores. A análise dos dados permite perceber se o espectro que está a ser observado num dado instante está mais azul ou mais vermelho do que era esperado. A diferença de “cor” permite medir a velocidade da estrela, ou a sua variação, na direção da linha que a une ao observador (a direção “radial”).

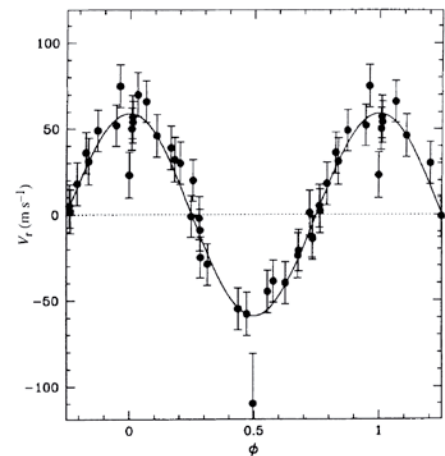


Figura 1 - Curva de velocidades radiais da estrela 51 Pegasi que levou à descoberta do primeiro exoplaneta conhecido a orbitar uma estrela semelhante ao Sol. Por conveniência, os dados são apresentados em função da fase orbital (e não em função do tempo). O sinal observado indica a presença de um planeta com uma massa equivalente a ~50 % a massa de Júpiter numa órbita de curto período (4,2 dias). Tirado de [3].

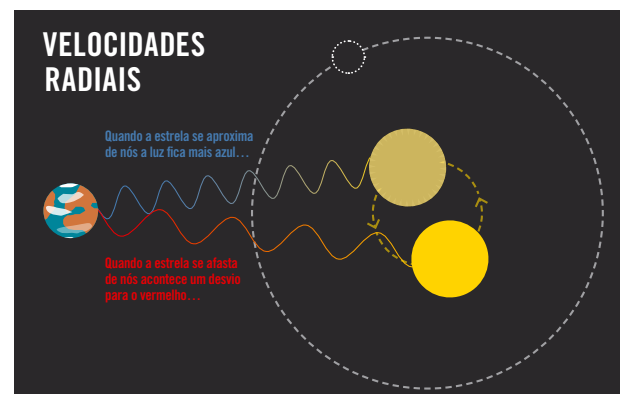


Figura 2 - Ilustração do princípio do método das velocidades radiais. Copyright: Planetário do Porto / Paulo Pereira.

Assim, se ao observarmos uma estrela detetarmos variações periódicas na velocidade radial podemos suspeitar que esta deverá ter um companheiro que a faz “oscilar”. A amplitude do sinal observado informa-nos sobre a massa deste.

Note-se que, para medir a velocidade de uma estrela com grande precisão, temos de ter uma referência de comprimento de onda. No caso de uma estrela



semelhante ao Sol, podemos para o efeito utilizar as numerosas riscas espectrais observadas no seu espectro. Estas são produzidas por transições eletrónicas em átomos e iões de vários elementos químicos presentes na sua atmosfera, cujo comprimento de onda é bem conhecido.

### O desafio das velocidades radiais

Apesar do conceito ser simples, utilizar a técnica das velocidades radiais para detetar planetas a orbitar outras estrelas não é uma tarefa fácil. Em primeiro lugar, a amplitude do sinal esperado aumenta com a massa do planeta e é inversamente proporcional à distância orbital. Assim, a técnica das velocidades radiais é mais sensível a planetas de grande massa e período orbital curto. A deteção de uma outra Terra a orbitar outro sol não é assim uma tarefa fácil. Para referência, Júpiter, o maior planeta do Sistema Solar (tem o equivalente a 318 vezes a massa da Terra), induz no Sol um movimento com uma amplitude de apenas 13 m/s. Já a nossa “pequena” Terra induz um sinal de apenas 10 cm/s. Em comprimentos de onda visíveis pelo olho humano (a 6000 angströms), medir um sinal com esta amplitude é equivale a distinguir dois espectros que estão separados de uns meros  $2 \times 10^{-5}$  angström.

Durante várias décadas, o desafio tecnológico para se atingir este tipo de precisão impediu a deteção de exoplanetas utilizando esta técnica. Os melhores espectrógrafos existentes na década de 1980 permitiam atingir precisões de apenas algumas dezenas ou centenas de m/s. No entanto, tal permitia detetar e estudar sistemas binários de estrelas, um tema que ainda hoje tem grande relevância científica. Foi aliás com esse objetivo que vários espectrógrafos foram desenvolvidos, alguns deles pela equipa de Michel Mayor.

Em 1995, o avanço tecnológico, em particular o aparecimento dos detetores de CCD, tinham já permitido construir espectrógrafos capazes de determinar a velocidade radial de uma estrela com uma precisão de aproximadamente 10 m/s. A descoberta de planetas gigantes, semelhantes a Júpiter, estava finalmente ao alcance dos astrofísicos.

Foi justamente com esse tipo de precisão, utilizando o espectrógrafo ELODIE (um instrumento desenvolvido sob a liderança de Michel Mayor) que a equipa suíça deu um passo de gigante na “descentralização” da humanidade. Não só a Terra (com todos os problemas que dominam os telejornais) orbitava uma estrela pequena e normal (o Sol), como se descobria que pelo menos uma outra estrela parecida com o Sol tinha um planeta à sua volta.

Inspirado no nome da sua estrela, o novo planeta (o primeiro planeta extrassolar, ou exoplaneta, a ser descoberto) recebia o “pomposo” nome de 51 Pegasi b (o “b” denuncia o companheiro)<sup>1</sup>. Mas a falta de imaginação que os cientistas têm para dar nomes aos planetas contrasta com a importância científica e

sociológica da descoberta.

### O primeiro impacto

Na realidade, a descoberta de Mayor e Queloz não se limitou a anunciar o primeiro exoplaneta. O 51 Pegasi b é aquilo que em 1995 os astrónomos chamavam de “impossível”. Trata-se de um planeta gigante gasoso, como Júpiter. Mas ao contrário do gigante do Sistema Solar, o 51 Pegasi b está muito perto da sua estrela: o semieixo maior da sua órbita tem uma dimensão de apenas 0,05 unidades astronómicas, o que lhe confere um período orbital de apenas 4,2 dias. Com uma órbita tão pequena, espera-se que estes planetas sejam muito quentes. Esse facto deu aos planetas gigantes de curto período orbital, dos quais o 51 Pegasi b é o primeiro exemplo, a alcunha de “Júpiteres quentes”.

O problema desta descoberta era que todos os modelos existentes à época, e inspirados no único sistema planetário conhecido (o Sistema Solar), sugeriam que os planetas gigantes gasosos se formavam longe das suas estrelas. De acordo com o modelo mais aceite, um planeta gigante forma-se pela acreção de gás em torno de um núcleo sólido previamente formado. Para que este processo ocorra, ou seja, para que o gás possa colapsar no núcleo (por um processo de instabilidade de Jeans), este tem de ter o equivalente a ~10 vezes a massa da Terra. Ora, sabemos também que os elementos mais abundantes no Universo, para além do hidrogénio e o hélio, e que existem naturalmente na forma gasosa, são o carbono, o oxigénio e o azoto. Estes três elementos tendem a formar gelos (e.g. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), mas estes só podem existir na forma sólida longe da estrela, onde as temperaturas são mais baixas. No caso do Sistema Solar, tal apenas ocorre a distâncias superiores a ~2,7 unidades astronómicas do Sol. Assim, apenas longe da estrela temos material sólido em abundância suficiente para formar os núcleos dos planetas gigantes.

Em resumo, pelo conhecimento existente em 1995 era virtualmente impossível imaginar a existência de um planeta gigante tão perto da sua estrela. Mas Mayor e Queloz não se deixaram iludir pelos “preconceitos” existentes, e decidiram que era altura de os pôr em causa. Estavam realmente convencidos que o que estavam a detetar nos dados era realmente o sinal produzido pela presença de um planeta.

O tempo e a ousadia deram-lhes razão: 24 anos depois deram-lhes também o reconhecimento do prémio Nobel da Física. Logo em 1996, uma equipa de astrofísicos norte-americanos publicou um artigo [6] em que mostrava, utilizando modelos teóricos, que um planeta em formação longe da sua estrela pode “migrar” para mais perto desta por interação gravitacional com o meio circundante. Os planetas formam-se pela acumulação de matéria em discos de gás e poeira que orbitam a estrela em formação (os discos são constituídos por material com momento angular demasiado elevado para se juntar à estrela). Mas o disco pode interagir gravitacionalmente com o planeta, exercendo um torque que, na maior parte dos casos, leva o planeta a espiralar para mais

<sup>1</sup> Sobre a nomenclatura de exoplanetas ver: [https://www.iau.org/public/themes/naming\\_exoplanets/european\\_portuguese](https://www.iau.org/public/themes/naming_exoplanets/european_portuguese)

perto do seu sol. O processo de migração orbital permitiu conciliar as observações com a teoria, e explicar de forma natural a descoberta de Mayor e Queloz.

Note-se que o facto do primeiro exoplaneta descoberto ter sido um “Júpiter quente” decorre da maior sensibilidade da técnica das velocidades radiais a planetas desse tipo. Na realidade, hoje sabe-se que este tipo de mundos é relativamente raro. Apenas ~0,1 % das estrelas semelhantes ao Sol têm planetas gigantes de curto período orbital.

### Medir os planetas

A descoberta do 51 Pegasi b fez a comunidade sonhar com a possibilidade de detetar outras terras. E de facto não demorou para que outros planetas se juntassem à lista, abrindo caminho para uma nova área da astrofísica. Muitas vezes a ciência funciona assim: é difícil encontrar o primeiro, mas quando sabemos como o fazer, é só puxar a linha.

Em 1999, uma outra descoberta veio dar mais um empurrão ao crescente desenvolvimento desta nova área de investigação. Até então, todos os exoplanetas conhecidos tinham sido detetados utilizando a técnica das velocidades radiais. Assim, e para além de parâmetros orbitais como o período ou a excentricidade da órbita, os astrofísicos apenas conseguiam obter informação sobre a massa do planeta. Nada era conhecido sobre as dimensões físicas dos planetas descobertos.

Mas os astrofísicos sabiam que, com um pouco de sorte, seria possível detetar exoplanetas utilizando uma outra técnica. Em particular, se a órbita do planeta tiver uma configuração geométrica tal que, uma vez a cada órbita, o leve a passar em frente à sua estrela, podemos esperar detetar um chamado “trânsito” [7] (semelhante ao trânsito de Vénus e de Mercúrio em frente ao Sol, fig. 3). Para uma estrela parecida com o Sol, quanto mais próximo estiver o planeta da sua estrela (i.e., quanto menor for o semieixo maior da sua órbita), mais provável é que esse fenómeno seja observado. No caso de um planeta de curto período orbital, com uma órbita próxima da estrela, a probabilidade de tal acontecer é de cerca de 10 %. A descoberta de planetas como o 51 Pegasi b abria por isso excelentes perspetivas de se conseguir observar esse fenómeno.

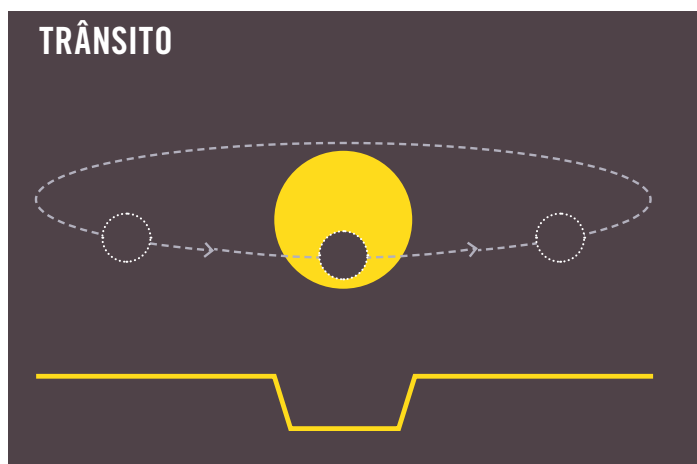


Figura 3 - Esquema para ilustrar o trânsito de um exoplaneta em frente à sua estrela. Visto pelo observador, quando o planeta atravessa o disco da estrela vai bloquear parte da luz desta. Assim, a estrela parece diminuir momentaneamente o seu brilho (a curva em amarelo em baixo). Copyright: Planetário do Porto / Paulo Pereira.

Infelizmente, para um exoplaneta a orbitar uma estrela distante, e ao contrário do que acontece com Mercúrio ou Vénus, não é possível observar a sombra do planeta a atravessar o disco do Sol. O fenómeno do trânsito pode, no entanto, ser observado através da medição do brilho da estrela. Quando o planeta lhe passa à frente, bloqueia parte da luz que nos chega desta, dando momentaneamente a impressão de que a estrela ficou menos brilhante. Este fenómeno acontece uma vez em cada período orbital e a amplitude do sinal observado está relacionada com a dimensão física do planeta. Para um planeta como Júpiter podemos esperar uma variação de brilho de aproximadamente 1 %. No caso de um planeta como a Terra, este valor desce para aproximadamente 100 partes por milhão (um valor apenas mensurável a partir do espaço, onde estamos livres das perturbações causadas pela atmosfera da Terra).

Foi justamente esse o fenómeno que foi observado quando se tentou medir o brilho da estrela HD209458, um “pequeno Sol” à volta do qual tinha sido previamente detetado um planeta (HD209458 b) de massa semelhante a Júpiter e que, tal como o 51 Pegasi b, tinha um período orbital inferior a 5 dias. Os dados permitiram ainda medir o raio do planeta, o que juntamente com a massa inferida pelas velocidades radiais, nos deu informação sobre a sua densidade média. Os resultados mostraram que a composição do HD209458 b era semelhante à de um gigante gasoso como Júpiter. Mais ainda, esta descoberta permitiu desfazer quaisquer dúvidas que restassem sobre a existência de planetas deste tipo.

### Mais e mais planetas

Motivadas pela descoberta do 51 Pegasi b, várias equipas encetaram esforços para procurar mais e mais planetas a orbitar outros sóis. No entanto, até ao início do século XXI apenas tinha sido possível descobrir planetas gigantes. Mas em 2004, o desenvolvimento de novos espectrógrafos (tal como o HARPS, do ESO) e de novos métodos para analisar os dados obtidos, permitiu finalmente descobrir planetas mais “pequenos” [8], com massas mais próximas à de Neptuno ou de uma “super-Terra” – Neptuno tem uma massa equivalente a cerca de 18 vezes a massa da Terra. Os dados que eram recolhidos, juntamente com o desenvolvimento de novos modelos teóricos, permitiam já inferir que os pequenos planetas, como a nossa Terra, eram na verdade os mais comuns. No entanto, não era fácil encontra-los.

Em 2009 foi dado um novo grande passo nesta área, com o lançamento da missão espacial Kepler, da NASA. Utilizando a técnica dos trânsitos, e observando acima da atmosfera terrestre, o Kepler mediu o brilho de milhares de estrelas durante vários anos consecutivos com uma precisão nunca antes conseguida. Os dados permitiram detetar milhares de trânsitos, muitos dos quais produzidos por planetas com dimensões equivalentes à de Neptuno

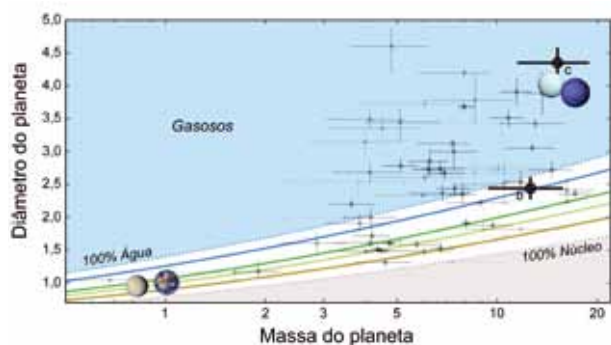


Figura 4 - Gráfico que representa a posição de vários exoplanetas (pontos, com respetivas barras de erro observacionais) conhecidos num diagrama massa-raio. Para comparação, no diagrama são igualmente ilustradas as posições ocupadas por Vénus e pela Terra (em baixo e à esquerda), e por Urano e Neptuno (em cima e à direita). As diferentes linhas correspondem à posição esperada para planetas com diferente composição química. Este tipo de diagramas permite estimar a composição química e a estrutura interna de um exoplaneta se for possível estimar o seu raio e a sua massa. Adaptado de [10].

ou à da nossa própria Terra (fig. 4). Infelizmente, a maioria dos planetas detetados pelo Kepler orbitam estrelas muito distantes e pouco brilhantes, para as quais é impossível utilizar velocidades radiais para determinar a sua massa.

Juntando os resultados dos vários estudos, foram até hoje detetados cerca de 4000 planetas a orbitar outras estrelas [9]. Hoje, quando olhamos o céu à noite, podemos dizer que a maior parte das estrelas que vemos tem pelo menos um planeta à sua volta. Sabemos também que os sistemas planetários podem ser muito diferentes do nosso Sistema Solar. A grande variedade que é observada obrigou a um forte ajuste nas teorias de formação e evolução de planetas, o que nos permite hoje compreender melhor o processo de formação da nossa própria Terra.

Como vimos acima, para os planetas que foram detetados simultaneamente pelos métodos de trânsitos e velocidades radiais, temos a possibilidade de determinar a sua massa e o seu raio. Complementando as observações com modelos teóricos, essa informação permite estimar a composição química e mesmo a estrutura interna dos planetas [10]. Alguns dos resultados mais recentes mostram que os planetas mais pequenos detetados até hoje (todos eles de curto período orbital) são essencialmente semelhantes à nossa Terra em termos composição química e estrutura interna.

Nos últimos anos foi ainda possível estudar, para os casos mais favoráveis, a própria atmosfera dos exoplanetas. Diferentes métodos são utilizados para atingir esse objetivo. Um destes, denominado de espectroscopia de transmissão, aproveita o facto da atmosfera de um planeta se comportar como um filtro “seletivo”, capaz de absorver luz em comprimentos de onda específicos, dependendo da sua composição química e da sua extensão física. Assim, quando observamos um trânsito planetário em “cores” onde a absorção da atmosfera é mais eleva-

da (por exemplo, pela presença de metano, água, sódio, ou de fenómenos como a dispersão de Rayleigh), a variação de brilho da estrela que é observada durante o trânsito é mais acentuada: o planeta parece maior nessa banda de comprimentos de onda. Observando o trânsito em diferentes regiões espectrais permite-nos perceber que elementos existem na atmosfera do planeta (fig. 5).

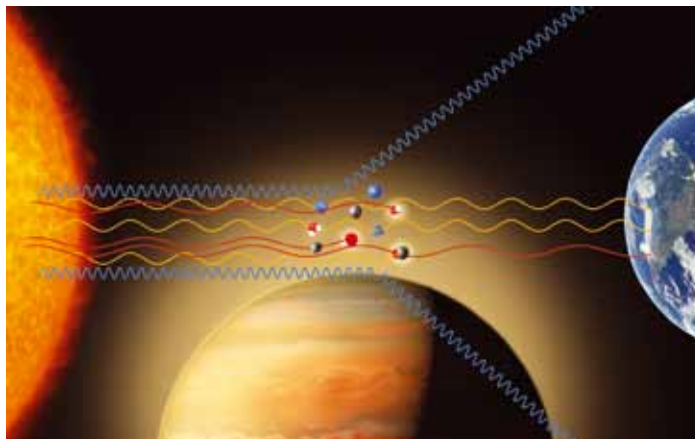


Figura 5 - Esquema para ilustrar o princípio da espectroscopia de transmissão utilizada para caracterizar atmosferas de exoplanetas. Durante o trânsito, parte da luz da estrela atravessa a atmosfera do planeta, sendo absorvida ou dispersa pelos elementos aí presentes. A medição do sinal de trânsito em diferentes cores permite assim estimar, entre outras coisas, a composição química da atmosfera do planeta. Crédito: ESO/M. Kornmesser.

## Portugal à procura de outras Terras

Apesar do enorme avanço na área, a descoberta de outras Terras, planetas rochosos que estejam à distância certa da sua estrela para que possam eventualmente ter água líquida à sua superfície, continua a constituir um grande desafio. Mas este desafio é também um dos grandes motores para o desenvolvimento de novos projetos por parte das grandes agências internacionais (tais como a ESA, o ESO e a NASA), que têm na sua agenda o lançamento de missões espaciais dedicadas à deteção e estudo de exoplanetas, ou a construção de toda uma nova geração de telescópios gigantes e instrumentação a eles associada (e.g. o ELT, do ESO).

É importante dizer que nesse contexto a comunidade nacional, e em particular o Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, tem estado particularmente ativa. Um dos melhores exemplos é dado pela nossa participação no projeto do espectrógrafo ESPRESSO, do ESO. Este projeto nasceu em 2009, altura em que o ESO desafiou a comunidade internacional para construir um instrumento capaz de atingir a precisão necessária para detetar outras Terras a orbitar outros sóis. Ou seja, um espectrógrafo capaz de atingir os 10 cm/s de precisão na medição da velocidade radial de uma estrelas.

A resposta não se fez esperar, tendo-se formado um consórcio de instituições portuguesas (da Universidade do Porto e da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa), suíças, espanholas e italianas. O desafio que o consórcio tinha pela frente era enorme. O que o ESO tinha pedido não era “apenas” a construção do espectrógrafo mais preciso do mundo. Queria também um instrumento que fosse capaz de combinar a luz dos 4 grandes telescópios que constituem o VLT (“Very Large Telescope”), cada um com um espelho de



8 metros de diâmetro. Assim, e se tal fosse conseguido, seria possível transformar um VLT num telescópio “virtual” com uma área coletora equivalente à de um espelho com 16 metros de diâmetro! Seria o maior telescópio do mundo. Essa parte do desafio, juntar a luz dos 4 telescópios, ficou sob responsabilidade da equipa portuguesa [11].

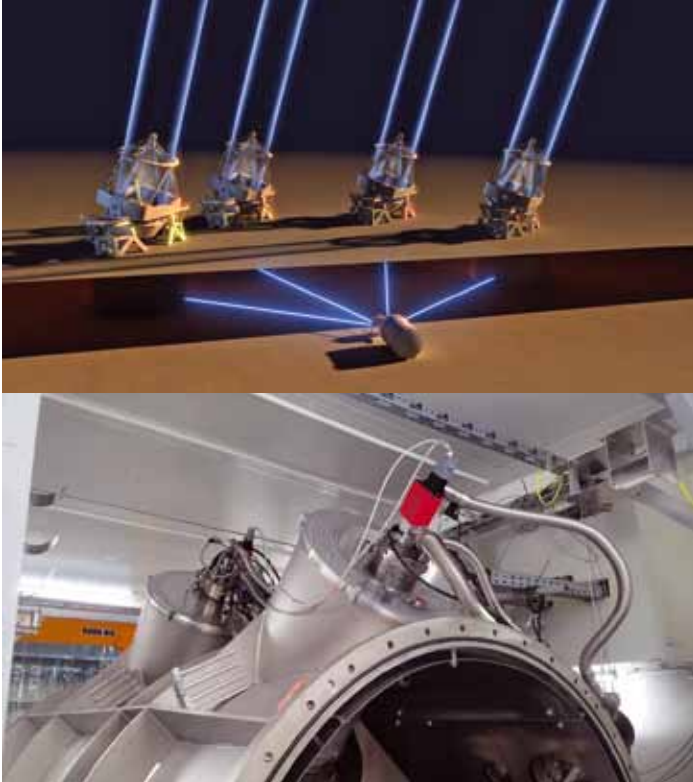


Figura 6 - O instrumento ESPRESSO está instalado no observatório de Paranal (ESO, Chile), e permite ligar e combinar, de forma incoerente, a luz recolhida pelos 4 grandes telescópios com um espelho de 8-m de diâmetro que constituem o VLT. Isso permite transformar o VLT no equivalente (em termos de área coletora de luz) a um telescópio de 16 metros de diâmetro, o maior existente em todo o mundo. A imagem superior ilustra de forma simplificada como a luz é transportada dos 4 telescópios para o espectrógrafo. Em baixo um detalhe do espectrógrafo, que se encontra dentro de uma câmara de vácuo para garantir a sua estabilidade. Fonte: ESO (<https://www.eso.org/public/news/eso1739> e <https://www.eso.org/public/news/eso1806>).

Após 10 anos de desenvolvimento que conduziram à construção do ESPRESSO (fig. 6), a exploração científica do instrumento começou em Setembro de 2018. Em troca pelo trabalho e esforço realizado pelo consórcio, o ESO “ofereceu-nos” a possibilidade de utilizar o instrumento durante 273 noites. Esta oportunidade está agora a ser utilizada pelos astrofísicos portugueses, em conjunto com os seus parceiros do consórcio, para procurar e caracterizar planetas rochosos em torno de outras estrelas e para estudar a composição química das suas atmosferas. Os primeiros resultados estão em fase de publicação, e prometem uma série de novidades inesperadas!

É importante mencionar que aproveitando as características únicas do ESPRESSO, os astrofísicos estão também a abordar outros casos científicos de grande impacto, incluindo o estudo da variabilidade das constantes fundamentais da física (algo com impacto na compreensão da física fundamental), o estudo da física das estrelas, ou a dinâmica dos ventos

em planetas do nosso próprio Sistema Solar.

Em parceria com indústria portuguesa, a comunidade científica nacional (através do Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço) teve também um papel importante no planeamento científico e tecnológico da missão espacial CHEOPS, da ESA. Lançado em dezembro de 2019, o CHEOPS tem como principal objetivo utilizar a técnica dos trânsitos para medir, com grande precisão, o raio de exoplanetas já conhecidos. Isso vai permitir refinar os modelos de estrutura interna dos planetas e indiretamente perceber melhor os processos de formação planetária. Adicionalmente, os dados do CHEOPS prometem oferecer um novo olhar sobre os exoplanetas e as suas atmosferas, e talvez mesmo detetar, pela primeira vez, a presença de luas, anéis, ou mesmo de deformações na sua forma (desvios à esfericidade) causados por efeitos de rotação ou de maré.

De notar que conseguir um papel de liderança no desenvolvimento destes projetos permite aos investigadores portugueses contribuir de forma decisiva para a definição dos objetivos científicos dos vários instrumentos e missões espaciais. Permite ainda garantir uma posição privilegiada para participar na exploração científica dos dados que serão depois recolhidos. O esforço para participar no desenvolvimento e exploração científica de novos instrumentos e missões espaciais é assim fundamental para que a comunidade nacional se possa manter na vanguarda da investigação em astrofísica.

### Exoplanetas no ensino das ciências

O fascínio causado pela descoberta de outros mundos encerra um enorme potencial para divulgação de ciência junto do público em geral. Mas certamente não menos importante, o tema pode ser utilizado para introduzir ou ilustrar alguns conceitos de Física (mas também de matemática e de química) que são parte integrante dos currículos do ensino secundário. Nesse contexto, e já de alguns anos a esta parte, o Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto tem oferecido, na sua Escola de Verão de Física [12], a possibilidade dos alunos trabalharem com dados reais na procura e estudo de exoplanetas. Os alunos são desafiados a encontrar um planeta em dados de velocidades radiais (e estimar a sua massa e parâmetros orbitais), a inferir o raio desse mesmo planeta recorrendo a dados de trânsitos, e a caracterizar a estrela que o planeta orbita (estimar a sua temperatura, massa, raio, composição química). Esta experiência dá aos alunos a possibilidade de compreenderem a forma como se constrói o conhecimento científico. Para além deste aspeto, são potenciados conhecimentos, capacidades e atitudes curricularmente relevantes, nomeadamente sobre conceitos de i) energia, fenómenos térmicos e radiação, ii) tempo, posição, velocidade e aceleração, iii) cinemática e dinâmica da partícula a duas dimensões, iv) centro de massa e

momento linear de sistemas de partículas, v) campo gravítico e vi) introdução à física quântica.

O entusiasmo com que os alunos seguem o problema e apresentam os seus resultados encoraja-nos a continuar o esforço, eventualmente expandindo-o para oferecer às escolas de todo o país.

### Exoplanetas: uma área de futuro

A descoberta de Mayor e Queloz abriu caminho a toda uma nova área da Astrofísica. Parte do sucesso está certamente ligado ao facto de se tratar de uma área com um carácter altamente transdisciplinar, juntando conhecimentos de áreas tão diversas como astrofísica, física e geofísica, geologia e química, às quais se junta uma ligação óbvia a diversas áreas da engenharia quando falamos do desenvolvimento de novos instrumentos e missões espaciais (e que por sua vez permitem envolver a indústria e toda a economia). Finalmente, a perspectiva de um dia encontrarmos sinais para a existência de vida noutros planetas estreitou ligações com áreas mais inesperadas, como a biologia e a bioquímica, contribuindo para a criação, no conjunto, de um novo domínio do conhecimento: a astrobiologia.

E o que se segue? Do ponto de vista puramente astrofísico, a investigação foca-se hoje tendencialmente em 3 grandes linhas: a procura de planetas parecidos com a nossa Terra, a caracterização detalhada dos exoplanetas encontrados (incluindo as suas atmosferas), e a compreensão dos processos físicos que dão origem aos sistemas planetários.

Em Portugal, e aproveitando o sucesso do ESPRESSO, a comunidade nacional tem agora em vista a construção de um “super-ESPRESSO” (chamado “HIRES”) para o que será, daqui a 10 anos, o maior telescópio do mundo: o Extremely Large Telescope (ELT), com um espelho de 39 metros de diâmetro, que o ESO está a construir. O HIRES vai permitir dar um passo de gigante, tendo como foco principal o estudo da atmosfera de exoplanetas. Essa análise pode conter a informação necessária para dizer se um outro mundo, a orbitar uma estrela distante, pode ter condições para existência de vida.

A comunidade está igualmente empenhada no planeamento e construção de duas missões espaciais, a PLATO e a ARIEL (ambas da ESA, com datas de lançamento prevista para 2026 e 2028, respetivamente). A primeira tem como objetivo principal detetar, utilizando o método dos trânsitos, planetas semelhantes à Terra a orbitar estrelas brilhantes e próximas de nós. O resultado poderá ser um primeiro catálogo exaustivo de planetas potencialmente habitáveis, alvos privilegiados para futuros estudos que permitam detetar potenciais assinaturas de vida. Já a missão ARIEL pretende estudar em grande detalhe as atmosferas dos exoplanetas.

Apesar dos enormes desafios com que a ciência Portuguesa se depara, incluindo a já crónica incerte-

za e instabilidade ao nível dos processos de financiamento, espera-se que a visão e a liderança que no século XVI nos permitiu dar novos mundos ao mundo nos ajude agora a dar novos mundos ao Universo. E quem sabe, um dia, descobrir que a orbitar uma outra estrela pequena e normal existe um pequeno ponto azul onde alguém se esteja a perguntar: será que existe algum planeta em torno do Sol?

### Bibliografia

1. Nuno Cardoso Santos, Luis Tirapicos, Nuno Crato 2012, “Outras Terras no Universo”, Gradiva, coleção Ciência Aberta
2. Walker, G.A.H. et al. 1995, “A search for Jupiter-mass companions around nearby stars”, *Icarus* 116, 359
3. Mayor, M. & Queloz, D. 1995, “A Jupiter-mass companion to a solar-type star”, *Nature* 378, 355
4. Belorizky, D. 1938, “Le Soleil, Étoile Variable”, *L’Astronomie* 52, 359
5. Struve, O. 1952, “Proposal for a project of high-precision stellar radial velocity work”, *The Observatory* 72, 199 [bipm.org/utls/common/pdf/ITS-90/Guide-PLTS-2000.pdf](http://bipm.org/utls/common/pdf/ITS-90/Guide-PLTS-2000.pdf)
6. Lin, D., Bodenheimer, P, Richard, D., 1996, “Orbital migration of the planetary companion of 51 Pegasi to its present location”, *Nature* 380, 606
7. Charbonneau, D., Brown, T., Latham, D., Mayor, M., 2000, “Detection of Planetary Transits across a Sun-like star”, *The Astrophysical Journal* 529, L45
8. Santos N., et al., 2004, “The HARPS survey for southern extra-solar planets II. A 14 Earth-masses exoplanet around mu Arae”, *Astronomy & Astrophysics* 426, L19
9. The Extrasolar Planets Encyclopaedia (<http://exoplanet.eu/>)
10. Barros, S., et al. 2017, “Precise masses for the transiting planetary system HD106315 with HARPS”, *Astronomy & Astrophysics* 608, A25
11. Cabral, A., et al. 2014, “ESPRESSO Coudé-Train: complexities of a simultaneous optical feeding from the four VLT unit telescopes”, *SPIE* 9147, 8
12. Escola de Verão de Física (<https://e-fisica.fc.up.pt>)



Nuno C. Santos, é investigador no Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço (IA) e Professor Auxiliar no Departamento de Física e Astronomia da FCUP. Em 2004, foi o autor principal do artigo onde se publicou a descoberta do primeiro planeta potencialmente rochoso a orbitar outra estrela. Em 2009, foi-lhe atribuído uma Starting Grant pelo European Research Council, o que lhe permitiu criar uma equipa que conta atualmente com mais de 20 investigadores e estudantes de doutoramento a trabalhar na pesquisa de planetas extrassolares. Autor de mais de 300 artigos científicos em revistas internacionais de grande impacto foi, em 2010, um dos galardoados com o prémio internacional Viktor Ambartsumian, pelos estudos que relacionam as propriedades das estrelas e os seus planetas. É o investigador responsável em Portugal pelos projetos ESPRESSO e HIRES@ELT (ESO), e pelas missões espaciais CHEOPS e PLATO (ESA). Fotografia por Susana Neves



# Um prémio Nobel para a Universalidade da Física

Carlos A. R. Herdeiro

Grupo de Geometria e Dinâmica Gravitacional, Departamento de Matemática e Centro de Investigação e Desenvolvimento em Matemática e Aplicações (CIDMA), Universidade de Aveiro

## Resumo

Metade do prémio Nobel da Física de 2019 foi atribuído a James Peebles “por descobertas teóricas em Cosmologia Física” (fig. 1). Este é um prémio para a Universalidade das leis da Física que, na Cosmologia, encontraram uma aplicação no entendimento do maior dos sistemas físicos: o Universo como um todo.

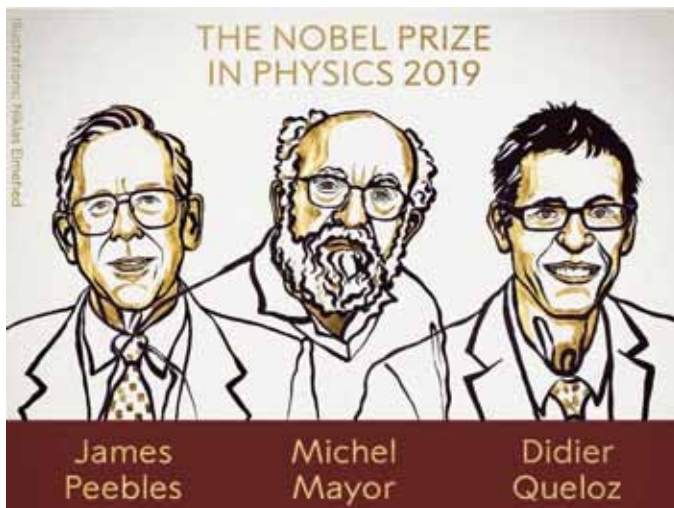


Figura 1 - Os laureados com o prémio Nobel da Física 2019

## 1- O início da Cosmologia Moderna

O entendimento científico moderno do Universo em larga escala baseia-se na teoria da relatividade geral (RG), formulada em 1915 por Albert Einstein [1]. A RG descreve a interação gravítica como deformações dinâmicas do espaço-tempo. O Universo é todo o espaço e todo o tempo. De acordo com a teoria de Einstein, portanto, o Universo como um todo pode ser dinâmico, pode evoluir, pode eventualmente ter tido um princípio e pode eventualmente vir a ter um fim.

Einstein, em 1917 [2], foi pioneiro a elaborar um modelo do Cosmos baseado na sua RG. Em primeira aproximação, um tal modelo *Cosmológico*, abdica de “detalhes” locais, como a existência de estruturas distintas (galáxias, estrelas, planetas, pessoas...) em alguns sítios do Universo e essencialmente nada (um quase vácuo) em muitos outros. O modelo preocupa-se apenas com a geometria do espaço em larga escala e com a dinâmica

do fluir do tempo. A estratégia de ignorar “detalhes” é estruturante em modelos físicos. É usada, por exemplo, quando calculamos a trajetória da Terra em torno do Sol, considerando ambos como massas pontuais. Esta aproximação é suficiente para perceber a duração do ano. Mas para compreender a precessão dos equinócios, por exemplo, é necessário considerar mais detalhes.

Ignorando os detalhes locais, Einstein debateu-se com um problema. De acordo com a RG, um Universo com uma distribuição (homogénea) de matéria é forçado a evoluir: o espaço é obrigado a expandir ou a contrair. Isto incomodou Einstein, pois implicaria que, ou no passado ou no futuro, o Universo seria infinitesimalmente pequeno, e as equações da RG não seriam capazes de o descrever. Haveria uma *singularidade Cosmológica*.

Para ultrapassar este incómodo, Einstein forçou o Universo a ser estático, introduzindo um novo termo nas suas equações de campo. Assim nasceu a célebre “constante Cosmológica”, um parâmetro que surge no novo termo e determina uma densidade de energia constante, independente da expansão/contração do Universo. O modelo resultante descreve um Universo que é esférico (uma esfera três dimensional) e estático, devido a um equilíbrio cuidadosamente afinado entre a atração gravítica da matéria que enche o Universo e uma exótica repulsão gravítica causada pela constante Cosmológica. Este modelo, que posteriormente foi demonstrado ser instável, é denominado por *Universo estático de Einstein*.

Sem a (improvável) afinação de parâmetros cozinhada por Einstein, os modelos Cosmológicos mais genéricos baseados na RG descrevem um Universo dinâmico, que tanto pode estar numa fase de expansão como numa fase de contração. Estes modelos foram estudados por Willem de Sitter [3], Alexander Friedman [4] e Georges Lemaître [5], na segunda e terceira década do Sec. XX. A realidade da expansão do Universo foi reconhecida após a publicação das observações de Edwin Hubble em 1929 [6]. Estabeleceu-se a partir daí o cenário de um Universo mais “pequeno” no passado, ainda que possivelmente infinito! Extrapolando, surge uma singularidade Cosmológica no passado, precisamente do género que

Einstein quis evitar. A esta quebra da teoria da RG chama-se o Big Bang, termo jocoso cunhado por Fred Hoyle em 1949 [7], um antagonista do modelo. O cenário de um Universo em expansão, com um possível início no Big Bang, passou posteriormente a ser conhecido como *modelo do Big Bang*.

## 2 - A Radiação Cósmica de Fundo

Após a segunda guerra mundial, como consequência do primeiro uso bélico da energia atômica, aumenta o interesse na Física Nuclear. A nível do estudo do Cosmos, perguntava-se a origem dos elementos do Universo, isto é, como foi feita a nucleossíntese.

A abundância de certos elementos leves teria de ter origem na fornalha nuclear do Universo primordial, quando este era “menor” e, como tal, mais quente. Vários físicos, como George Gamow [8], formularam modelos do “Big Bang quente” para explicar estes elementos. Em particular, alguns sugeriram que, no presente, uma relíquia deste Universo quente deveria existir, na forma de uma radiação em equilíbrio térmico (radiação de corpo negro) enchendo todo o Cosmos: a *radiação Cósmica de fundo* (RCF). Ralph Alpher e Robert Herman estimaram que esta radiação, no presente, teria uma temperatura de cerca de 5 K [9]. Mas a comunidade científica, no global, permanecia cética relativamente à possibilidade de observar esta RCF, ou mesmo da sua existência. Em simultâneo, Gamow [10] e outros começaram a tentar descrever os “detalhes” da estrutura do Universo, como a formação das galáxias.

A revolução aconteceu na primavera de 1965 com a descoberta acidental dessa RCF por Penzias e Wilson [11], cuja interpretação só foi possível pelo contacto com o grupo da Universidade de Princeton, composto por Robert Dicke, James Peebles, Peter Roll and David Wilkinson [12]. Dois artigos científicos, um primeiro sobre os aspetos teóricos da radiação Cósmica de corpo negro, e um segundo sobre a deteção de Penzias e Wilson, foram publicados juntos, no mesmo volume do *The Astrophysical Journal Letters*, em 1965 [11,12].

## 3 - A Cosmologia Física

Os artigos [11,12] iniciam uma nova era na Cosmologia e marcam o início das importantes contribuições de Peebles. No mesmo ano, Peebles sugere o potencial impacto da RCF na formação de galáxias [13]. Nasce, com este trabalho, a *Cosmologia Física*. De uma maneira concreta, esta associação traça um caminho para aplicar as leis da Física que descrevem o comportamento da matéria, radiação e interação entre elas, para inferir a história e composição do Universo. A Cosmologia começa o caminho que a irá tornar uma ciência de precisão. No ano seguinte, 1966, Peebles tem também uma abordagem inovadora para estimar a abundância de Hélio no Universo, devido à nucleossíntese primordial [14].

Para realizar o potencial de tornar a Cosmologia Física uma ciência de precisão, contudo, era necessário ter mais e melhores dados observacionais, em particular revelando mais estrutura, mais detalhes, para comparar te-

oria e observação. Rainer Sachs e Arthur Wolfe em 1967 [15], foram os primeiros a fazer uma sugestão concreta sobre como a RCF poderia armazenar mais informação valiosa. Esta ideia, aprofundada por muitos outros, irá ter uma importância fundamental. Vejamos o porquê dessa informação adicional.

A RCF é a radiação eletromagnética mais antiga do Universo. Enquanto o Universo primordial é suficientemente quente para os eletrões e os prótons estarem dissociados, a radiação eletromagnética não é livre. Os fótons são espalhados muito eficientemente por um processo chamado espalhamento de Thomson: são constantemente absorvidos e emitidos pelas partículas carregadas. Quando o Universo expande e arrefece o suficiente para os eletrões e os prótons se juntarem em átomos de hidrogénio neutro (processo denominado *recombinação*), este espalhamento deixa de ocorrer e os fótons tornam-se livres. Podem então propagar-se sem interações significativas e, alguns, chegam hoje aos nossos detetores. Estima-se que a liberdade dos fótons da RCF chegou cerca de 380 000 anos depois do *Big Bang*.

Antes da recombinação, portanto, os fótons estão acoplados à matéria. A distribuição da matéria, apesar de ser essencialmente homogénea, já apresenta nessa época pequenas heterogeneidades: há zonas onde há um pouco mais de matéria e zonas onde há um pouco menos de matéria. Estas assimetrias deixam uma marca nos fótons, que estão acoplados à matéria, em particular no momento em que se tornam livres. Por isso, a RCF não deverá ser exatamente isotrópica, isto é, igual em todas as direções do céu. Pequenas *anisotropias* são esperadas, que manifestam as heterogeneidades na distribuição da matéria na altura da recombinação. Estas últimas são as sementes da formação de estruturas cósmicas, como galáxias e grupos de galáxias. Ou seja, a formação das estruturas cósmicas está impressa nos detalhes da RCF. Esta é uma ideia que vale a pena reter: a RCF é uma ecografia do Universo primordial, onde as protoestruturas do Universo podem ser diagnosticadas, qual bebé em formação.

Peebles, juntamente com Jer Yu, em 1970 [16], foi pioneiro a prever a potencialmente observável estrutura detalhada destas anisotropias. Peebles e Yu previram a existência de uma curiosa estrutura de *picos acústicos*, quando se representa a intensidade das anisotropias da RCF em função da escala angular no céu – figura 2.

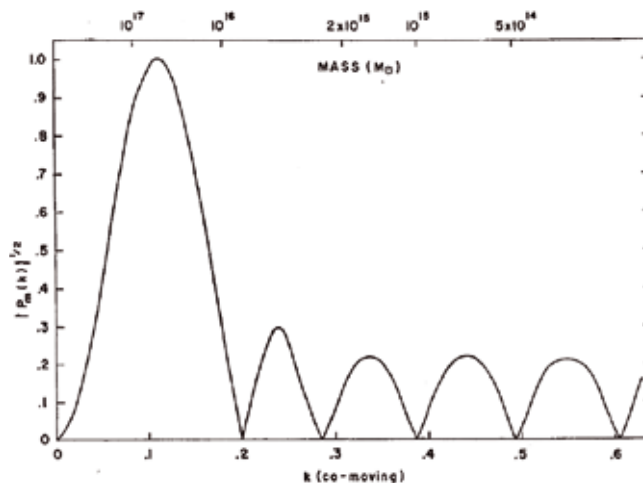


Figura 2 - A estrutura de picos acústicos prevista por Peebles e Yu (Fig.5 de [16]). A posição do primeiro pico (mais à esquerda), por exemplo, é determinada pelo horizonte sonoro na altura da recombinação.

Simplificando um pouco a Física envolvida, antes da recombinação pode-se considerar o Universo como cheio de um fluido de matéria e radiação. As flutuações de densidade neste fluido produzem oscilações acústicas que se propagam com a velocidade do som (no fluido). Num certo instante, existe uma estrutura de sobre-densidades e sub-densidades, em função da escala. Isto é verdade, em particular, na recombinação, altura em que esta estrutura de flutuações de densidade fica impressa, como flutuações de temperatura, na RCF. Por exemplo, o primeiro pico acústico (mais à esquerda), determina a escala angular do *horizonte sonoro*. Esta é a distância que pôde ser viajada, à velocidade do som, durante o tempo de vida do Universo à altura da recombinação. Esta escala, por sua vez, dependendo fortemente da geometria do Universo. Poderia esta estrutura de picos acústicos, posteriormente trabalhada e aprofundada por muitos outros físicos, ser observada?

#### 4 – Os ingredientes cosmológicos em falta

Ao modelo estudado por Peebles e Yu [16] faltavam, contudo, dois ingredientes fundamentais.

A evidência para um tipo de matéria que interage fracamente com a radiação eletromagnética, mas que deixa uma marca gravitacional na formação de estruturas - *matéria escura* - acumulava-se desde a década de 1930. As medições de curvas de rotação galácticas feitas por Vera Rubin e Keneth Ford, publicadas em 1970 [17] deram uma nova força a este problema. Peebles também contribuiu para este esforço. Em 1973, com Jeremiah Ostriker [18], Peebles mostrou que para o disco da nossa galáxia se manter estável, a Via Láctea terá de possuir um “halo” com uma grande quantidade de matéria escura.

A natureza desta matéria escura permanecia (e permanece!), contudo, uma incógnita. Na década de 1970 considerava-se que a matéria escura poderia ser constituída por partículas já conhecidas, com interação muito fraca, como os neutrinos. Os neutrinos são muito leves - na altura nem se sabia se tinham massa - e deslocam-se a velocidades relativistas; por isso, matéria escura deste tipo foi denominada como *matéria escura quente*.

Na década de 1980, contudo, constataram-se contradições entre os modelos de matéria escura quente e as observações. Em mais uma importante contribuição, Peebles foi pioneiro a sugerir que a matéria escura deveria ser *fria*, isto é, constituída por partículas não relativistas [19]. Considerando o seu efeito na formação de estrutura e nas anisotropias da RCF, Peebles obteve que estas anisotropias corresponderiam a flutuações da temperatura da radiação de corpo negro na ordem de uma parte num milhão. Esta estimativa é consistente com as medições atuais.

O segundo ingrediente que Peebles (re)introduziu foi a constante cosmológica. Em 1984 [20] Peebles observou que a introdução de uma constante cosmológica, posta de parte pela comunidade desde a publicação das observações de Hubble, poderia ajudar a compatibilizar teoria e observações, em particular relativamente à formação de estrutura e idade do Universo. Também aqui, Peebles foi visionário, pois apenas 14 anos depois observações de supernovas longínquas iriam evidenciar a necessidade de uma constante Cosmológica.

#### 5 - Cosmologia: uma ciência observacional de precisão

A década de 1990 marca o início das experiências de precisão. Em 1992, as anisotropias da RCF foram finalmente

observadas pelo satélite *Cosmic Background Explorer* (COBE) [21]. Estas medições estiveram na origem do prémio Nobel da Física de 2006 a John Mather e George Smoot. Em 1998 a expansão acelerada do Universo foi descoberta por duas equipas distintas observando supernovas [22]. Esta descoberta esteve na origem do prémio Nobel da Física de 2011 a Saul Perlmutter, Brian Schmidt e Adam Riess.

No ano 2000, uma série de outras experiências (TOCO [23], BOOMERanG [24] e Maxima [25]) conseguiram medir as anisotropias em pequenas escalas e detetaram o primeiro pico acústico, previsto por Peebles e Yu. No ano seguinte foi lançado o satélite *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (WMAP) [26], que numa missão de nove anos fez um mapa detalhado da RCF com uma resolução significativamente superior à do COBE. Esta resolução foi ainda melhorada pelo satélite Planck, lançado em 2009 [27]. As anisotropias da RCF, vistas pelo satélite Planck, encontram-se na figura 3. Apesar das diferenças quantitativas, observe-se a notável semelhança da estrutura de picos acústicos com a previsão de Peebles e Yu, quase meio século antes (figura 3).

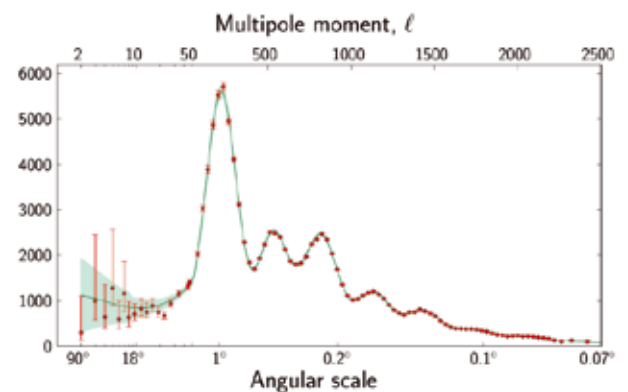


Figura 3 - A estrutura de picos acústicos, usando as mais recentes medições cosmológicas. Extraído de [28].

#### 6 - A sinergia entre a teoria e a observação

As contribuições de Peebles foram variadas, inovadoras e apontaram o caminho à comunidade científica desde a década de 1960. Peebles valorizou a sinergia entre teoria e observação, numa área científica - Cosmologia - onde as observações pareciam difíceis ou impossíveis. Do lado teórico, mostrou como poderíamos perceber a Física da Cosmologia, ou a Cosmologia Física, com as leis da Física estabelecidas. No contacto com a observação, deu prioridade a encaminhar os modelos para fazerem previsões observacionais concretas, apontando assim o caminho às prioridades observacionais e experimentais. Tendo em conta o tremendamente bem-sucedido modelo Cosmológico atual, esta sinergia mostra a Universalidade das leis da Física de um modo esplendoroso.

Com o trabalho pioneiro de Peebles, seguido por muitos outros, a Cosmologia deixou de ser um campo de especulação filosófica para se tornar num modelo

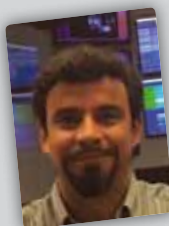


científico preciso, guiado por uma teoria sólida e observações que eliminam uns modelos e apoiam outros. Os desenvolvimentos da Cosmologia do Sec. XX e XXI, mostraram ser possível um entendimento científico do Universo como um todo, baseado em leis empíricas, algo que há pouco mais de um século não pareceria mais do que uma lunática fantasia.

#### Referências

- [1] A. Einstein, "Die Feldgleichungen der Gravitation", Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin (Math. Phys.), 1915, 844 (1915)
- [2] A. Einstein, "Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie", Sitzungs. König. Press. Akad. 142 (1917)
- [3] W. de Sitter, "On the relativity of inertia: Remarks concerning Einstein's latest hypothesis", Proc. Kon. Ned. Acad. Wet., 19, 1217-1225 (1917); "On the curvature of space", Proc. Kon. Ned. Acad. Wet., 20, 229-243 (1917)
- [4] A. Friedman, "Über die Krümmung des Raumes", Z. Phys., 10, 377 (1922); "Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negative Krümmung des Raumes", Z. Phys. 21, 326 (1924)
- [5] G. Lemaître, "Un Univers homogène de masse constant et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuse extra-galactiques", Ann. Soc. Sci. Bruxelles, 47A, 49 (1927)
- [6] E. Hubble, "A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae", Proc. Natl. Acad. Sci., 15, 168 (1929)
- [7] [https://pt.wikipedia.org/wiki/FredHoyle#Rejeiçao\\_do\\_Big\\_Bang](https://pt.wikipedia.org/wiki/FredHoyle#Rejeiçao_do_Big_Bang)
- [8] G. Gamow, "Expanding universe and the origin of elements", Phys. Rev., 70, 572 (1946)
- [9] R. A. Alpher and R. C. Herman, "Evolution of the Universe", Nature, 162, 774 (1948)
- [10] G. Gamow, "The origin of elements and the separation of galaxies", Phys. Rev., 74, 505 (1948)
- [11] A.A. Penzias and R.W. Wilson, "A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s", Astrophys. J., 142, 419 (1965)
- [12] R.H. Dicke, P.J.E. Peebles, P.G. Roll and D.T. Wilkinson, "Cosmic black-body radiation", Astrophys. J., 142, 414 (1965)
- [13] P.J.E. Peebles, "The black-body radiation content of the Universe and the formation of galaxies", Astrophys. J., 142, 1317 (1965)
- [14] P.J.E. Peebles, "Primeval helium abundance and the primeval fireball", Phys. Rev. Lett. 16, 410 (1966); "Primordial helium abundance and the primordial fireball II", Astrophys. J., 146, 542 (1966)
- [15] R.K. Sachs and A.M. Wolfe, "Perturbations of a cosmological model and angular variations of the microwave background", Astrophys. J., 147, 73 (1967)
- [16] P.J.E. Peebles and J.T. Yu, "Primeval adiabatic perturbation in an expanding Universe", Astrophys. J., 162, 815 (1970)
- [17] V.C. Rubin and W.K. Ford, "Rotation of the Andromeda nebula from a spectroscopic survey of emission regions", Astrophys. J., 159, 379 (1970)

- [18] J.P. Ostriker and P.J.E. Peebles, "A numerical study of the stability of flattened galaxies: or, can cold galaxies survive?" Astrophys. J., 186, 467 (1973)
- [19] P.J.E. Peebles, "Large-scale background temperature and mass fluctuations due to scale invariant primeval perturbations", Astrophys. J., 263, L1 (1982)
- [20] P.J.E. Peebles, "Tests of cosmological models constrained by inflation", Astrophys. J., 284, 439 (1984)
- [21] G.F. Smoot et al., "Structure in the COBE differential microwave radiometer first-year maps", Astrophys. J. Lett., 396 L1 (1992)
- [22] A.G. Riess et al., "Observational evidence for supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant", Astron. J., 116, 1009 (1998); S. Perlmutter et al., "Measurements of  $\Omega$  and  $\Delta$  from 42 high-redshift supernovae", Astrophys. J., 517, 565 (1999)
- [23] L. Knox and L. Page, "Characterizing the Peak in the CMB Angular Power Spectrum", Phys. Rev. Lett., 85, 1366 (2000)
- [24] P. de Bernardis et al., "A flat Universe from high-resolution maps of the Cosmic Microwave Background radiation", Nature, 404, 955 (2000)
- [25] S. Hanany et al., "MAXIMA-1: A measurement of the Cosmic Microwave Background anisotropy on angular scales of  $10^{-5}$ ", Astrophys. J., 545, L5 (2000)
- [26] C.L. Bennett et al., "Nine-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: Final maps and results", Astrophys. J. Supp., 208, 20 (2013)
- [27] Planck Collaboration, "Planck 2018 results, I. Overview and the cosmological legacy of Planck", arxiv:1807.06205
- [28] <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/advanced-physicsprize2019-3.pdf>



Carlos Herdeiro, é licenciado em Física/Matemática aplicada pela Universidade do Porto e doutorado em Física Teórica pela Universidade de Cambridge (2001), em Inglaterra. Trabalhou nos departamentos de Física: da Universidade de Stanford, EUA (2001-2002), da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (2002-2010), da Universidade de Aveiro (2010-2018) e do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa (2018-2019). É atualmente Investigador Coordenador de carreira no Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro onde coordena o grupo de Geometria e Dinâmica Gravitacional do Centro de Investigação em Matemática e Aplicações (CIDMA). A sua investigação centra-se na interface da gravitação, cosmologia, astrofísica, física-matemática e física de altas energias, tendo publicado mais de 150 artigos em revistas internacionais em vários temas nesta interface e dirigido duas redes internacionais Marie Curie financiadas pela União Europeia. É também autor de um livro de texto Universitário de Mecânica Quântica. Foi presidente da delegação norte da SPF (2007-2010). É membro fundador e vice-presidente em exercício da Sociedade Portuguesa de Relatividade e Gravitação.

# Uma celebração operática da Tabela Periódica no sesquicentenário da sua criação

João Paulo André

Centro/Departamento de Química, Escola de Ciências da Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal

jandre@quimica.uminho.pt

## Resumo

Este artigo resultou de uma palestra proferida em várias instituições nacionais ao longo de 2019\*, no âmbito das comemorações dos 150 anos da Tabela Periódica. Trata-se de uma homenagem musical à genial criação de Dmitri Mendeleiev. Após uma breve nota histórica sobre os quatro elementos da Antiguidade, faz-se um percurso pela Tabela Periódica em que vários elementos químicos são ilustrados com óperas.

## Introdução

O teatro, enquanto espelho da sociedade, desde relativamente cedo ilustrou o mundo da ciência ou formas precursoras desta, como é o caso da alquimia, exemplarmente retratada em peças como *A trágica história do Doutor Fausto* (c. 1592) de Christopher Marlowe ou *O alquimista* (1610) de Ben Jonson. Na actualidade, as luzes da ribalta incidem sobre os mais diversos domínios científicos, tendo obras como *Copenhaga* (1998), de Michael Frayn, obtido grande sucesso, tanto junto do público como da crítica [1]. Por sua vez, a ópera, uma forma de teatro musical (*dramma per musica*, na sua génese), já no século XVIII ilustrava o mundo da farmácia e os personagens que o habitavam [2,3]. Mais recentemente, e noutros campos científicos, poderão citar-se *Einstein on the Beach* (1976) de Philip Glass e *The man who mistook his wife for a hat* (1986) de Michael Nyman (inspirada num *case study* do neurologista Oliver Sacks [4]). Como tantas outras formas de arte, a ópera pode também ser explorada como recurso pedagógico, inclusivamente na área das ciências naturais e das tecnologias [2,3].

## Apogeu e crepúsculo dos elementos primordiais

Para Aristóteles, que rejeitou o atomismo proposto por Leucipo e Demócrito no século V a.C., existiria uma matéria pri-

mordial única, constituída pelos quatro elementos (fig. 1) de Empédocles de Agrigento - água, fogo, terra e ar -, combinados em proporções variáveis. Defendeu igualmente que as substâncias se podiam transformar umas nas outras, ideia essa que iria alimentar até ao século XVIII o grande sonho alquímico da transmutação dos metais comuns em ouro.

No palco cénico, Demócrito surge em pelo menos três óperas (tabela 1), tendo os quatro elementos da cosmogonia aparecido pela primeira vez em *La Pierre Philosophale*, uma peça cómica musicada por Marc-Antoine Charpentier. O enredo desta obra inclui os elementais, entidades da alquimia paracelsiana correspondentes aos espíritos de cada um dos quatro elementos da natureza: ondinas (espíritos da água), gnomos (espíritos da terra), salamandras (espíritos do fogo) e silfos (espíritos do ar).

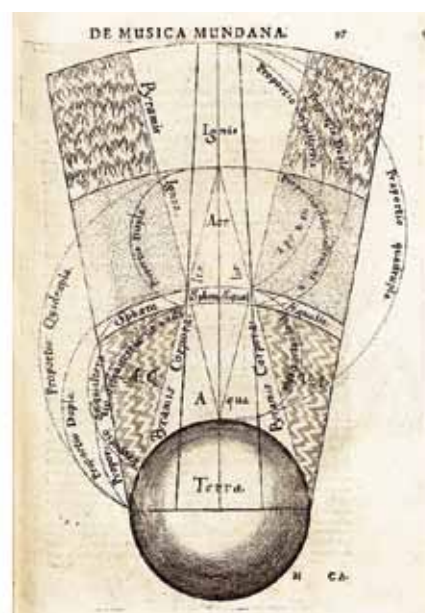


Figura 1 - Os quatro elementos - terra, água, ar e fogo - representados numa obra do início do século XVII da autoria do médico, alquimista, astrólogo e matemático inglês Robert Fludd.

\* FCT NOVA, Universidade de Évora (7º Encontro de Professores de Física e Química), Rómulo - Centro Ciência Viva da Universidade de Coimbra, Escola Sá de Miranda (Braga), Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro e Escola Secundária de Amares



Muito ao gosto do Barroco, ao longo do século XVIII surgiram diversos *ballets* e óperas-*ballet* inspirados nos elementos e nos seus espíritos (tabela 1) [3]. O tema da Pedra Filosofal voltaria a ser parodiado na ópera *Der Alchymist* (1778) de Joseph Schuster. Por seu turno, em *Der Alchymist* (1830) Ludwig Spohr mostra como nem todos os alquimistas eram charlatões.

Não obstante a concepção aristotélica do cosmos há muito ter sido descartada, na sua Tetralogia *O anel do Nibelungo* (1869-1876), Richard Wagner deixou-nos uma visão do mundo dominada pelos quatro elementos primordiais. A saga do ouro roubado do rio Reno é uma alegoria de exaltação da vida e de denúncia da sociedade emergente da Revolução Industrial, dominada por uma ambição desmesurada por poder e riqueza. Curiosamente, *O ouro do Reno*, a primeira ópera da Tetralogia, estreou no mesmo ano em que Mendeleiev apresentou a sua Tabela Periódica (TP). As próprias Donzelas do Reno (as distraídas guardiãs do ouro de *O anel do Nibelungo*) têm ressonâncias alquímicas: o que são elas senão ondinas [5]? Foram entidades aquáticas desta natureza que também inspiraram óperas como *Undine* (a de E. T. A. Hoffmann (1816) e a de Albert Lortzing (1845)), *Loreley* (1890) de Alfredo Catalani e *Rusalka* (1901) de Antonín Dvořák.

**Tabela 1 - Óperas dos filósofos e dos quatro elementos da Antiguidade**

Ópera	Compositor e ano de estreia
<i>Der lachende Democritus</i>	Georg Philipp Telemann (1703)
<i>Der gebesserte Demokrit</i>	Carl Ditters von Dittersdorf (1787)
<i>Eraclito e Demócrito</i>	Antonio Salieri (1795)
<i>La Pierre Philosophale</i> <sup>a</sup>	Marc-Antoine Charpentier (1681)
<i>Los Elementos</i>	Antonio de Literes (1718)
<i>Les Éléments</i> <sup>b</sup>	André-Cardinal Destouches (1721)
<i>Les Génies</i> <sup>c</sup>	Mademoiselle Duval (1736)
<i>Les Éléments</i> <sup>b</sup>	Jean-Féry Rebel (1737)
<i>Zaïs</i>	Jean-Philippe Rameau (1748)

<sup>a</sup> Música de cena

<sup>b</sup> ballet

<sup>c</sup> ópera-ballet

### Os elementos químicos e os seus heróis

Comece-se pelo elemento mais leve e mais abundante do Universo: o hidrogénio. Foi Robert Boyle, em 1671, que descobriu que a partir da reacção da limalha de ferro com alguns ácidos diluídos se obtinha um gás, o qual, em 1781, Henry Cavendish verificou que, ao arder, produzia água. Por essa razão, dois anos depois, Antoine Lavoisier viria a designá-lo por hidrogénio (que etimologicamente significa “gerador de água”).

Dado ser da fusão nuclear de hidrogénio em hélio que

ocorre no Sol que provém a energia que este astro irradia, e na qual toda a nossa existência se baseia, é com a ópera *Iris* (1898) de Pietro Mascagni, cuja acção decorre no Japão, o Império do Sol Nascente, que se celebra o primeiro elemento da TP. Esta obra começa justamente com o “Hino ao Sol”, constituindo uma magnífica celebração da vida: “*Son lo! Son lo la Vita!*” (“Sou eu! Sou eu a Vida!”).

O primeiro metal da Grupo 1, o lítio, foi detectado pela primeira vez em 1817, no mineral petalita, pelo sueco Johan August Arfwedson. Na altura este encontrava-se a trabalhar com Berzelius, que foi quem baptizou o elemento a partir de *λίθος* (*lithos*), o vocábulo grego que significa pedra. Contudo, só seria isolado quatro anos depois, pelo britânico William Thomas Brande, que recorreu à electrólise do óxido de lítio fundido.

Este metal encontra actualmente diversas aplicações industriais mas, desde o início dos anos noventa do século passado, tem vindo a intensificar-se o seu uso na produção de baterias de ião lítio, que, por serem recarregáveis, têm grande aplicação em equipamentos electrónicos portáteis, nomeadamente em telemóveis. Recorde-se que o Prémio Nobel da Química de 2019 foi atribuído a Akira Yoshino, Michael Stanley Whittingham e John Bannister Goodenough, pioneiros no desenvolvimento destas baterias.

Ao lítio poderá ser associada uma ópera que se tivesse sido composta na actualidade teria inevitavelmente um título diferente. Trata-se de *The telephone* (1947) de Gian Carlo Menotti,

que hoje certamente se chamaria *The mobile phone*, ou *The smartphone*. Nesta ópera cómica, cujo subtítulo é “Amor a três”, sempre que o personagem masculino tenta pedir a namorada em casamento é impedido de o fazer porque ela encontra-se ao telefone. Desesperado, decide ligar-lhe de uma cabine telefónica, sendo de lá que finalmente consegue concretizar o seu desejo.

Continuando nos metais do bloco s da TP, é altura de discorrer um pouco sobre um dos grandes heróis da história da química: Sir Humphry Davy (1778-1829), um dos pioneiros da electrólise (fig. 2). Recorrendo à pilha de Volta como fonte de corrente eléctrica, Davy conseguiu decompor muitos compostos iónicos nos seus constituintes, dando assim a conhecer novos elementos químicos. Só entre 1807 e 1808 isolou os seguintes metais alcalinos e alcalino-terrosos: potássio, sódio, bário, estrôncio, cálcio e magnésio. Em

1818 também isolaria o lítio a partir da electrólise do óxido de lítio fundido, ainda que em quantidades diminutas.

Natural de Penzance, na Cornualha, Davy não foi o único químico da família: o irmão John também era (descobriu o fosfénio), assim como o primo Edmund (descobriu a acetileno e uma forma esponjosa de platina). Dado não existir nenhuma ópera sobre os químicos de Penzance, poderá, em alternativa, pensar-se em *The Pirates of Penzance* (1879), a ópera cómica de Gilbert e Sullivan que inclui no I acto o célebre momento musical “*I am the very model of a modern Major-General*”, cujo texto, repleto de referências históricas e culturais, satirizava a

reduzida formação militar dos oficiais do exército britânico da época vitoriana (fig. 3).



Figura 2 - Humphry Davy (1778-1829).



Figura 3 - Poster de 1880 para uma produção de *The Pirates of Penzance*.

Passando do bloco *s* para o bloco *p*, detenhamo-nos no boro, o primeiro elemento do Grupo 13. Também este semi-metal foi pela primeira vez isolado pelo extraordinário químico de Penzance, que em 1808 utilizou potássio para reduzir o ácido bórico. Já o isolamento do elemento que se lhe segue, o alumínio, é atribuído ao alemão Friedrich Wöhler, o que terá ocorrido em 1827. No entanto, Davy, ao identificar a presença do potássio no alúmen (sulfato duplo de alumínio e potássio), em 1808 já suspeitara que aquele continha outro metal, que designou por *aluminum*.

Avance-se para o Grupo 14, cujo primeiro elemento, o carbono, é o quarto mais abundante no Universo (depois do hidrogénio, do hélio e do oxigénio), sendo conhecido do Homem desde tempos imemoriais. O carbono, quase obrigatoriamente, é festejado com a ária "*Scintille, diamant*", popularmente conhecida como "ária do diamante", do II acto de *Les contes de Hoffmann* (1881) de Jacques Offenbach, uma ópera cheia de reminiscências alquímicas. Nesta ária, o maldoso mágico Dapertutto alude ao diamante do seu anel, que tem o poder de controlar Giulietta, esperando assim capturar Hoffman. Refira-se a talhe de foice que foi Antoine Lavoisier, em 1772, que, ao fazer a combustão do diamante numa fornalha solar (com recurso a lentes convergentes), mostrou tratar-se de uma forma de carbono (fig. 4).

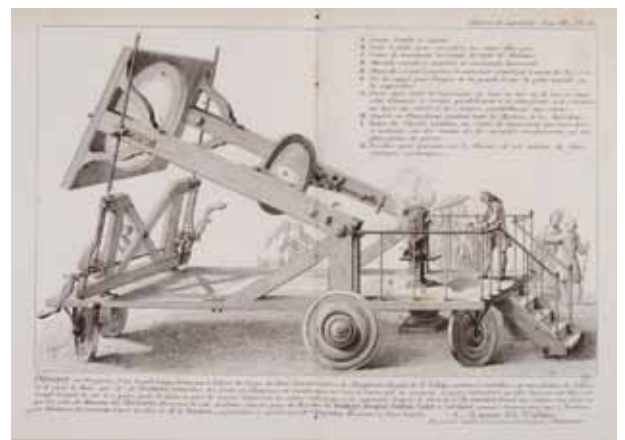


Figura 4 - Antoine Lavoisier e a sua fornalha solar (gravura de 1862).

Prossiga-se para o primeiro elemento do Grupo 15, o nitrogénio. A sua descoberta terá ocorrido em 1772, pela mão do escocês Daniel Rutherford, aluno do célebre Joseph Black na Universidade de Edimburgo. D. Rutherford verificou que o gás em causa ( $N_2$ ), que designou por "ar flogisticado", não alimentava as combustões, embora não lhe tenha ocorrido poder tratar-se de uma nova substância elementar. Este "ar flogisticado" também foi investigado na época por Carl Scheele, Henry Cavendish e Joseph Priestley. Por sua vez, Lavoisier, sempre atento aos últimos desenvolvimentos científicos, chamou-lhe *azote*, do grego *ἀζωτικός* (*azotikos*), que significa 'sem vida'. Com efeito, cedo se verificou que animais e plantas morriam numa atmosfera deste gás. Em países como a Alemanha, a designação de *azote* não se implantou, apesar de o termo alemão para este elemento, *Stickstoff*, igualmente aludir ao facto de se tratar de um gás sufocante (nesta língua, a palavra para sufocar é *ersticken*). Os ingleses, por sua vez, optaram pela designação de *nitrogen*, apesar de este vocábulo provir de *nitrogène*, sugerido em 1790 pelo químico francês Jean-Antoine Chaptal, a partir de *nitre*, termo usado para designar o salitre (nitrato de potássio).

O nitrogénio forma vários óxidos, entre eles o nítrico, NO, e o nitroso,  $N_2O$ , que foram dos primeiros a se-



rem identificados. Ao primeiro foi reconhecido, na década de 80 do século passado, um importante papel biológico como agente vasodilatador. Por sua vez, o óxido nitroso - preparado pela primeira vez em 1772 por Joseph Priestley, por reacção a quente da limalha de ferro com ácido nítrico - tem diversas aplicações industriais, nomeadamente no *chantilly* em *spray* e em motores de combustão interna, assim como medicinais (anestésico e analgésico). Tem também algum uso com fins recreativos, uma vez que ao ser inalado provoca euforia, fenómeno cuja descoberta remonta a 1799 e que desde logo a classe alta inglesa passou a explorar nas célebres *laughing gas parties* (fig. 5a). O médico inglês Thomas Beddoes tinha recentemente criado em Bristol a Instituição Pneumática, destinada à investigação das propriedades terapêuticas dos gases, com vista sobretudo ao tratamento da tuberculose. Humphry Davy, que dirigia o laboratório daquela instituição, experimentou nele próprio o óxido nitroso, tendo-o cognominado de gás hilariante (fig. 5b).



Figura 5 - Gravuras cómicas dos inícios do século XIX. Em cima uma *laughing gas party*; em baixo uma sessão de apresentação das novas descobertas pneumáticas na Royal Institution (Davy, atrás da bancada, segura um fole).

A ária escolhida para ilustrar o nitrogénio pertence à ópera de câmara com que a Escola de Química da Universidade de Edimburgo assinalou, em 2013, os 300 anos da sua fundação. Recorde-se que Joseph Black - descobridor do dióxido de carbono e do conceito de calor latente - leccionou nesta instituição. A ópera em causa é *Breathe Freely*, da autoria do compositor escocês Julian Wagstaff. A acção, que decorre durante a Segunda Guerra Mundial, desenrola-se em

torno da questão da guerra química. A ária em causa bem poderia chamar-se “ária do nitrogénio”, ou melhor, “ária do *Stickstoff*”<sup>§</sup>.

Ainda no Grupo 15, detenhamo-nos agora no arsénio, um semi-metal que faz parte dos argumentos de muitas óperas, quer como agente de homicídio quer de suicídio. Descoberto por volta de 1250 por Alberto Magno (um eclesiástico alemão que se dedicou à alquimia), trata-se de um elemento com várias formas alotrópicas, das quais a cinzenta é a mais comum. O seu nome provém do grego *ἀρσενικό* (*arsenikon*), que, por sua vez, tem origem na palavra siríaca para amarelo, que é a cor do auripigmento, um minério que quimicamente é sulfureto de arsénio(III). A toxicidade deste elemento está associada à elevada afinidade que, no estado de oxidação III, tem para biomoléculas com grupos tiol, bem como à possibilidade de, no estado de oxidação V, poder substituir o fósforo no fosfato, inibindo várias enzimas e comprometendo a produção de ATP (trifosfato de adenosina). Uma das muitas óperas que ilustram na perfeição o seu efeito letal é *Lucrezia Borgia* (1834) de Gaetano Donizetti. Frequentemente, os Bórgia adicionavam óxido de arsénio(III) ao vinho que ofereciam a “convidados especiais”.

Passe-se ao Grupo 16 e ao seu primeiro elemento, o oxigénio. Em finais do século XVII, Robert Boyle provou que é necessário ar para que os corpos inflamáveis ardam. Complementando esta conclusão, John Mayow, seu contemporâneo, mostrou que somente uma parte do ar é necessária para as combustões, deduzindo tratar-se da mesma que os animais utilizam na respiração. Outra grande contribuição deste cientista britânico para a descoberta do oxigénio foi o ter concluído que o aumento de massa do antimónio após submetido à acção de uma chama se devia à sua combinação com aquela parte do ar.

Muitos cientistas ao longo dos séculos XVII e XVIII produziram dióxido de oxigénio (O<sub>2</sub>) no decurso das suas experiências, sem contudo o terem identificado como uma substância elementar, o que sem dúvida se terá devido à dominante e falaciosa teoria do flogisto, segundo a qual um corpo ao arder libertava o seu flogisto. Originalmente criada na segunda metade do século XVII, pelo alquimista alemão Johann Becher, e estabelecida por Georg Stahl no início do século XVIII, esta intrincada teoria prevaleceu quase até ao final do século XVIII.

Carl Scheele (fig. 6), na Suécia, entre 1771 e 1772, terá sido o primeiro a descobrir o oxigénio gasoso, ao obtê-lo a partir da decomposição térmica do óxido de mercúrio(II) e de vários nitratos. Chamou-lhe “ar do fogo”, por suportar as combustões. Descreveu o seu achado no *Tratado Químico sobre Ar e Fogo*, cujo manuscrito enviou para publicação em 1775 mas que ficou no prelo durante dois anos. Em Inglaterra, em Agosto de 1774, Joseph Priestley (fig. 6) também decompôs o óxido de mercúrio(II), verificando que o gás libertado, a que viria a chamar “ar deflogisticado”, alimentava as combustões e tornava mais activos os ratinhos que o respiravam. Publicou os seus resultados em 1775 num artigo intitulado “An Account of Further Discoveries in Air”. Em Outubro de 1774, Priestley visitou Lavoisier em Paris, a quem relatou as suas experiências e a obtenção de um novo “ar”. Um mês antes, Scheele também

<sup>§</sup> Encontra-se disponível no mercado uma gravação desta ópera.

terá escrito uma carta ao químico francês, descrevendo-lhe a sua descoberta, embora este nunca tenha admitido tê-la recebido. De qualquer modo, Lavoisier (fig. 6) foi o primeiro a interpretar correctamente o fenómeno da combustão e a efectuar um estudo experimental quantitativo da oxidação, provando que o gás em causa correspondia a um novo elemento, como deixou patente no artigo “Mémoire sur la combustion en général”, publicado em 1777, arrasando assim de vez a falaciosa teoria do flogisto. Seguidamente, conjuntamente com Pierre-Simon de Laplace, iniciaria o estudo da relação entre respiração e produção de calor.



Figura 6 - Esquerda: Carl Wilhelm Scheele (1742-1786). Centro: Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) e a sua mulher, Marie-Anne Pierrette Paulze. Direita: Joseph Priestley (1733-1804).

Lavoisier chamara inicialmente “ar vital” ao novo gás, mas posteriormente designou-o por oxigénio, nome proveniente dos vocábulos gregos *ὄξύς* (*oxys*), que significa ácido, e *γενής* (*genes*), gerador, por acreditar que este elemento estava presente em todos os ácidos. Tal erro iria ser corrigido por químicos como Humphry Davy, mas entretanto o nome já se instalara.

Em termos operáticos não haverá melhor homenagem ao oxigénio do que com *Le docteur Ox* (1877), a ópera cómica de Jacques Offenbach. Baseada na novela homónima de Jules Verne, relata as aventuras de um cientista que resolve investigar os efeitos sobre os seres vivos de um gás secreto, obtido a partir da electrólise da água.

Continue-se ainda no grupo dos calcogénios, designação que significa ‘geradores de minérios’. A descoberta do polónio (e do rádio, este um metal alcalino-terroso) por Marie e Pierre Curie, em 1898, é já lendária. Não isolaram porém o polónio (e o rádio só o seria em 1910), tendo os louros de tal proeza ido para o alemão Willy Marckwald, que o obteve em 1902, embora à época pensasse tratar-se de um novo elemento, a que se chamou radiotelúrio.

O polónio é um metal extremamente raro que no estado sólido apresenta duas formas alotrópicas, a alfa (sistema cristalino cúbico) e a beta (sistema cristalino romboédrico). Possui 41 isótopos, todos instáveis, sendo o de ocorrência natural mais abundante o polónio-210, que é um produto da série de decaimento do urânio natural. Trata-se de um forte emissor alfa que sublima a cerca de 50 °C, formando moléculas diatómicas. De entre as suas aplicações práticas, que são escassas, podem citar-se o uso em dispositivos de eliminação de electricidade estática ou como fonte de energia térmica em equipamentos espaciais; misturado com berílio, ou em ligas com este, constitui uma fonte de neutrões.

Irène Joliot-Curie (fig. 7), filha do casal Curie, terá sido a primeira vítima deste elemento altamente radioactivo e tóxico, cuja dose letal se estima ser inferior a 10 microgramas. Esta cientista francesa morreu com leucemia em 1956, dez anos depois de ter explodido no laboratório, perto de si, uma cápsula selada contendo polónio. Em 2006, o russo Alexander Litvinenko, antigo espião do KGB, morreu de forma horrível escassas semanas após ter tomado um chá a que alguém adicionara este elemento.

Em 2011, Ano Internacional da Química, quando fazia um século que Marie Curie recebera o Prémio Nobel da Química, pela descoberta do polónio e do rádio, estreou em Paris a ópera *Madame Curie*, da autoria da compositora polaca, Elzbieta Sikora, ópera essa que, inevitavelmente, é aqui convocada.

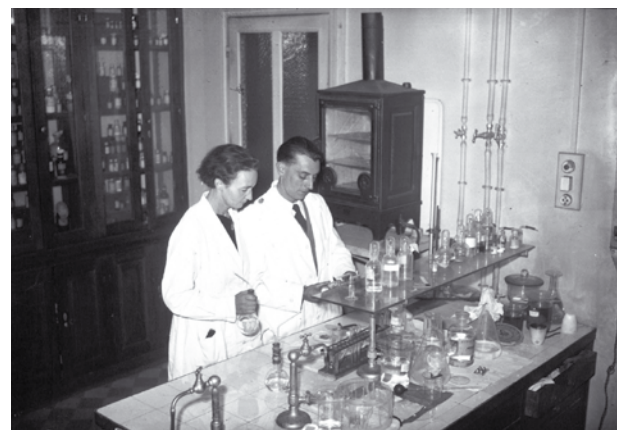


Figura 7 - Irène Joliot-Curie (1897-1956) e o marido, Frédéric Joliot-Curie (1900-1958).

Avance-se para o Grupo 17 (halogénios – ‘geradores de sais’) e em particular para o cloro. O cloreto de sódio, o composto mais comum deste elemento, é desde há muito usado como conservante alimentar. Por sua vez, o cloro gasoso ( $\text{Cl}_2$ ) terá sido obtido pelos alquimistas da idade média, porquanto da reacção da água-régia com o ouro liberta-se este gás amarelo esverdeado. No entanto só seria isolado em 1774, por Carl Scheele, que o obteve a partir da reacção do óxido de manganês(II) com ácido clorídrico. O químico sueco, que verificou várias das suas propriedades, nomeadamente como descolorante, designou-o por “ar de ácido muriático deflogisticado” (ácido muriático era o nome que então se dava ao ácido clorídrico). Como na época se acreditava que todos os ácidos continham oxigénio, foram vários os químicos, entre eles Claude Berthollet, que sugeriram que o gás preparado por Scheele seria um composto de oxigénio e de um outro elemento ainda desconhecido, a que se chamou *muriaticum*. Em 1810, Humphry Davy mostraria tratar-se de uma substância elementar, designando-a pelo nome por que hoje é conhecida, o qual deriva do grego *χλωρος* (*chloros*), que significa ‘verde pálido’.

Davy, cuja investigação também contribuiu para o conhecimento do flúor (só isolado em 1886 por Henri Moissan), teve um papel mais preponderante no caso



do iodo, isolado em 1811 a partir de algas marinhas pelo francês Bernard Courtois, que, todavia, não conseguiu provar tratar-se de um novo elemento. Foram Davy, na Inglaterra, e Gay-Lussac, em França, que, de forma independente, o demonstraram, tendo no entanto ambos reconhecido o justo crédito da descoberta a Courtois.

Por fim, os metais de transição. Comece-se pelo bloco *d* da TP, ao qual pertence o elemento mais cobinado ao longo dos tempos: o ouro. Não só é um dos poucos metais que à superfície terrestre se encontram na forma elementar (consequência de uma baixíssima reactividade), como também é colorido, no que só é igualado pelo cobre. Com uma baixa reflectância para os comprimentos de onda mais curtos do visível, o ouro reflecte sobretudo a luz de comprimentos de onda superiores a 500 nm, ou seja, na região entre o amarelo e o vermelho. A par destas características, o facto de ter um ponto de fusão relativamente baixo (1064 °C) contribuiu para que fosse um dos primeiros metais a ser trabalhado, o que terá acontecido no quarto milénio antes de cristo, no Leste Europeu.

A ânsia por ele gerada levou a que o Homem nutrisse durante longos séculos o desejo de o obter a partir da transmutação de metais inferiores, para, por fim, se resignar à ideia de a sua única fonte ser a crosta terrestre. Das muitas andanças garimpeiras ao longo da História da Humanidade, a Febre do Ouro da Califórnia, entre 1848 e 1855, será a mais célebre, de resto bem retratada na ópera *La Fanciulla del West* (1910) de Giacomo Puccini. No entanto, nenhuma outra ópera ilustra melhor as relações do Homem com o metal amarelo do que *O ouro do Reno*, de Richard Wagner.

O urânio é o elemento escolhido para representar o bloco *f* da TP. Com número atómico 92, era em 1934 o elemento mais pesado que se conhecia. Nesse ano, em Roma, o físico Enrico Fermi deu início a um estudo sistemático de irradiação dos elementos químicos com neutrões lentos. (O neutrão fora descoberto dois anos antes por James Chadwick, em Cambridge.) Apesar de ninguém saber ao certo o que acontecia no decurso da irradiação do urânio, ganhou força a ideia de que quando um neutrão lento colidia com o átomo deste elemento, era absorvido pelo núcleo e convertia-se num protão, gerando assim um novo elemento, mais pesado. Todavia, no final de 1938, a física austríaca Lise Meitner (fig. 8), que tinha vindo a trabalhar em Berlim neste domínio, conjuntamente com o químico alemão Otto Hahn (mas que entretanto se encontrava exilada em Estocolmo devido às suas origens judaicas), veio mostrar que o destino do átomo de urânio era bem diferente. Ao ser atingido por um neutrão lento, o seu núcleo começa a oscilar e a estender-se como uma gota de água, dividindo-se em dois núcleos mais leves, o que é acompanhado pela libertação de uma grande quantidade de energia, e de neutrões. Quanto a es-

tes, cedo se constatou que, sob certas condições, poderiam alimentar uma reacção em cadeia. De qualquer forma, no caso do urânio, só o isótopo 235 (cuja abundância natural é inferior a 1 %) é passível de fissão.

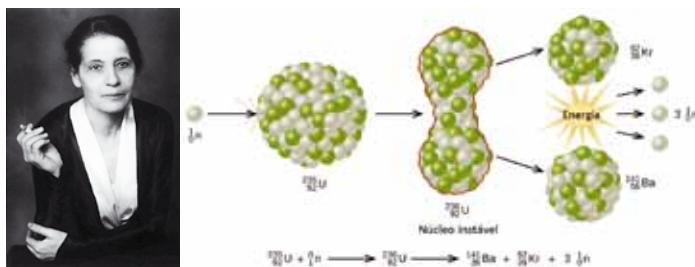


Figura 8 - Lise Meitner (1878-1968) e representação da fissão nuclear do urânio-235.

Escandalosamente, o Prémio Nobel da Química de 1944 foi para Otto Hahn, precisamente pela descoberta da fissão de núcleos pesados. A total omissão da contribuição de Meitner para a compreensão deste fenómeno nuclear é uma das maiores injustiças de sempre na história da atribuição do Prémio Nobel.

No início de Agosto de 1939, temendo que a Alemanha pudesse estar a preparar uma bomba extremamente destrutiva, baseada em urânio, o físico húngaro Leó Szilard, acolitado por outros cientistas, escreveu uma carta ao presidente norte-americano, Franklin Roosevelt, tendo a mesma sido assinada por Albert Einstein, o cientista mais famoso da época. A carta enfatizava a urgência dos EUA desenvolverem um programa nuclear. No dia 1 de Setembro desse ano, a invasão da Polónia pela Alemanha fez irromper a Segunda Guerra Mundial, tendo Roosevelt criado de imediato o Comité Consultivo para o Urânio, o qual deu luz verde à investigação sobre a fissão nuclear e a separação isotópica do urânio.

Com a entrada dos EUA na guerra, após o ataque japonês a Pearl Harbor, a 7 de Dezembro de 1941, afigurava-se mais urgente do que nunca a obtenção da bomba atómica, o que exigia urânio-235 e plutónio-239 em quantidades suficientes para a sustentação de reacções em cadeia nas proporções desejadas. O projecto que veio a corresponder a esse desafio, inicialmente sob a liderança científica de Arthur Compton e Ernest Lawrence, ficou sob a alçada militar do general Leslie Groves. Com algumas mudanças, a partir de 1942 passou a designar-se por Projecto Manhattan, tendo por centro nevrálgico o Laboratório de Los Alamos, no Novo México, e a direcção científica do físico norte-americano Robert Oppenheimer (fig. 9).

A guerra já terminara na Europa no início de Maio de 1945, com a derrota e rendição da Alemanha, quando, a 16 de Julho, a primeira bomba atómica foi testada. O mítico e místico Oppenheimer baptizou o ensaio com o nome de código de *Trinity Test* (mais tarde diria ter-se inspirado num poema do século XVII, de John Donne). O lugar escolhido para o teste atómico foi Jornada del Muerto, no deserto do Novo México, a cerca de 300 quilómetros de Los Alamos. Às 5h30 da manhã, Oppenheimer e muitos outros cientistas e militares, posicionados em abrigos a cerca de 35 km de distância, testemunharam a detonação da primeira bomba atómica (fig. 9).





Figura 9 - Robert Oppenheimer (1904-1967) e detonação do “gadget” do Trinity Test, a 16 de Julho de 1945.

São os factos históricos e humanos em torno do *Trinity Test* que a emocionante ópera *Doctor Atomic* de John Adams retrata. Esta obra estreou em São Francisco em 2005, exactamente sessenta anos após o lançamento das bombas atómicas de Hiroxima e Nagasaki.

### Coda

A terminar esta celebração da Tabela Periódica através da ópera, recorde-se a música de “*I am the very model of a modern Major-General*”, da ópera cómica *The Pirates of Penzance*. Não podia ter calhado melhor: foi precisamente essa melodia que Tom Lehrer (fig. 10) escolheu para a sua célebre canção dos elementos químicos (impressionante pela rapidez com que os enuncia!).



Figura 10 - Tom Lehrer (1928-)

### Referências

1. J. P. André, “A percepção pública da química através do teatro e da ópera”, *Química - Boletim da SPQ*, 42, 176 (2018)
2. J. P. André, “Opera and Poison: A Secret and Enjoyable Approach to Teaching and Learning Chemistry”, *J. Chem. Educ.* 90, 352 (2013)
3. J. P. André, “Viewing Scenes of the History of Chemistry through the Opera Glass”, *J. Chem. Educ.* 92, 66 (2015)
4. J. P. André, “A doença na ópera”, *Química - Boletim da SPQ*, 43, 199 (2019)
5. J. P. André, “A forja d’*O Anel do Nibelungo*: a contribuição da ciência”, *Química - Boletim da SPQ*, 41, 27 (2017)

### Sugestões de leitura

- J. P. André, *Poções e Paixões - Química e Ópera*, Gradiva, Lisboa, 2018
- A. Treener, *The Mercurial Chemist - A life of Sir Humphry*, Methuen, London, 1963
- J. Golinski, “Humphry Davy: The Experimental Self”, *Eighteenth-Century Studies*, 45,15 (2011)
- M. Elvira Weeks, “The discovery of the elements. IX. Three alkali metals: potassium, sodium, and lithium”, *J. Chem. Educ.* 9, 1035 (1932)
- M. Elvira Weeks, “The discovery of the elements. X. The alkaline earth metals and magnesium and cadmium”, *J. Chem. Educ.* 9, 1046 (1932)



João Paulo André, Licenciado em química (ramo educacional) pela Universidade de Coimbra e doutorado em química pela Universidade de Basileia, Suíça. É Professor Auxiliar do Departamento de Química da Universidade do Minho.

Os seus interesses académicos actuais incluem a história da química e a divulgação científica. Entre as suas publicações contam-se uma análise crítica da presença da química e da farmácia na obra de Eça de Queiroz (*in* “Dicionário de Eça de Queiroz”, Imprensa Nacional - Casa da Moeda, 2015) e o livro “*Poções e Paixões - Química e Ópera*” (Gradiva, 2018; 2ª edição, revista e aumentada, 2019).

# Expedição brasileira para observação do eclipse de 29 de maio de 1919

Luís Carlos Bassalo Crispino<sup>1</sup>, Carlos Henrique Veiga<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Física, Universidade Federal do Pará, 66075-110, Belém, PA, Brasil  
crispino@ufpa.br

<sup>2</sup> Observatório Nacional, Rua General José Cristino, 77, 20921-400, Rio de Janeiro, RJ, Brasil (Dated: 25 de Setembro de 2019)  
cave@on.br

Neste artigo tratamos da expedição organizada pelo Observatório Nacional brasileiro enviada para a cidade de Sobral, no Estado do Ceará, associada ao eclipse total do Sol, ocorrido em 29 de maio de 1919.

Palavras-chave: Eclipse total do Sol, Expedição brasileira, Eclipse de 29 de maio de 1919.

## I. Introdução

Há 100 anos ocorreu um eclipse que se tornou um dos mais famosos da História da Ciência - o eclipse total do Sol de 29 de maio de 1919 - por a ele ter associada a confirmação da Teoria da Relatividade Geral. Para a observação daquele fenômeno, o *Comité Permanente de Eclipse* [1] organizou duas expedições, uma para a Ilha do Príncipe, na costa oeste da África e outra para a cidade de Sobral, no estado do Ceará, situado na região nordeste do Brasil. A equipe britânica enviada para a África foi composta por Arthur Stanley Eddington e Edwin Turner Cottingham. Já a equipe britânica enviada para o Brasil foi composta por Andrew Claude de la Cherois Crommelin e Charles Rundle Davidson.

Com o objetivo de realizar medidas da variação do magnetismo terrestre e da eletricidade atmosférica durante aquele eclipse, foi organizada pela instituição norte-americana *Carnegie* uma expedição para Sobral com uma equipe composta por Daniel Maynard Wise e Andrew Thomson.

Para aquela mesma ocasião, com o objetivo de realizar medições da coroa solar e também para dar suporte às expedições estrangeiras, o Observatório Nacional (ON) brasileiro organizou sua própria expedição para Sobral.

Os resultados das expedições britânicas foram publicados nas Refs. [1,2]; os da expedição norte-

americana nas Refs. [3-5]; e os da expedição brasileira na Ref. [6]. Há na literatura, em língua portuguesa (cf., e. g., Refs. [7-24]) e inglesa (cf., e. g., Refs. [25-35]), várias publicações que tratam das expedições britânicas e norte-americana, com menos destaque a expedição brasileira.

Este artigo é dedicado à expedição do ON enviada ao Ceará em 1919, dando destaque aos instrumentos utilizados e aos profissionais que deles ficaram encarregados.

## II. Chegada e Instalação em Sobral

A equipe brasileira (cf. Fig. 1) para a observação em Sobral do eclipse de 29 de maio de 1919 era composta por Henrique Charles Morize, então diretor do ON, pelos engenheiros Domingos Fernandes Costa e Allyrio Huguene de Mattos, que eram astrónomos assistentes do ON, pelo matemático Lelio Itapuambyra Gama, calculador do ON, por Arthur de Castro Almeida, mecânico do ON e por



Figura 1 - Fotografia da equipe da expedição brasileira em Sobral. Da esquerda para a direita: Arthur de Castro Almeida, Luiz Rodrigues, Theophil Henry Lee, Henrique Charles Morize, Domingos Fernandes Costa, Allyrio Huguene de Mattos, Lelio Itapuambyra Gama e Primo Flores [23]. Cortesia da Biblioteca do Observatório Nacional, Rio de Janeiro.

Primo Flores, auxiliar de carpintaria do ON. Além destes, na comissão brasileira também estavam o químico Theophilo Henry Lee, do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, e o meteorologista Luiz Rodrigues. Completavam aquela comitiva as esposas de Morize, Costa e Mattos, cada uma levando consigo um filho, além do motorista António Rodrigues de Carvalho.

Chegaram em Sobral no dia 9 de maio, tendo deixado o Rio de Janeiro em 25 de abril, a bordo do navio a vapor *João Alfredo*. Em Sobral, hospedaram-se em duas casas situadas de frente para o Largo da Igreja de Nossa Senhora do Patrocínio, onde instalaram seus equipamentos (ver Fig. 2).



Figura 2 - Instalação brasileira em Sobral, destacando-se à direita a Igreja de Nossa Senhora do Patrocínio. Nesta imagem, à esquerda, também podem ser vistos os abrigos e o tubo da luneta Mailhat. Imagem reproduzida da Ref. [6]. Cortesia da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro.

As equipes britânica e norte-americana ficaram hospedadas em uma casa situada de frente para a pista de corrida de cavalos de Sobral, instalando seus equipamentos naquele local.

### III. Os instrumentos

#### A. Luneta Mailhat

Como maior instrumento transportado pelo ON para Sobral, estava uma luneta fotográfica do fabricante Mailhat.

Este telescópio refrator, com uma lente objetiva de 15 cm de diâmetro e 8 m de distância focal, permanecia disposto horizontalmente (ver Fig. 2), acoplado a um celostato do mesmo fabricante (ver Fig. 3). A luneta Mailhat foi obtida pelo ON para ser usada durante o eclipse solar de 10 de outubro de 1912, mas não chegou a ser completamente testada naquela ocasião.

Foram necessários vários ajustes para a utilização a contento deste telescópio durante o eclipse de 1919, incluindo a realização da arriscada operação de redução, no dia anterior ao eclipse, de cerca de 15 cm no comprimento do seu tubo, para a obtenção de imagens mais nítidas.

Vale ainda registrar que o diâmetro do Sol correspondia a mais da metade do diâmetro da imagem circular projetada pelo tubo da luneta Mailhat, restando apenas um anel com espessura correspondente a menos da metade do diâmetro solar para o registro da corôa, o que, de acordo com informações de eclipses anteriores, era insuficiente para capturar a imagem da corôa solar em sua totalidade.

Com a luneta Mailhat foi possível obter placas fotográficas de 18 cm X 24 cm. A operação desta luneta durante o eclipse de 1919 ficou ao encargo de Allyrio de Mattos. Sete placas fotográficas de vidro obtidas com a luneta Mailhat durante a fase total do eclipse de Sobral estão no acervo do ON, incluindo a associada à imagem da Fig. 4.

#### B. Luneta Steinheil

Outro telescópio levado para Sobral em 1919 e utilizado pela comissão brasileira, foi uma luneta equatorial fotográfica do fabricante Steinheil (ver Fig. 5), de Munique, na Alemanha. Tratava-se de

um instrumento com 10 cm de abertura e 1,50 m de distância focal, com objetiva dupla. Por meio de uma lente divergente, permitia a projeção de imagens em placas fotográficas de vidro de 9 cm X 12 cm.

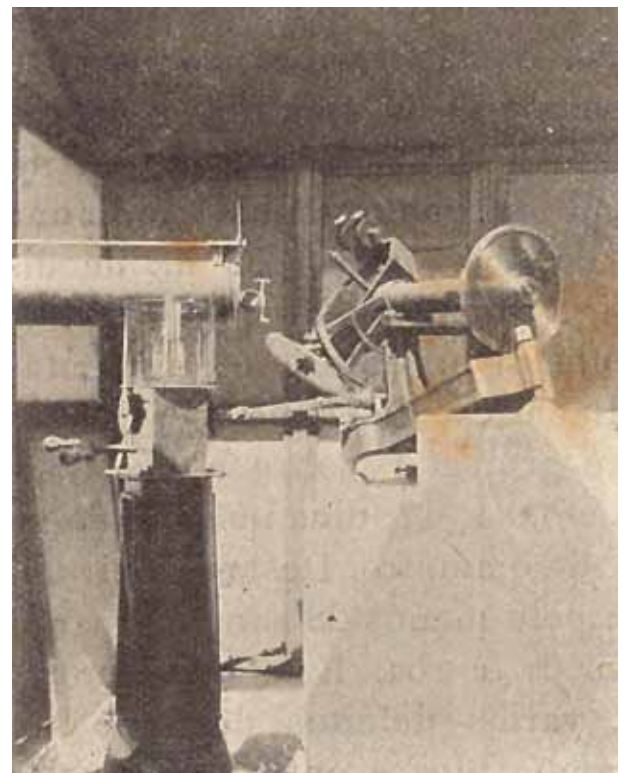


Figura 3 - Detalhe da luneta e do celostato Mailhat. Imagem reproduzida da Ref. [6]. Cortesia da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro.



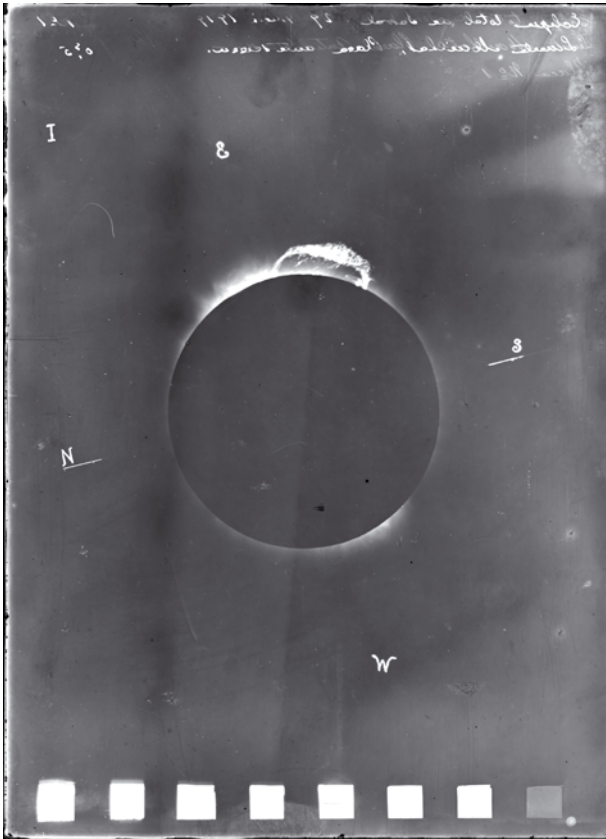


Figura 4 - Fotografia do Sol eclipsado, obtida por Allyrio de Mattos com a luneta Mailhat, em Sobral, durante o eclipse de 29 de maio de 1919. Cortesia da Biblioteca do Observatório Nacional, Rio de Janeiro.



Figura 5 - Luneta Steinheil, montada no interior do abrigo de proteção, em Sobral. Cortesia da Biblioteca do Observatório Nacional, Rio de Janeiro.

Esta luneta Steinheil havia sido levada pela comissão do ON para a cidade de Passa Quatro, em Minas Gerais, para observação do eclipse total do Sol de 1912.

No entanto, devido a condições climáticas bastante desfavoráveis, não foram obtidas imagens no Brasil do Sol eclipsado em 1912.

A operação desta luneta durante o eclipse de 1919, em Sobral, ficou ao encargo do próprio Morize. Houve problemas com o obturador e os caixilhos, e também com o mecanismo de relojoaria acoplado à luneta. Morize conseguiu realizar 6 exposições, sendo uma delas antes da totalidade. Segundo o próprio Morize, foram obtidos “2 bons clichês e um sofrível e 2 meios, devido ao mau funcionamento do obturador e do movimento de relojoaria e o céu ter ficado ainda exposto quando reapareceu o Sol” [15]. Há, no acervo do ON, cinco placas fotográficas (de 9 cm X 12 cm) obtidas com este instrumento, incluindo a associada à imagem da Fig. 6.

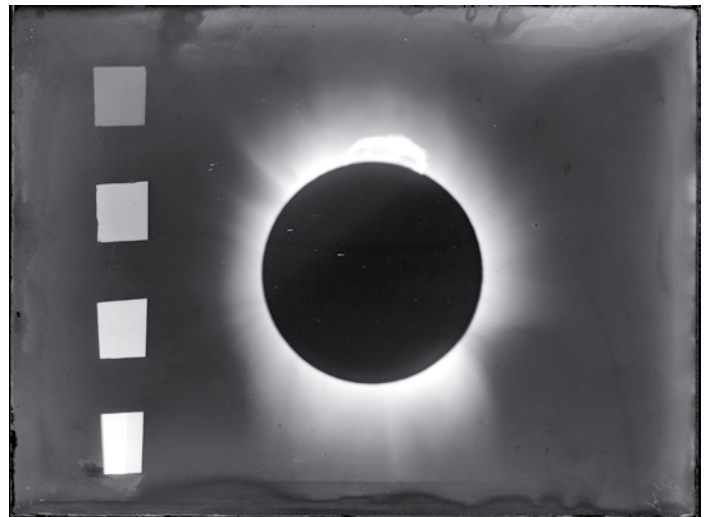


Figura 6 - Fotografia do Sol eclipsado, obtida por Henrique Morize com a luneta Steinheil, em Sobral, durante o eclipse de 29 de maio de 1919. Cortesia da Biblioteca do Observatório Nacional, Rio de Janeiro.

### C. Luneta(s) de Menor Porte

Além das lunetas Steinheil e Mailhat, a comitiva do ON levou para Sobral pelo menos mais uma luneta, de menor porte. Este instrumento adicional pode ser visto em algumas das fotografias existentes no acervo do ON, como é o caso das Figs. 1, 2, 7 e 8.

Vale mencionar que, na ocasião, também estava em Sobral o astrônomo amador Alfredo Leal da Costa, do Rio de Janeiro, que foi ao Ceará exclusivamente para a observação do eclipse. Na região central da Fig. 2 pode-se observar uma segunda luneta de pequeno porte, possivelmente o instrumento de observação de Alfredo da Costa.

### D. Espectrógrafos

Para o registro de propriedades físicas da coroa solar, foram levados e instalados pelo ON em Sobral três espectrógrafos (ver Fig. 9), todos do fabricante Hilger, cada um deles acoplado a uma câmera fotográfica e a um helios-tato independentes. As placas fotográficas utilizadas nas



Figura 7 - O astrônomo Allyrio de Mattos (à direita) realizando observações em Sobral. Cortesia da Biblioteca do Observatório Nacional, Rio de Janeiro.



Figura 8 - Henrique Morize e sua esposa, Rosa, posando para fotografia em Sobral. Cortesia da Biblioteca do Observatório Nacional, Rio de Janeiro.

câmeras dos espectrógrafos foram fabricadas por *Wrat-ten and Wainright*.

A operação dos espectrógrafos ficou ao encargo de Domingos Costa e de Theophilo Lee. O melhor dos espectrógrafos tinha sua óptica toda em quartzo de excelente qualidade, apropriado para a parte ultravioleta do es-

pectro solar. O heliostato deste espectrógrafo foi construído no próprio ON.

Infelizmente as placas fotográficas utilizadas no espectrógrafo maior não registraram imagens, provavelmente por terem sido carregadas incorretamente no caixilho.

Os outros dois espectrógrafos menores eram equipados com prismas de *flint*, permitindo a investigação de radiação com comprimento de onda entre 4000 e 8000 angströms. Sobre as placas fotográficas obtidas com estes dois aparelhos, registrou Morize: “Os dois pequenos espectrógrafos deram os limbos de coroa sobre um fundo de espectro contínuo” [15].



Figura 9 - Espectrógrafos instalados em Sobral. Cortesia do Museu de Astronomia e Ciências Afins, Rio de Janeiro.

### E. Cronômetro

Para a marcação do tempo durante o eclipse foi trazido do Rio de Janeiro um cronômetro, sendo instalado na Praça do Patrocínio. Esse cronômetro acionava um batedor de segundos, que foi construído em Sobral.

O aviso do início da fase total do eclipse, bem como a marcação em voz alta dos segundos decorridos, ficaram sob a responsabilidade de Lélío Gama.

### F. Câmeras fotográficas auxiliares

Para a obtenção de placas fotográficas do Sol, além dos dispositivos acoplados às lunetas Steinhil e Mailhat, foram também levadas duas máquinas fotográficas (ver Fig. 10), que não estavam acopladas a qualquer mecanismo de compensação da rotação terrestre. Uma delas era equipada com uma objetiva f/5.5 do fabricante Zeiss. A outra possuía uma teleobjetiva do mesmo fabricante.

Um fotógrafo local, conhecido como Sr. Pirajá, ficou incumbido do uso destas câmeras fotográficas durante o eclipse. Com a objetiva f/5.5 obtiveram-se três placas fotográficas regulares. Já com a teleobjetiva não foram obtidas imagens aproveitáveis.





Figura 10 - Instalação do ON na Praça do Patrocínio, em Sobral. Sobre uma armação de madeira, no centro da imagem, podem ser vistas duas máquinas fotográficas utilizadas para a obtenção de imagens do Sol eclipsado. O abrigo dos espectrógrafos é visto ao fundo, um pouco à esquerda. Na extrema esquerda é visto o abrigo da luneta Steinheil e na extrema direita são vistos os abrigos e o tubo da luneta Mailhat. Cortesia da Biblioteca do Observatório Nacional, Rio de Janeiro.

#### IV. Estação Meteorológica

Para registrar e avaliar as condições meteorológicas em Sobral, a equipe do ON levou consigo uma série de instrumentos, que ficaram sob responsabilidade de Luiz Rodrigues. Por terem sido levados estes instrumentos para Sobral, foi tomada a decisão de instalar na cidade uma estação meteorológica (ver Fig. 11), que foi montada na região da pista de corrida do Jockey Club, próximo a onde as comissões britânica e norte-americana ficaram hospedadas e realizaram seus experimentos durante o eclipse.



Figura 11 - Estação meteorológica instalada pelo ON em Sobral. Nesta imagem figuram o meteorologista Luiz Rodrigues (a esquerda) e o prefeito de Sobral à época, José Jácome de Oliveira. Cortesia da Biblioteca do Observatório Nacional, Rio de Janeiro.

#### V. Retorno ao Rio de Janeiro

Terminados os trabalhos e acondicionados os equipamentos, os membros da comissão brasileira viajaram de trem de Sobral para Camocim

no dia 12 de junho, onde permaneceram por alguns dias aguardando a chegada de um navio que pudesse transportá-los de volta para a capital do país.

Deixaram Camocim no dia 25 de junho, a bordo do vapor *Prudente de Moraes*. Após uma viagem de retorno contornando a costa nordeste do país, a comissão brasileira chegou de volta ao Rio de Janeiro em 11 de julho, sendo recepcionada pelo sub-diretor do ON, Julião de Oliveira Lacaille, e também por alguns familiares e amigos.

Após o desembarque, Morize deu entrevistas a alguns jornais cariocas, relatando o êxito e as atividades das expedições brasileiras e estrangeiras em Sobral, destacando as placas fotográficas da coroa solar obtidas pela comissão brasileira e “os bons serviços prestados pelos aparelhos do Observatório” [36, 37].

#### VI. Comentários Finais

Por ocasião do centenário deste acontecimento histórico, o presente artigo tratou da expedição brasileira à cidade cearense de Sobral, organizada pelo Observatório Nacional, associada ao eclipse total do Sol, ocorrido em 29 de maio de 1919, com ênfase nos equipamentos levados e operados pela equipe brasileira.

Um dos destaques dos resultados obtidos pela equipe brasileira em Sobral, foram as fotografias nas quais figuram uma grande protuberância solar (ver Figs. 4 e 6). Morize enviou algumas destas imagens para Charles Dillon Perrine, Diretor do Observatório de Córdoba, na Argentina, que as considerou “esplêndidas”, elogiando assim o trabalho da equipe brasileira [6].

Digno de nota foi também o agradecimento nominal a Morize publicado no artigo que divulgou os resultados obtidos pela equipe britânica que comprovaram a Teoria da Relatividade Geral de Einstein [1].

Vale registrar que Morize e sua esposa, Rosa (cf. Fig. 8), completaram 25 anos de casados (bodas de prata) no dia 26 de maio de 1919, quando estavam em Sobral. Naquela data, foi celebrada uma missa, na qual estiveram presentes os membros das comissões brasileiras e estrangeiras. Após a cerimônia, Theophilo Lee realizou um discurso em saudação ao casal. Morize conheceu sua esposa em acontecimentos relacionados com sua participação no eclipse total do Sol de 1893.

Este artigo foi concebido juntamente com a ideia de montagem de uma exposição de alguns dos instrumentos do ON utilizados em Sobral e que hoje estão sob a guarda do Museu de Astronomia e Ciências Afins, no Rio de Janeiro.

### Agradecimentos

Agradecemos a José Pizarro de Sande e Lemos, do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, por comentários e sugestões ao presente artigo. Somos também gratos a (i) Emerson Ferreira de Almeida, do Museu do Eclipse, Sobral; (ii) Diógenes Farias Gomes, da Universidade do Vale do Acaraú, Sobral; (iii) Elisa Oswaldo-Cruz Marinho e Bruno Ribeiro da Gama e Silva de Azevedo, da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro; (iv) Everaldo Pereira Frade, Luci Meri Guimarães, e Maria Celina Soares de Mello e Silva, do Museu de Astronomia e Ciências Afins, Rio de Janeiro; e (v) Jailson Souza de Alcaniz, Katia Teixeira dos Santos e Matheus Santos de Oliveira, do Observatório Nacional, no Rio de Janeiro. Registramos também nossos agradecimentos à Fundação Biblioteca Nacional, no Rio de Janeiro, e à Biblioteca Pública do Pará, em Belém. Também agradecemos o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001.

### Referências

- [1] F. Dyson, A. Eddington e C. Davidson, A determination of the deflection of light by the Sun's gravitational field, from observations made at the Total Eclipse of May 29, 1919. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **220** (1920), pp. 291-333.
- [2] A. C. D. Crommelin, The Eclipse Expedition to Sobral. *The Observatory*, London, **42** (1919), pp. 368-371.
- [3] S. J. Mauchly e A. Thomson, Results of atmospheric-electric observations made at Sobral, Brazil, during the total solar eclipse of May, 29 1919. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, **25** (1920), pp. 41-48.
- [4] L. A. Bauer, J. A. Fleming, H. W. Fisk e W. J. Peters, *Land Magnetic Observations 1914-1920. Researches of the Department of Terrestrial Magnetism*, volume IV. Carnegie Institution of Washington, Washington D.C., 1921.
- [5] L. A. Bauer, Results and Analysis of Magnetic Observations during the Solar Eclipse of May 29, 1919. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, **25** (1920), pp. 81-98.
- [6] H. Morize, Resultados obtidos pela comissão brasileira do eclipse de 29 de Maio de 1919. *Revista de Ciências*, **4** (1920), pp. 65-81.
- [7] A. M. N. dos Santos e C. Aurette, *Eddington e Einstein* (Gradiva, Lisboa, 1992).
- [8] J. M. F. Bassalo, *Crônicas da Física*, Tomo 4 (Editora da Universidade Federal do Pará, Belém, 1994).
- [9] I. C. Moreira, Amoroso Costa e a Introdução da Relatividade no Brasil. In *Introdução à Teoria da Relatividade*, M. A. Costa (Editora da UFRJ, Rio de Janeiro, 1995), pp. xv-xliii.
- [10] I. C. Moreira e A. A. P. Videira (orgs.), *Einstein e o Brasil* (Editora UFRJ, Rio de Janeiro, 1995).
- [11] J. Eisenstaedt e A. A. P. Videira, A prova cearense das teorias de Einstein ou como a cidade de Sobral entrou para a História da Ciência. *Ciência Hoje*, **20** (1995), pp. 24-33.
- [12] M. Paty, A recepção da Relatividade no Brasil e a influência das tradições científicas europeias. In: *A Ciência nas relações Brasil-França (1850-1950)*, organizado por A. I. Hamburger, M. A. M. Dantes, M. Paty, P. Petitjean (Edusp/Fapesp, São Paulo, 1996) pp. 143-181.
- [13] J. J. de Alencar Alves, *Luzes encurvam-se no céu - Einstein: mito e ciência* (Editora da Universidade Federal do Pará, Belém, 2000).
- [14] A. T. Tolmasquim, *Einstein: O viajante da relatividade na América do Sul* (Vieira & Lent Editora, Rio de Janeiro, 2003).
- [15] R. R. de F. Mourão, *Einstein: de Sobral para o Mundo* (Edições UVA, Sobral, 2003).
- [16] A. A. P. Videira, *Henrique Morize e o Ideal de Ciência Pura na República Velha* (Editora Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 2003).
- [17] A. A. P. Videira, Einstein e o eclipse de 1919. *Física na Escola*, **6** (2005), pp. 83-87.
- [18] A. A. P. Videira, O Radiante Céu do Brasil - O Eclipse de Sobral de 1919 e a Visita de Einstein ao Rio de Janeiro em 1925. In *Ciência & Ambiente*, **30** (2005), pp. 155-163.

- [19] P. Crawford e A. Simões, O eclipse de 29 de Maio de 1919 - A. S. Eddington e os astrónomos do Observatório da Tapada. *Gazeta de Física*, **32**, 2/3 (2009), pp. 22-28.
- [20] C. H. da Mota Barboza, Ciência e natureza nas expedições astronómicas para o Brasil (1850-1920). *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Hum.*, **5** (2010), pp. 273-294.
- [21] J. M. F. Bassalo e F. Caruso, *Einstein* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2013).
- [22] C. H. Veiga, K. T. dos Santos, M. L. Dias e R. N. da S. Junior, Placas Fotográficas do Eclipse de Sobral. *Ciência Hoje*, **56** (2015), pp. 34-38.
- [23] L. C. B. Crispino e M. C. de Lima, A teoria da relatividade de Einstein apresentada para a Amazônia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, **38** (2016), e4203.
- [24] L. C. B. Crispino e M. C. de Lima, Expedição norte-americana e iconografia inédita de Sobral em 1919. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, **40** (2018), e1601.
- [25] A. Pais, *'Subtle is the Lord...': The Science and the Life of Albert Einstein*, Oxford University Press, Oxford, 1982.
- [26] J. Earman e C. Glymour, Relativity and Eclipses: The British Eclipse Expeditions of 1919 and Their Predecessors. *Historical Studies in the Physical Sciences*, **11** (1980), pp. 49-85.
- [27] P. Coles, Einstein, Eddington and the 1919 Eclipse. arXiv:0102462 [astro-ph].
- [28] J. Crellin, *Einstein's Jury: The Race to Test Relativity* (Princeton University Press, Princeton, 2006).
- [29] J. Renn (editor), *The Genesis of General Relativity*, 4 vols. (Boston studies in the philosophy of science, Springer, Dordrecht, 2007).
- [30] E. Mota, P. Crawford e A. Simões, Einstein in Portugal: Eddington's expedition to Principe and the reactions of Portuguese astronomers (1917-25). *British Journal for the History of Science*, **42**, 2 (2008), pp. 245-273.
- [31] D. Kennefick, Testing relativity from the 1919 eclipse - a question of bias. *Physics Today*, **62**, 3 (2009), pp. 37-42.
- [32] M. C. de Lima e L. C. B. Crispino, Crommelin's and Davidson's visit to Amazonia and the 1919 total solar eclipse. *International Journal of Modern Physics D*, **25** (2016), 1641002-1-1641002-5.
- [33] L. C. B. Crispino e M. C. de Lima, Amazonia introduced to General Relativity: May 29th, 1919 Solar Eclipse from a North-Brazilian Point of View. *Physics in Perspective*, **18** (2016), pp. 379-354.
- [34] L. C. B. Crispino, Expeditions for the observation in Sobral, Brazil, of the May 29, 1919 total solar eclipse. *International Journal of Modern Physics D*, **27** (2018), 1843004-1-1843004-10.
- [35] L. C. Crispino e D. J. Kennefick, A hundred years of the first experimental test of general relativity. *Nature Physics* **15**, 5 (2019), pp. 416-419.
- [36] O Último Eclipse e as Impressões do Dr. Henrique Morize. *Correio da Manhã*, Rio de Janeiro, 12 de julho de 1919, p. 6.
- [37] Notas Sociaes. Hóspedes e Viajantes. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, 12 de julho de 1919, p. 10.



Luís Carlos Bassalo Crispino, é Bacharel em Física pela Universidade de São Paulo e Mestre e Doutor em Física pelo Instituto de Física Teórica da Universidade Estadual Paulista. Atualmente é Professor Titular e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Pará. Atua principalmente em temas de investigação sobre Teoria Quântica de Campos em Espaços-Tempos Curvos, Buracos Negros e Modelos Análogos da Gravitação. Atua também nas áreas de Divulgação Científica e História da Ciência e da Tecnologia.



Carlos Henrique Veiga, possui Graduação em Física pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Mestrado e Doutorado em Astronomia pelo Observatório Nacional; e Pós-Doutorado no *Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides* (Paris/França). Membro do *Working group on natural satellite - International Astronomical Union* e Pesquisador Titular do Observatório Nacional/MCTIC. Possui experiência na área de Astronomia, com ênfase em Astronomia Dinâmica, atuando principalmente nos seguintes temas: dinâmica orbital, posição de satélites, sistema solar e astrometria de satélites. Entre março de 2009 e setembro de 2017 exerceu a função de Chefe da Divisão de Atividades Educacionais (DAED), onde é promovida a divulgação científica do Observatório Nacional.



# Einstein e Eddington e o eclipse no Príncipe: Celebração e ciência 100 anos depois

José P. S. Lemos<sup>1</sup>, Carlos A. R. Herdeiro<sup>2</sup>, Vítor Cardoso<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Astrofísica e Gravitação - CENTRA, Departamento de Física, Instituto Superior Técnico – IST, Universidade de Lisboa, Avenida Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal; Email: joseleamos@ist.utl.pt

<sup>2</sup> Centro de Investigação e Desenvolvimento em Matemática e Aplicações - CIDMA, Departamento de Matemática, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-183 Aveiro, Portugal; Email: herdeiro@ua.pt

<sup>3</sup> Centro de Astrofísica e Gravitação - CENTRA, Departamento de Física, Instituto Superior Técnico – IST, Universidade de Lisboa, Avenida Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal.; Email: vitor.cardoso@tecnico.ulisboa.pt

## Resumo

Em 29 de Maio de 1919, na roça Sundry, ilha do Príncipe, num eclipse total, Eddington confirma a teoria da relatividade geral de Einstein pela primeira vez ao fotografar estrelas por detrás do Sol obscurecido. Fez-se história. Em Sobral, colegas de Eddington fotografam o mesmo eclipse e também concluem que a luz de estrelas distantes sofre uma deflexão ao passar pelo campo gravitacional do Sol conforme a relatividade geral. Com a comprovação da relatividade geral, uma teoria da gravitação a nível fundamental, a física passou a ser relativista em definitivo e delineou-se o seu futuro. A primeira guerra mundial tinha terminado há poucos meses e as feridas profundas entre as nações ainda estavam longe de sarar. A ciência queria estar acima disso mostrando que as pessoas e povos podiam se unir por um objetivo comum. Este ano comemorou-se os 100 anos deste feito com a conferência científica “*From Einstein and Eddington to LIGO: 100 years of gravitational light deflection*” no Príncipe para celebrar este marco. Reportamos aqui essa conferência de celebração.

## 1. O eclipse e a deflexão da luz em 1919

Em 29 de maio de 1919 ia acontecer um eclipse que teria importância fundamental. Estrelas distantes por detrás de um Sol tapado pela Lua poderiam ser vistas devido à deflexão dos raios de luz ao passar pelo campo gravitacional do próprio Sol.

Einstein tinha chegado à forma final da teoria da relatividade geral em 25 de novembro de 1915, data em que a apresentou à Academia de Ciências da Prússia. Nesta teoria, força da gravitação era trocada por curvatura do espaço-tempo. Além disso ele deduzira que para trajetórias de luz, provenientes de estrelas distantes, rasantes à superfície do Sol, a deflexão da trajetória seria de 1,75 segundos de arco. A teoria da gravitação de Newton fornecia metade desse valor, 0,875 segun-

dos de arco, e havia ainda a possibilidade de não haver nenhuma deflexão da luz no caso em que a luz não acoplasse de todo à gravitação. Einstein mostrara também que segundo a sua teoria, o perélio de Mercúrio avançava de acordo com as observações astronómicas, isto constituindo uma prova a posteriori, e que a luz sofreria um desvio espectral para o vermelho ao escalar um campo gravitacional, uma experiência difícil de fazer. Assim, a observação da deflexão da luz num eclipse do Sol poderia ser a primeira prova direta da teoria da relatividade geral.

Eddington, célebre astrofísico de Cambridge e conhecedor profundo da teoria, viu então no eclipse de 1919 uma oportunidade suprema para se testar a teoria de gravitação de Einstein e convenceu os astrofísicos ingleses, que resolveram que era mais do que tempo de testar essa previsão. Esse eclipse passaria ao longo de 12 mil km num trajeto de oeste para leste próximo da linha do equador. Duas expedições, cuidadosamente planeadas pelo astrónomo real, Frank Dyson, deixaram Inglaterra no início de março de 1919, rumaram a Lisboa e depois para o Funchal onde se separaram. Eddington e o seu assistente Cottingham, um artífice de relógios e outros instrumentos, foram para a ilha do Príncipe. Instalaram-se na roça Sundry pertencente a Jerónimo Carneiro, um lugar que tinha todas as infraestruturas necessárias. Para Sobral foram os astrónomos Crommelin e Davidson do *Royal Greenwich Observatory*, que instalaram os seus telescópios e celostatos na pista do *Jockey Clube* da cidade pois não haveria corridas de cavalos num futuro próximo.

O eclipse total do Sol durou apenas 302 segundos, ou cinco minutos e dois segundos. Com

instrumentos funcionando no limite, com melhor ou pior tempo, as duas expedições foram um sucesso, conseguiram captar fotografias de estrelas, cujos raios de luz passaram perto do Sol, em chapas que poderiam constituir a primeira prova direta da teoria da relatividade geral. Terminado o eclipse, os astrofísicos regressaram a Inglaterra para, através de instrumentos de medida de deslocamentos de estrelas em chapas fotográficas, examinarem as imagens recolhidas. Cinco meses depois, os resultados revelaram que as estrelas observadas perto do disco solar durante o eclipse estavam ligeiramente deslocadas em relação à sua posição normal no céu, na medida prevista pela teoria de Einstein, isto é, 1,75 segundos de arco para estrelas perto da borda do Sol.

Os resultados foram então anunciados no dia 6 de novembro de 1919 num encontro na *Royal Society* de Londres em conjunto com a *Royal Astronomical Society*. As observações tinham confirmado a teoria da relatividade geral e a euforia foi imensa. O mundo passou a saber que a teoria da gravitação correta não era a de Newton, mas sim a relatividade geral e Einstein tornou-se um homem célebre por todo o planeta instantaneamente. A física, deste momento em diante, passou a ser totalmente relativista, sabia-se agora que partículas e suas interações, incluindo a gravitação, obedeciam sem a menor dúvida às leis da relatividade. Este é um dos eventos mais aclamados na história da ciência.

Foi o início de uma longa e belíssima história de sucesso. Buracos negros, ondas gravitacionais e cosmologia são consequências maiores, novas e naturais da teoria e foram uma a uma sendo desvendadas, com a relatividade geral passando de forma impressionante um grande número de testes, o mais recente e notável sendo a deteção direta pelo LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory*) da primeira onda gravitacional em 2015. Esta onda, por seu lado, foi gerada pela colisão a distâncias cosmológicas de dois buracos negros de cerca de 30 massas solares cada um. A teoria mudou fundamentalmente a nossa compreensão da física e da astrofísica. Está também na base de tecnologias modernas indispensáveis como o GPS, em que a sincronização entre relógios dos satélites e relógios na Terra é feita com as correções relativistas para o tic-tac dos relógios.

Além de comprovar a teoria da relatividade geral, o acontecimento do dia 29 de maio de 1919 demonstrou mais uma vez que pessoas de diferentes países podiam unir-se num objetivo comum. Nessa época, a primeira guerra mundial tinha terminado há pouco tempo, e cientistas ingleses e alemães, representados por Eddington e por

Einstein, respetivamente, deram as mãos olhando para um futuro melhor.

O mundo da física e astrofísica voltou a unir-se para exaltar e celebrar este acontecimento. Dado o carácter histórico desta data, várias celebrações foram organizadas. Nomeadamente, no Príncipe, 100 anos depois, realizou-se a conferência "*From Einstein and Eddington to LIGO: 100 years of gravitational light deflection*", que teve o cunho do Centro de Astrofísica e Gravitação (CENTRA), unidade de investigação do Instituto Superior Técnico (IST). A iniciativa decorreu do dia 26 de maio ao dia 30, e teve como palco o resort Bom Bom a 3 km da roça Sundry, local das observações de Eddington. Houve também mais celebrações no Príncipe, em Sobral, em Lisboa, no Rio de Janeiro e em Londres.

## **2. A conferência científica no Príncipe em 2019: Celebração da história e da ciência**

Em 2015 celebraram-se por todo o planeta os cem anos da relatividade geral, para comemorar a publicação por Einstein em 25 de novembro de 1915 da forma final e definitiva da teoria. O CENTRA tendo como uma das suas áreas específicas de investigação os fundamentos da relatividade geral, comemorou em Lisboa essa efeméride com a conferência realizada no IST "*GR 100 years in Lisbon*", ver [1].

Ora, sendo a deflexão da luz ao passar no campo gravitacional do Sol um primeiro teste experimental à relatividade geral após esta estar elaborada, a comprovação histórica com sucesso dessa deflexão no eclipse de 29 de maio de 1919 por Eddington e colaboradores teria também que ser celebrada. Sem dúvida o eclipse de 29 de maio de 1919 é um dos mais aclamados eventos da história da ciência e de grande significado para a física em geral. O CENTRA, um centro de astrofísica e gravitação com trabalhos em testes experimentais da teoria da relatividade geral e de outras teorias alternativas da gravitação, não quis deixar passar esta data emblemática.

Os autores deste artigo consideraram por isso oportuno, lógico e importante ligar essa notável comprovação às atividades científicas do CENTRA e de outros cientistas portugueses ligados à área. Assim, em dezembro de 2015, aquando das celebrações dos cem anos da relatividade geral, foram iniciadas conversações para a organização de uma conferência científica em finais de maio de 2019 para se celebrar desta feita os cem anos da confirmação da relatividade geral com a deflexão da luz pelo campo gravitacional do Sol no eclipse de 29 de maio de 1919.

Como as observações foram feitas no Príncipe e em Sobral, seria natural que cientistas portugueses organizassem a celebração científica no Príncipe, à época território português. O principal objetivo da conferência seria de celebrar esta data histórica para refletir sobre o legado deixado por Einstein e Eddington relacionado com o eclipse e discutir os desenvolvimentos subsequentes impressionantes em astrofísica e gravitação. Seria uma conferência para trilhar a história, partilhar

os extraordinários avanços científicos e vislumbrar o futuro. Os oradores seriam escolhidos segundo estes temas. Tendo em conta que a organização científica do evento era do CENTRA, cujos membros têm desenvolvido investigação notável de nível internacional de frente nesta área e são líderes ou pertencem a grupos de liderança de investigação internacional, vários membros do CENTRA seriam oradores, em conjunto com especialistas de universidades e instituições de renome.

Tendo isto em mente tomaram-se as decisões. As datas escolhidas foram de 26 a 30 de maio de 2019, precisamente 100 anos depois do eclipse de 1919. O local escolhido no Príncipe para a conferência científica foi o resort Bom Bom. Este fica a 3 km em linha reta e a 9 km pela estrada da roça Sundry, o local onde Eddington fez as observações. Eddington escreve no artigo do eclipse que quando ele e Cottingham chegaram ao Príncipe, após averiguar o melhor local para se instalarem, escolheram montar os telescópios na roça Sundry. Curiosamente, este nome Sundry é um inglesamento de Sumdim, que no falar local significa Sr. Dias, um senhor que no início do século XIX possuía terras naquela área. Dentre astrofísica e gravitação, estabeleceu-se dar um foco na conferência científica em temas relacionados à confirmação da deflexão da luz num campo gravitacional, e temas de ponta em relatividade geral atuais como buracos negros, ondas gravitacionais e cosmologia. Por isso, o título “*From Einstein and Eddington to LIGO: 100 years of gravitational light deflection*” para a conferência foi escolhido. Quanto aos oradores, vários membros do CENTRA seriam oradores em conjunto com especialistas de universidades e instituições de ponta. Os oradores foram quinze, a saber, Alessandra Buonanno do Instituto Max Planck em Potsdam, Ana Mourão da Universidade de Lisboa, Carlos Herdeiro da Universidade de Lisboa e da Universidade de Aveiro, Clifford Will da Universidade da Flórida e da Universidade de Paris, Frank Eisenhauer do Instituto Max Planck em Garching, Ilídio Lopes da Universidade de Lisboa, Ismael Tereno da Universidade de Lisboa, João Costa do Instituto Universitário de Lisboa, John Barrow da Universidade de Cambridge, Jonathan Gair da Universidade de Edimburgo e do Instituto Max Planck em Potsdam, José Sande Lemos da Universidade de Lisboa, Pedro Ferreira da Universidade de Oxford, Thomas Sotiriou da Universidade de Nottingham, Ulrich Sperhake da Universidade de Cambridge e Vítor Cardoso da Universidade de Lisboa. A página da conferência [2] foi colocada e o poster da conferência saiu, ver Fig. 1 e [3].

# eddington at sundy

from einstein and eddington to ligo: 100 years of gravitational light deflection

May 26th to May 30th, 2019

Bom Bom Resort

Príncipe Island

1°41'48.5"N 7°24'08.6"E

## Speakers

Alessandra Buonanno (Max Planck Institute for Gravitational Physics Potsdam)  
 Ana Mourão (University of Lisbon)  
 Carlos Herdeiro (University of Lisbon and University of Aveiro)  
 Cliff Will (University of Florida and Institute of Astrophysics of Paris)  
 Frank Eisenhauer (Max Planck Institut, Garching)  
 Ilídio Lopes (University of Lisbon)  
 Ismael Tereno (University of Lisbon)  
 João Costa (Universitary Institute of Lisbon and University of Lisbon)  
 John Barrow (University of Cambridge)  
 Jonathan Gair (University of Edinburgh)  
 José Sande Lemos (University of Lisbon)  
 Pedro Ferreira (University of Oxford)  
 Thomas Sotiriou (University of Nottingham)  
 Ulrich Sperhake (University of Cambridge)  
 Vítor Cardoso (University of Lisbon)

## Scientific Organizing Committee

José Sande Lemos  
 Vítor Cardoso  
 Carlos Herdeiro

## Organization

CENTRA - Center for Astrophysics and Gravitation  
 IST - Instituto Superior Técnico, Lisbon

<https://science.esundy.tecnico.ulisboa.pt/en/>

## Sponsors



Figura 1 - Poster da conferência científica “*From Einstein and Eddington to LIGO: 100 years of gravitational light deflection*” no Príncipe.

Os oradores e participantes chegaram no dia 26 de maio ao Príncipe após um dia de escala em São Tomé e foi com enorme júbilo que todos celebrámos durante a conferência científica no Príncipe os 100 anos deste eclipse histórico. O resort Bom Bom situado à beira-mar num ponto maravilhoso da ilha com praias paradisíacas, tem uma sala de seminários rodeada por uma vegetação equatorial intensa de indescritível beleza, inspiradora para a conferência de celebração. Os dias 27 e 28 de maio foram dedicados a palestras, no dia 29 esteve-se na roça Sundry. No dia 27 houve quatro palestras de manhã onde se falou de testes experimentais e observacionais da relatividade geral, lentes gravitacionais, ondas gravitacionais, objetos compactos e relatividade numérica. No intervalo para café pôde-se passear pela natureza luxuriante e tiraram-se fotografias, ver Fig. 2 e Fig. 3.

À tarde houve outras quatro palestras onde se falou de física de buracos negros, o seu exterior,





Figura 2 - Os organizadores da conferência científica "From Einstein and Eddington to LIGO: 100 years of gravitational light deflection" no meio da vegetação luxuriante do resort Bom Bom, Príncipe. Da esquerda para a direita: Vitor Cardoso, José Sande Lemos, Carlos Herdeiro. Fotografia tirada por Ilídio Lopes na manhã do dia 27 de Maio de 2019.



Figura 3 - Os oradores da conferência científica "From Einstein and Eddington to LIGO: 100 years of gravitational light deflection" em frente à sala de seminários do resort Bom Bom, Príncipe. De cima para baixo e da esquerda para a direita: Pedro Ferreira; Alessandra Buonanno, Ismael Tereno, Cliff Will; João Costa, José Sande Lemos, Uli Spherhake; John Barrow, Carlos Herdeiro; Frank Eisenhauer, Ilídio Lopes; Jonathan Gair, Thomas Sotiriou, Vitor Cardoso, Ana Mourão. Fotografia tirada por Jorge Vicente de manhã no intervalo para café do dia 27 de maio de 2019.

o seu interior e propriedades fundamentais do horizonte de eventos. Seguiu-se uma discussão livre que terminou às 19h. À noite Tim de Zeuw do Instituto Max Planck em Garching, que esteve presente nas palestras do resort Bom Bom, falou para o público em geral sobre o futuro da astronomia numa recepção na roça Belo Monte.

No dia 29 de maio, os participantes da conferência científica estiveram na roça Sundy, ver Fig. 4. Em Sundy decorreu um evento público, com celebração especial, 100 anos exatos depois do eclipse. De particular relevância, as celebrações do Príncipe e as celebrações de Sobral juntaram-se numa teleconferência às 14h30 no Príncipe, 10h30 em Sobral, para uma celebração con-

O dia 28 foi dedicado a testes da relatividade geral e cosmologia com sete palestras. Durante os intervalos para café e no debate da tarde, houve discussões sobre o passado e futuro da astrofísica e gravitação, onde a parte histórica esteve sempre presente, destacando-se o papel criativo de Einstein e de Eddington. Falou-se de ondas gravitacionais e o que o LIGO ainda nos pode dar e o que pretendemos no futuro com o LISA (*Laser Interferometer Space Antenna*) um projeto da ESA para pôr satélites no espaço com o objectivo de detetar ondas gravitacionais provenientes de buracos negros supermassivos e do universo primordial. Além disso, falou-se das teorias de unificação atuais, que foram iniciadas e protagonizadas inclusive por Einstein e Eddington, e a sua união com a mecânica quântica e de como buracos negros podem elucidar uma formulação correta da gravitação quântica ainda por ser elaborada. José Sande Lemos e Jonathan Gair lembraram Donald Lynden-Bell da Universidade de Cambridge, seu orientador nos anos 1980 e 2000, respetivamente, grande admirador de Eddington, que ocupava no Instituto de Astronomia a sua sala com uma fotografia do grande astrofísico na parede sobre a mesa de trabalho e com uma famosa porta curva. Os trabalhos terminaram às 19h e seguiu-se uma recepção na Casa Rosa, a casa oficial do governador, em Santo António, em que participaram cientistas e representantes políticos de São Tomé e Príncipe e Portugal.



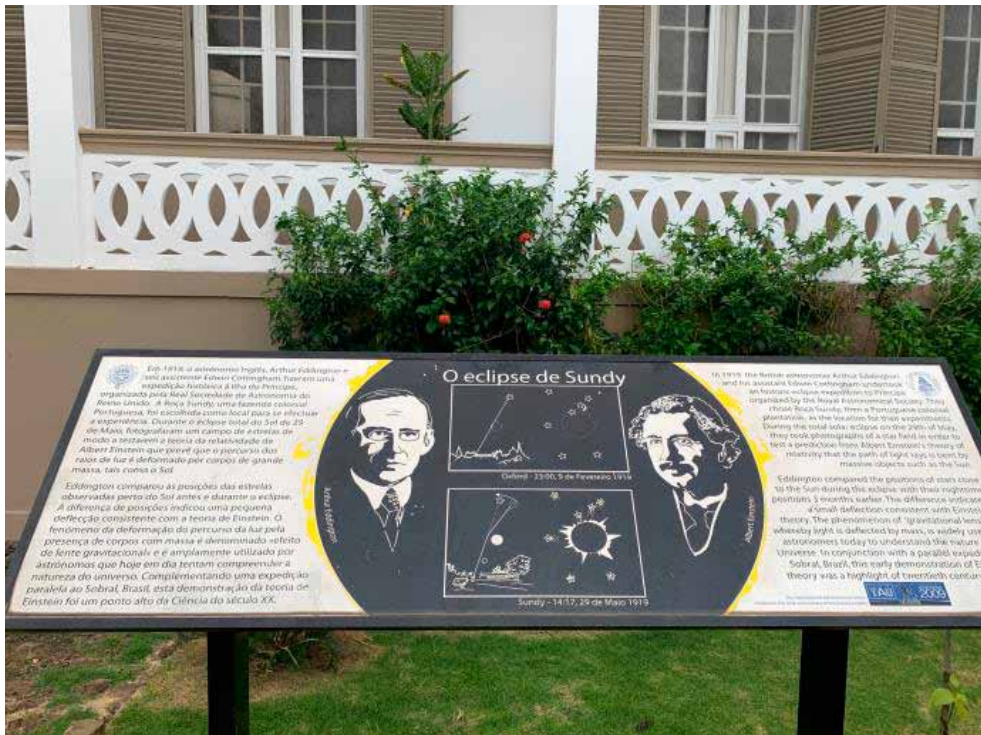


Figura 4 - Placa informativa na roça Sundry. Fotografia tirada por Ilídio Lopes no dia 29 de Maio de 2019.

junta. Falaram por esta ordem, o Prefeito de Sobral Ivo Gomes, o Primeiro Ministro de São Tomé e Príncipe Jorge Bom Jesus, o Presidente do Governo Regional do Príncipe José Cassandra, o Governador do Ceará Camilo Santana, o Presidente da Academia Brasileira de Ciências Luiz Davydovich, o Presidente da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência Ildeu Moreira, o Reitor da Universidade de São Tomé e Príncipe Aires Bruzaca de Meneses, a Presidente da União Astronómica Internacional Ewine van Dishoeck e o Presidente do Centro de Astrofísica e Gravitação de Lisboa e Presidente da Assembleia Geral da Sociedade Portuguesa de Relatividade e Gravitação José Sande Lemos, e todos se congratularam por este momento especial.

A conferência científica apareceu em CENTRA News [4], na IST News [5] e teve cobertura no New York Times [6]. Para a história e a ciência do eclipse de 1919 ver [7]. Houve muitas celebrações por todo o mundo, referimos algumas em seguida.

### 3. Outras celebrações em 2019

#### 3.1 Eddington at Sundry no Príncipe

Para as celebrações no Príncipe houve um abrangente projeto educacional e científico “Eddington na Sundry: 100 anos depois” que foi organizado pela coordenadora Joana Latas em conjunto com várias entidades, em particular o Governo Regional do Príncipe. Foi um projeto com várias frentes e para ter continuidade, ver [8]. Um objetivo do projeto foi atrair a atenção da população do Príncipe para a relevância das observações de 1919 e para a ciência em geral. Celebrações no local ocorreram de 25 a 30 de maio, o ponto alto tendo-se dado na roça Sundry no dia 29 de maio de 2019, onde

ao longo do dia estiveram presentes autoridades nacionais e internacionais. Nesse dia a população do Príncipe mostrou o melhor da sua hospitalidade para com as centenas de participantes que vieram de fora. Foi inaugurada uma exposição na própria roça Sundry relativa à descoberta da deflexão da luz que pretende ser permanente. O Príncipe e Sobral uniram-se numa videoconferência conjunta. A conferência científica que relatámos integrou-se neste abrangente projeto educacional e científico.

#### 3.2 Sobral

No Sobral houve uma conferência científica e um grande evento público de 26 a 31 de maio de 2019, que foi de encontro às expectativas e à dimensão da descoberta.

#### 3.3 Lisboa

Um número especial da Gazeta de Física foi publicado em maio de 2019 para celebrar os eventos no Príncipe e em Sobral [9,10]. Uma exposição inaugurada em maio de 2019 no Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa com o título “E3 - Einstein, Eddington e o Eclipse” foi montada. O Encontro Nacional de Astronomia e Astrofísica XXIX foi dedicado a Eddington e ao eclipse, ver [11].

#### 3.4 Rio de Janeiro

No Observatório Nacional do Rio de Janeiro, casa do seu prestigiado diretor Henrique Morize, que apoiou a expedição inglesa e esteve presente em Sobral para observar a coroa solar, houve um encontro de celebração em maio de 2019.

#### 3.5 Londres

Em Londres houve um evento público no dia 6 de novembro de 2019, organizado pela *Royal Astronomical Society* de celebração da reunião histórica de 6 de novembro de 1919, presidida por J. J. Thomson, o homem do elétron e presidente da *Royal Society* à época, que juntou as duas sociedades para anunciar oficialmente os resultados das medidas da deflexão da luz feitas por Dyson, Crommelin, Davidson e Eddington que confirmaram a teoria da gravitação de Einstein.

### 3.6 Futuro

Esperamos que esta data de 29 de maio seja sempre comemorada, com especial ênfase a cada 100 anos a contar de 1919, como fizemos agora pela primeira vez, e que Einstein, Eddington, o Príncipe e Sobral sejam lembrados nesta data. Será sinal que a teoria da gravitação, realizada na relatividade geral ou eventualmente noutra teoria mais fundamental, continua próspera.

### Agradecimentos

Agradecemos a Phillipe Moreau e a Beatriz Geraldes da empresa HBD pela assistência com grande simpatia na logística da conferência científica no resort Bom Bom, e a Nuno Santos e José Quina, gerentes do resort Bom Bom, por toda a ajuda no resort durante a conferência. Agradecemos a Joana Latas, coordenadora da organização Eddington at Sundy, por toda a colaboração dada antes e durante a nossa conferência científica. Agradecemos a Dulce Conceição do CENTRA por lidar com todos os processos administrativos para a conferência e a Sérgio Almeida pela elaboração da página web da conferência. Agradecemos ao CENTRA e a seus membros pelo seu apoio total para a realização da conferência científica. Agradecemos ao Instituto Superior Técnico, em particular ao nosso colega Luís Viseu Melo, por toda a assessoria e simplificações nos processos financeiros e administrativos.

Agradecemos à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal, pelo apoio financeiro através do Projeto No. UID/FIS/00099/2019.

### Referências

- [1] <https://centra.tecnico.ulisboa.pt/network/gr100yearsinlisbon/>
- [2] <https://science.esundy.tecnico.ulisboa.pt/en/>
- [3] <https://science.esundy.tecnico.ulisboa.pt/en/poster/>
- [4] <https://centra.tecnico.ulisboa.pt/news/?id=5610>
- [5] <https://tecnico.ulisboa.pt/pt/noticias/100-anos-depois-do-eclipse-que-confirmou-a-teoria-da-relatividade/> ou <https://tecnico.ulisboa.pt/en/news/100-years-after-the-eclipse-that-confirmed-the-general-theory-of-relativity/>
- [6] <https://www.nytimes.com/2019/05/28/science/solar-eclipse-einstein-physics.html>
- [7] J. P. S. Lemos, "Shadow of the Moon and general relativity: Einstein, Dyson, Eddington and the 1919 light deflection", *Revista Brasileira de Ensino de Física* 41 suppl. 1, e20190260 (2019); arXiv:1912.05587 [physics.hist-ph].
- [8] <http://esundy.org/index.php/en/homepage/>

[9] A. J. S. Fitas, P. Crawford, J. P. S. Lemos (editors), Einstein, Eddington, Eclipse (Número especial dedicado à exposição E3 - Einstein Eddington e o Eclipse, *Gazeta de Física*, Lisboa, 2019).

[10] J. P. S. Lemos, C. A. R. Herdeiro, V. Cardoso, "Einstein e Eddington e as consequências da relatividade geral: Buracos negros e ondas gravitacionais", in Einstein, Eddington, Eclipse, editors A. J. S. Fitas, P. Crawford, J. P. S. Lemos (Número especial dedicado à exposição E3 - Einstein Eddington e o Eclipse, *Gazeta de Física*, Lisbon, 2019), p. 36; para a versão em inglês ver J. P. S. Lemos, C. A. R. Herdeiro, V. Cardoso, "Einstein, Eddington and the consequences of general relativity: Black holes and gravitational waves", arXiv:1911.01959 [physics.hist-ph] (2009).

[11] <https://centra.tecnico.ulisboa.pt/network/costar/enaa2019/>



José Pizarro de Sande e Lemos, nasceu em 1957 em Lisboa. Foi aluno do Colégio São João de Brito e do Liceu Camões em Lisboa e do Colégio São Vicente no Rio de Janeiro. Obteve o Mestrado em Física em 1982 pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e o PhD em Astrofísica e Gravitação em 1987 pela

Universidade de Cambridge. Trabalhou no Observatório Nacional do Rio de Janeiro de 1988 a 1996 onde foi Investigador Titular. Realizou a Agregação em 1996 no Instituto Superior Técnico no qual é Professor Catedrático no Departamento de Física e presidente do Centro de Astrofísica e Gravitação (CENTRA). É membro fundador e o presidente em exercício da Sociedade Portuguesa de Relatividade e Gravitação. O cerne da sua investigação é em física e astrofísica de buracos negros. Tem cerca de 200 trabalhos publicados em revistas internacionais na área de astrofísica relativista, gravitação, buracos negros, ondas gravitacionais, cosmologia e física fundamental com um total de 6000 citações. Obteve distinction no famoso exame Part III of the Mathematical Tripos de Cambridge e foi eleito Senior Scholar do Trinity College. Recebeu o prémio UTL/Santander de 2009, atribuído ao professor e investigador da Universidade de Lisboa que se destacou na respetiva área pelo número e pelo impacto dos trabalhos que publicou em revistas científicas de circulação internacional e foi galardoado com o prémio vitalício de Outstanding Referee da American Physical Society em 2010 pela qualidade dos seus pareceres. Organizou a conferência científica *From Einstein and Eddington to LIGO: 100 years of gravitational light deflection* no Príncipe, de 26 a 30 de maio de 2019, em comemoração dos 100 anos do eclipse solar histórico.





Carlos Herdeiro, é licenciado em Física/Matemática aplicada pela Universidade do Porto e doutorado em Física Teórica pela Universidade de Cambridge (2001), em Inglaterra. Trabalhou nos departamentos de Física: da Universidade de Stanford, EUA (2001-2002), da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (2002-2010), da Universidade de Aveiro (2010-2018) e do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa (2018-2019). É atualmente Investigador Coordenador de carreira no Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro onde coordena o grupo de Geometria e Dinâmica Gravitacional do Centro de Investigação em Matemática e Aplicações (CIDMA). A sua investigação centra-se no interface da gravitação, cosmologia, astrofísica, física-matemática e física de altas energias, tendo publicado mais de 150 artigos em revistas internacionais em vários temas neste interface e dirigido duas redes internacionais Marie Curie financiadas pela União Europeia. É também autor de um livro de texto universitário de mecânica quântica. Foi presidente da delegação norte da SPF (2007-2010). É membro fundador e vice-presidente em exercício da Sociedade Portuguesa de Relatividade e Gravitação.



Vitor Cardoso, é Professor Cate-drático e Investigador no Departamento de Física do Instituto Superior Técnico, onde lidera o Grupo de Gravitação (GRIT) do CENTRA. É Scientific Associate no CERN e Visiting Professor na Universidade de Amsterdão. Os seus interesses de investigação incidem sobre gravitação, em particular ondas gravitacionais e buracos negros. É autor de um livro e de cerca de 200 artigos publicados em revistas internacionais. Foi-lhe atribuído o Prémio “Excelência no Ensino,” pelo Técnico em 2018 e a sua investigação foi distinguida duas vezes pelo *European Research Council*. Em 2015 foi agraciado pelo Presidente da República com a Ordem de Santiago D’Espada. Neste momento, é líder de um consórcio internacional de mais de 30 países, que se dedica ao estudo de ondas gravitacionais e buracos negros.

# Uma introdução às Regras de escrita das Unidades de medida e Grandezas segundo o SI

Olivier Pellegrino, Sílvia Gentil

Instituto Português da Qualidade  
opellegrino@ipq.pt, sgentil@ipq.pt

## Resumo

Este texto efetua uma breve apresentação do sistema de unidades de medida legais em Portugal, o Sistema Internacional de unidades (SI), bem como as regras de escrita de unidades de medida, grandezas de medição e valores de grandeza. Tendo como base a legislação nacional, a 9.<sup>a</sup> edição do Sistema Internacional de unidades (publicada pelo *Bureau International de Pesos e Medidas*, aquando da adoção do novo SI) e documentos normativos internacionais, europeus e nacionais, este documento pretende assim dar um panorama atualizado sobre as regras de escrita das unidades de medida e grandezas de medição, em Portugal.

## A. INTRODUÇÃO

Com a entrada em vigor do novo Sistema Internacional de Unidades (SI), a 20 de maio de 2019, o *Bureau International de Pesos e Medidas* (BIPM) publicou a 9.<sup>a</sup> edição da brochura intitulada *Le Système international d'unités* (SI) [1], designada neste texto por "Brochura sobre o SI", que reúne as decisões e recomendações respeitantes no intuito de definir e apresentar o SI, cujo 5.<sup>o</sup> capítulo é dedicado às regras de escrita dos nomes e símbolos das unidades de medida [2] e expressão dos valores das grandezas [3]. Com efeito, trata de convenções para uma leitura e escrita compreensível, coerente e de fácil utilização que possibilitam a troca de informações e matérias nos domínios técnico-científico, económicos e comerciais. Embora definido a partir de constantes fundamentais, e já não apenas a partir de unidades de base e unidades derivadas definidas como produtos dessas unidades de base, o novo SI mantém esse papel para as unidades de base, assim como mantém as regras de escrita das unidades, grandezas e expressão dos resultados de medição.

Na primeira parte deste texto, é efetuada uma sucinta introdução ao BIPM, organização intergovernamental através da qual os Estados-Membros atuam em conjunto sobre as questões relacionadas com a ciência da medição e os padrões de medição e que tem estabelecido as regras de escrita sobre as unidades de medida e as grandezas, regras estas que servem de base à legislação europeia e nacional.

A segunda parte apresenta a estrutura do Decreto-Lei 128/2010 de 3 de dezembro [4], que é a referência legal, em vigor, sobre as unidades de medida em Portugal, permitindo ter um enquadramento das unidades de medida e a utilização das mesmas. É assim mostrado, numa terceira parte, o conteúdo do SI, baseado sobre as unidades de base, as unidades derivadas, os respetivos múltiplos e submúltiplos decimais, bem como as respetivas regras de escrita. São também incluídas as unidades não SI de utilização autorizadas.

As regras de escrita das unidades de medida, das grandezas e dos resultados de medição, a partir dos textos legais nacionais, de recomendações nacionais [5], [6] e internacionais, por exemplo do Instituto Nacional de Metrologia dos Estados Unidos de América, o *National Institute of Standards and Technology* (NIST) [7] ou, nas normas internacionais ISO 80000-1 *Quantities and Units – Part 1: General* [8] e ISO 80000-2 *Quantities and Units – Part 1: Mathematics* [9], são apresentadas, na quarta e última parte, constituindo o principal objetivo deste texto.

### 1. O que é o BIPM?

De acordo com respetivo sítio *internet*, [www.bipm.org](http://www.bipm.org), o BIPM é uma organização intergovernamental, criada pela Convenção do Metro, assinada em Paris a 20 de maio de 1875, por representantes de dezassete Estados, entre os quais Portugal. Os respetivos edifícios encontram-se no domínio do Pavilhão de Breteuil (fig. 1), no Parque de Saint-Cloud, próximo de Paris, cujas despesas da manutenção são asseguradas pelos Estados-Membros da Convenção do Metro, sendo à data de 20 de maio de 2019, cinquenta e nove.



Figura 1 - Entrada do BIPM, no Pavilhão de Breteuil, França

A missão do BIPM é garantir a unificação das medidas e os respetivos objetivos são:

- representar a comunidade metrológica internacional a fim de aumentar o reconhecimento e o impacto da mesma;
- ser um centro de colaboração científico e técnico entre os Estados-Membros, a fim de desenvolver as aptidões para comparações internacionais de medições;
- coordenar o SI, assegurando comparabilidade e reconhecimento ao nível internacional dos resultados de medição.

Para esses efeitos, o BIPM funciona sob a vigilância exclusiva do Comité Internacional dos Pesos e Medidas (CIPM), ele próprio sob a autoridade da Conferência Geral dos Pesos e Medidas (CGPM), recebendo o relatório dos trabalhos efetuados pelo BIPM. Aproximadamente quarenta e cinco físicos e técnicos trabalham nos laboratórios do BIPM, efetuando investigação científica, comparações internacionais das realizações das unidades de medida e verificações de padrões.

Para ser apoiado nas respetivas tarefas, o CIPM criou, a partir de 1927, órgãos, designados de Comités Consultivos, para domínios científicos específicos, que foram aumentando de acordo com as necessidades. Assim, por ordem cronológica de criação, existem o Comité Consultivo de Eletricidade e Magnetismo (CCEM), o Comité Consultivo de Fotometria e Radiometria (CCPR), o Comité Consultivo de Termometria (CCT), o Comité Consultivo dos Comprimentos (CCL), o Comité Consultivo do Tempo e das Frequências (CCTF), o Comité Consultivo das Radiações Ionizantes (CCRI), o Comité Consultivo das Unidades (CCU), o Comité Consultivo para a Massa e as grandezas aparentadas (CCM), o Comité Consultivo para a Quantidade de Matéria: metrologia em química e biologia (CCQM) e o Comité Consultivo da Acústica, dos Ultrassons e das Vibrações (CCUV).

Desde 1965, a revista internacional *Metrologia*, editada sob os auspícios do CIPM publica, pela *IOP Publishing* a partir de 2003, artigos sobre a metrologia científica, o desenvolvimento dos métodos de medição assim como os trabalhos sobre os padrões e as unidades de medida. Os trabalhos da CGPM e do CIPM são publicados pelo BIPM em *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures* e em *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures*, desde 2003, no sítio internet do BIPM. São ainda

publicadas monografias sobre assuntos específicos de metrologia científica [10] e edições regularmente atualizadas da Brochura sobre o SI.

## 2. O SI, língua da ciência

O SI foi formalmente definido e estabelecido na 11.<sup>a</sup> reunião da CGPM [11], em 1960, tendo sido revisto por diversas vezes, dando resposta às necessidades e aos requisitos dos utilizadores e dos avanços da ciência e da tecnologia.

O SI é um sistema coerente de unidades de medida utilizado quer seja no comércio, na produção industrial, na saúde, na segurança, na proteção do meio ambiente ou nas ciências fundamentais. As definições das unidades do SI, que são adotadas pela CGPM, representam o nível de referência mais alto em matéria de rastreabilidade de medição ao SI.

A 9.<sup>a</sup> edição da Brochura sobre o SI [1] (fig. 2) foi preparada no seguimento da adoção do conjunto de mudanças profundas ocorrida na 26.<sup>a</sup> reunião da CGPM, em novembro de 2018, que passou a definir as sete unidades de base do SI, fixando o valor numérico de sete “constantes de definição do SI”, entre as quais se encontram as constantes fundamentais da Natureza, como a constante de Planck e a velocidade da luz (de valor numérico já fixado em 1983 [1]). Com o novo SI, a totalidade das unidades pode ser realizada a um nível de exatidão limitado apenas pela estrutura quântica da Natureza e pelas aptidões técnicas, e já não pelas definições das unidades. Qualquer lei válida da Física permitindo uma ligação entre as constantes de definição do SI e uma unidade pode ser utilizada para a realização da unidade em questão. Após a adoção em novembro de 2018, as novas definições entraram em vigor a 20 de maio de 2019, o dia de aniversário da Convenção do Metro e celebrado como Dia Mundial da Metrologia.

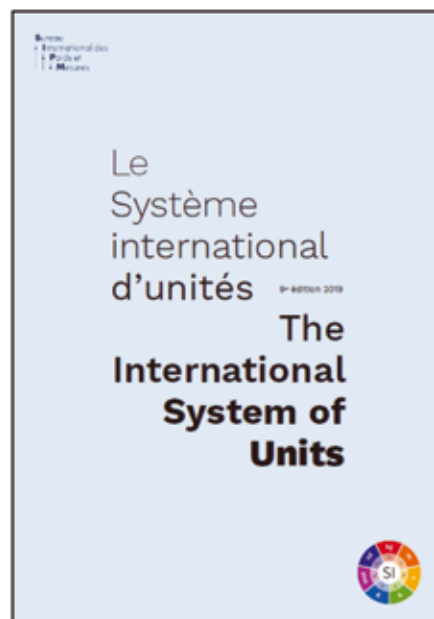


Figura 2 - Capa da 9.<sup>a</sup> edição da Brochura sobre o SI [1]





Figura 3 - Capa da 1.ª edição luso-brasileira do Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) [12]

Além do BIPM, com os respectivos meios de divulgação e publicação mencionados, as organizações de normalização internacionais, europeias e nacionais dão informações suplementares sobre as grandezas e unidades, assim como sobre as respectivas regras de aplicação. Quando as unidades do SI são mencionadas nos documentos normativos, a sua escrita deve refletir as regras definidas por estas organizações. As normas internacionais ISO 80000-1 e ISO 80000-2 são elaboradas pela Organização Internacional de Normalização (ISO) e apresentam informação de referência no domínio das grandezas e unidades.

Os Estados fixam por via legislativa as regras referentes à utilização das unidades no âmbito nacional, quer para a sua utilização geral, quer para alguns domínios particulares como o comércio, a saúde, a segurança pública ou o ensino. A Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML), criada a 12 de outubro de 1955, tem como missão a harmonização internacional das especificações técnicas dessas legislações.

O Instituto Português da Qualidade, IP (IPQ) representa Portugal no BIPM e na OIML. O IPQ é também Organismo Nacional de Normalização, representando Portugal nas organizações internacionais e europeias de normalização, nomeadamente a ISO, a *International Electrotechnical Commission* (IEC), o *European Committee for Standardization* (CEN), o *European Committee for Electrotechnical Standardization* (CENELEC) e o *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI).

Grandes organizações internacionais com atividades na Metrologia constituíram, em janeiro de 1997, um Comité Conjunto de Guias em Metrologia (JCGM -

*Joint Committee for Guides in Metrology*). Essas organizações são o BIPM, a OIML, a ISO, a IEC, a Federação Internacional de Química Clínica e Medicina Laboratorial (IFCC), a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) e a União Internacional de Física Pura (IUPAP), às quais, em dezembro de 2005, juntou-se a Cooperação Internacional de Acreditação de Laboratórios (ILAC). O trabalho deste comité consiste em elaborar e atualizar o *Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM) [13], os respetivos suplementos, e o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), cuja 3.ª edição é a mais recente, com uma versão em português luso-brasileiro [12] (fig. 3), fruto de uma colaboração entre o IPQ (fig. 4) e o organismo equivalente do IPQ no Brasil, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

### 3. O SI em Portugal

Embora sendo, desde o início, Estado-Membro da CGPM, Portugal só reconheceu o SI como sistema de unidades de medida legal em todo o território nacional a partir do Decreto-Lei 427/83 de 7 de dezembro.



Figura 4 - O Instituto Português da Qualidade, IP

O Decreto-Lei 128 de 3 de dezembro de 2010 [4], de aqui para a frente neste texto designado por DL128, corresponde à mais recente atualização do quadro legislativo nacional pela transposição da diretiva europeia 2009/3/CEE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de março de 2009. De realçar que, no seguimento da 26.ª reunião da CGPM, essa diretiva europeia foi substituída pela diretiva europeia 2019/1258/CE, da Comissão que apresenta as versões atualizadas das definições das unidades de base. Portugal terá até 13 de maio de 2020 para adotar e publicar a transposição desta diretiva europeia.

### B. O DECRETO-LEI 128/2010 DE 3 DEZEMBRO

O DL128 começa por apresentar um resumo histórico sobre o sistema métrico decimal no mundo e em Portugal, desde a criação do mesmo, durante a Revolução Francesa de 1789, até a assinatura da Convenção do Metro, em 1875, continuando com a criação do SI e relatando os sucessivos textos legislativos ou oficiais nacionais, internacionais e europeus para o reconhecimento e adoção do SI pelos Estados.

O DL128 refere que, em todo o território nacional, o SI é o sistema de unidades de medida legais e, de acordo com o anexo da republicação, este sistema é constituído das unidades de base do SI, das unidades derivadas do SI, dos múltiplos e submúltiplos decimais dessas unidades e unidades

constituídas da combinação das diversas unidades. Esclarece em quais situações a utilização excepcional de unidades de medida não legais é autorizada.

Refere a autorização da utilização de indicações suplementares, i.e. de indicações expressas em unidades outras que as unidades de medida legais, desde que acompanhadas por indicações expressas em unidades de medida legais que prevalecem sobre as indicações suplementares.

No que respeita à “utilização de unidades de medida consideradas não legais”, esclarece que os produtos e equipamentos, ou peças e partes dos mesmos, no mercado ou em serviço em data anterior à entrada em vigor do DL128, sem ser aplicável aos dispositivos indicadores dos instrumentos de medição, podem ser utilizados a título excepcional.

Atribui ao IPQ a competência de aprovar os padrões que realizam as unidades de medida legais e atribui à Autoridade de Segurança Alimentar e Económica (ASAE) a competência para a fiscalização do cumprimento deste Decreto-Lei e para a instrução dos processos de contraordenação.

No Anexo intitulado “Unidades de medida legais”, são apresentadas as unidades de medida legais que formam o SI, bem como as definições das sete unidades de base do SI, incluindo o grau Celsius, as unidades SI derivadas, os múltiplos e submúltiplos decimais do SI, as unidades não SI autorizadas e as regras para a escrita dos nomes e símbolos das unidades SI.

## C. UNIDADES DE MEDIDA LEGAIS

Antes de tudo, vamos lembrar as definições das unidades de medida, das unidades de base, dos sistemas de unidade e do SI, tais como descritas nas edições em vigor do VIM [12] e da Brochura sobre o SI [1].

Uma unidade de medida é “uma grandeza escalar real, definida e adotada por convenção, com a qual qualquer outra grandeza da mesma natureza pode ser comparada para expressar, na forma de um número, a razão entre duas grandezas” [14]. Uma unidade de base é “uma unidade de medida adotada, por convenção, para uma grandeza de base” [15] que, por sua vez, é uma grandeza “não [podendo] ser expressa em função [de] outras” [16]. Assim, uma grandeza derivada é “definida em função das grandezas de base” [17] e uma unidade derivada é “uma unidade de medida de uma grandeza derivada” [18].

Um sistema de grandezas é um “conjunto de grandezas associado a um conjunto de relações não contraditórias entre estas grandezas” [19] e um sistema de unidades é um “conjunto de unidades de base e de unidades derivadas, juntamente com os seus múltiplos e submúltiplos, definidos de acordo com regras dadas, para um dado sistema de grandezas” [20].

O SI é “o sistema de unidades baseado no Sistema internacional de grandezas, com os nomes e os símbolos das unidades, incluindo uma série de prefixos, com os seus nomes e símbolos, em conjunto com regras de utilização adotado pela CGPM” [21], sendo o Sistema internacional de grandezas “o sistema de grandezas baseado nas sete grandezas de base: comprimento, massa, tempo, corrente elétrica, temperatura termodinâmica, quantidade de matéria e intensidade luminosa” [22], apresentadas no quadro que consta do ponto C 1.1 seguinte.

## 1. Unidades SI

### 1.1 - Unidades SI de base

O SI é definido a partir de sete grandezas de base e das correspondentes unidades de base:

Grandeza	Unidade	
	Nome	Símbolo
comprimento	metro	m
massa	quilograma <sup>1</sup>	kg
tempo	segundo	s
corrente elétrica	ampere	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
quantidade de matéria	mole	mol
intensidade luminosa	candela	cd

1.1.1 - Nome e símbolo especial da unidade SI de temperatura Celsius:

Grandeza	Unidade	
	Nome	Símbolo
temperatura Celsius	grau Celsius	°C

A temperatura Celsius, de símbolo  $t$ , é definida pela diferença  $t = T - T_0$  entre duas temperaturas termodinâmicas  $T$  e  $T_0$  com  $T_0 = 273,15$  K, ponto de congelação da água. Um intervalo ou uma diferença de temperatura podem ser expressos quer em kelvins, quer em graus Celsius. Por definição, a unidade de temperatura Celsius é o grau Celsius e é igual à unidade kelvin.

### 1.2 - Unidades SI derivadas

Quando a “unidade derivada [...] é um produto de potências de unidades de base, sem outro fator de proporcionalidade além do número um” [23], é então designada por unidade derivada coerente.

1.2.1 - Unidades derivadas com nomes e símbolos especiais

Algumas unidades derivadas coerentes do SI receberam um nome especial. Há atualmente 22 nomes especiais para unidades derivadas. As sete unidades de base e essas unidades derivadas coerentes constituem a parte central do conjunto das unidades do SI: todas as outras unidades do SI são combinações de algumas dessas 29 unidades.

A 9.ª edição da Brochura sobre o SI informa que, como as unidades de medida das sete constantes que definem agora o SI incluem ambas unidades de base e unidades derivadas coerentes, qualquer uma dessas unidades pode ser formada diretamente a partir das sete constantes que definem o SI.

Apresenta-se a seguir os nomes e símbolos dessas unidades derivadas coerentes especiais assim como os nomes das grandezas associadas:

<sup>1</sup> Neste texto, de acordo com o DL 128, em vigor, os autores utilizam a grafia “quilo” para o prefixo multiplicativo de símbolo “k”, embora prefiram a grafia “kilo”, que é mais coerente com o símbolo e de acordo com a adotada pela versão luso-brasileira do VIM [12].

Grandeza	Unidade derivada			
	Nome	Símbolo	Expressão em outras unidades SI	Expressão em unidades SI de base
ângulo plano	radiano	rad	1	m/m
ângulo sólido	esterradiano	sr	1	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
frequência	hertz <sup>2)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
força	newton	N		m kg s <sup>-2</sup>
pressão, tensão	pascal	Pa	N m <sup>-2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
energia, trabalho,	joule	J	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
potência <sup>3)</sup> , fluxo energético	watt	W	J s <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
carga elétrica, quantidade de eletricidade	coulomb	C		s A
diferença de potencial elétrico, força eletromotriz	volt	V	W A <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
capacidade elétrica	farad	F	C V <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>2</sup> A <sup>2</sup>
resistência elétrica	ohm	Ω	V A <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
condutância elétrica	siemens	S	A V <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
fluxo de indução magnética, fluxo magnético	weber	Wb	V s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
indução magnética, densidade de fluxo magnético	tesla	T	Wb m <sup>-2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
indutância	henry	H	Wb A <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
temperatura Celsius	grau Celsius <sup>4)</sup>	°C		K
fluxo luminoso	lúmen	lm	cd sr <sup>4)</sup>	cd
iluminância	lux	lx	lm m <sup>-2</sup>	m <sup>-2</sup> cd
atividade de um radionuclídeo	becquerel <sup>5)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
dose absorvida, energia mássica, kerma	gray	Gy	J kg <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
equivalente de dose, equivalente de dose ambiental, equivalente de dose direcional, equivalente de dose individual	sievert	Sv	J kg <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
atividade catalítica	katal	kat		s <sup>-1</sup> mol

(a) o hertz deve apenas ser utilizado para os fenômenos periódicos e o becquerel apenas para os processos aleatórios ligados à medição da atividade de um radionuclídeo;

(b) o nome volt-ampere (símbolo VA), para exprimir a potência aparente da corrente elétrica alternada, e o nome var (símbolo var), para exprimir a potência elétrica reativa não estão incluídos nas resoluções da CGPM, embora conste do *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), da IEC;

(c) esta unidade pode ser utilizada em associação com os prefixos SI como, por exemplo, para exprimir o submúltiplo miligrado Celsius, m°C;

(d) em fotometria, mantém-se em geral o nome e o símbolo do esterradiano, sr, na expressão das unidades.

## 2. Múltiplos e submúltiplos das unidades

### 2.1 – Prefixos SI

Os prefixos SI representam estritamente as potências de dez (10) e são apresentados a seguir:

Fator	Nome	Símbolo	Fator	Nome	Símbolo
10 <sup>1</sup>	deca	da	10 <sup>-1</sup>	deci	d
10 <sup>2</sup>	hecto	h	10 <sup>-2</sup>	centi	c
10 <sup>3</sup>	quilo	k	10 <sup>-3</sup>	milí	m
10 <sup>6</sup>	mega	M	10 <sup>-6</sup>	micro	μ
10 <sup>9</sup>	giga	G	10 <sup>-9</sup>	nano	n
10 <sup>12</sup>	tera	T	10 <sup>-12</sup>	pico	p
10 <sup>15</sup>	peta	P	10 <sup>-15</sup>	femto	f
10 <sup>18</sup>	exa	E	10 <sup>-18</sup>	atto	a
10 <sup>21</sup>	zeta	Z	10 <sup>-21</sup>	zepto	z
10 <sup>24</sup>	yota	Y	10 <sup>-24</sup>	yocto	y

Os prefixos SI podem ser aplicados a todas as unidades do SI e às unidades legais não SI, exceto a:

- unidades não decimais, como é o caso das unidades sexagesimais: dia, hora, minuto, grau angular, minuto angular e segundo angular, e o caso das unidades binárias: bit, byte (ou octeto)...;

- unidades que incluem já um prefixo, como é o caso do quilograma (kg) ou do milímetro de mercúrio (mmHg). Como para todas as unidades, os múltiplos e submúltiplos decimais do quilograma escrevem-se

combinando prefixos com o grama: escreve-se miligrama (mg) e não microquilograma (μkg).

### 2.2 – Formação dos múltiplos e submúltiplos das unidades

Os nomes dos múltiplos e submúltiplos são formados pela junção do prefixo ao nome da unidade, sem separação por um espaço ou qualquer sinal tipográfico.

Do mesmo modo, o símbolo do prefixo e o da unidade são escritos sem qualquer espaço ou sinal tipográfico de modo a formar um único símbolo de uma nova unidade, que pode ser elevado a uma qualquer potência e podendo a nova unidade ser combinada a outras unidades para formar unidades compostas. Assim, pode ser escrito: quilometro (km), microvolt (μV), femtossegundo (fs), e 50 V cm<sup>-1</sup> = 50 V (10<sup>-2</sup> m)<sup>-1</sup> = 5000 V m<sup>-1</sup>

EXEMPLO:			
Correto	380 nm	Incorreto	380 mμm

Um prefixo é sempre acompanhado de uma unidade, por extenso ou com o símbolo.

EXEMPLO:	
Correto	Um milhão de pessoas pagaram três euros o quilograma de madeira.
Incorreto	1 M de pessoas pagaram 3 € o quilo de madeira.

### 2.3 - Prefixos não SI binários<sup>2)</sup>

A 9.ª edição da Brochura sobre o SI reforça que os prefixos SI não devem ser utilizados para as potências de 2, cujos prefixos, adotados pela IEC em dezembro de 1998, não pertencem ao SI.

Apresenta-se em baixo os nomes e símbolos desses prefixos assim como os nomes dos prefixos decimais, dos quais derivam.

Fator	Nome	Símbolo	Origem	Deriva de
2 <sup>10</sup>	quibi	Ki	quilobinário: (2 <sup>10</sup> ) <sup>1</sup>	quilo: (10 <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>
2 <sup>20</sup>	mebi	Mi	megabinário: (2 <sup>10</sup> ) <sup>2</sup>	mega: (10 <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>
2 <sup>30</sup>	gibi	Gi	gigabinário: (2 <sup>10</sup> ) <sup>3</sup>	giga: (10 <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>
2 <sup>40</sup>	tebi	Ti	terabinário: (2 <sup>10</sup> ) <sup>4</sup>	tera: (10 <sup>3</sup> ) <sup>4</sup>
2 <sup>50</sup>	pebi	Pi	petabinário: (2 <sup>10</sup> ) <sup>5</sup>	peta: (10 <sup>3</sup> ) <sup>5</sup>
2 <sup>60</sup>	exbi	Ei	exabinário: (2 <sup>10</sup> ) <sup>6</sup>	exa: (10 <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>
2 <sup>70</sup>	zebi	Zi	zetabinário: (2 <sup>10</sup> ) <sup>7</sup>	zeta: (10 <sup>3</sup> ) <sup>7</sup>
2 <sup>80</sup>	yobi	Yi	yotabinário: (2 <sup>10</sup> ) <sup>8</sup>	yota: (10 <sup>3</sup> ) <sup>8</sup>

## 3. Unidades não SI

### 3.1 - Unidades não SI autorizadas, com múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI

Grandeza	Unidade		
	Nome	Símbolo	Valor em unidades SI
comprimento	unidade astronómica <sup>(a)</sup>	au	1 au = 1,495 978 707 00 × 10 <sup>11</sup> m
	are <sup>(b)</sup>	a	1 a = 1 dam <sup>2</sup> = 10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
volumen	litro <sup>(c)</sup>	L ou l	1 L = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
	tonelada <sup>(d)</sup>	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
	dalton <sup>(e)</sup> , unidade de massa atómica unificada	Da, u	1 Da = 1 u = 1,660 539 066 60(50) × 10 <sup>-27</sup> kg
energia	eletrãovolt <sup>(f)</sup>	eV	1 eV = 1,602 176 634 × 10 <sup>-19</sup> J
	neper <sup>(g)</sup>	Np	
	bel <sup>(h)</sup> , decibel <sup>(i)</sup>	B, dB	L <sub>v</sub> = m dB = (m/10) B (em que m é um número) significa: m = 10 lg(XX <sub>0</sub> )

(a) A unidade astronómica é aproximadamente igual à distância entre o Sol e a Terra, cujo valor é exato de acordo com a 28.ª Assembleia Geral da *International Astronomical Union* (Resolution B2, 2012).

<sup>2)</sup> Esta parte não consta do DL128, embora presente nas 8.ª e 9.ª edições da Brochura sobre o SI.



(b) O múltiplo 100 a tem a designação hectare; as unidades are e hectare e os respetivos símbolos foram adotados pelo CIPM em 1879.

(c) Os dois símbolos L e l podem ser usados para a unidade litro.

(d) A tonelada e respetivo símbolo t foram adotados pelo CIPM (PV, 1879, 41) e nos países de língua inglesa, esta unidade é, às vezes, designada por *metric ton*.

(e) O dalton é a designação em bioquímica da unidade de massa atómica unificada que é igual a 1/12 da massa de um átomo de  $^{12}\text{C}$  livre, em repouso e no estado fundamental.

(f) O eletrão-volt é a energia cinética adquirida por um eletrão após ter atravessado uma diferença de potencial de 1 V no vazio

(g) Utilizado para expressar valores de grandezas cujo valor numérico é um logaritmo neperiano (ou natural) de uma razão de grandezas,  $\ln = \log_e$

(h) Utilizados para expressar valores de grandezas cujo valor numérico é um logaritmo decimal de uma razão de grandezas,  $\lg = \log_{10}$

Notas:

1 - os prefixos e respetivos símbolos do primeiro quadro de C.2 podem ser usados com as unidades e símbolos deste quadro;

2 - para o dalton, a incerteza-padrão é dada entre parênteses sobre os últimos algarismos, i.e. 0,000 000 000 50  $\times 10^{-27}$  kg;

3 - embora publicada nas 8.<sup>a</sup> e 9.<sup>a</sup> edições da Brochura sobre o SI, a unidade astronómica não é citada no DL128.

### 3.2 - Unidades não SI autorizadas, com múltiplos e submúltiplos não decimais das unidades SI

Grandeza	Unidade		
	Nome	Símbolo	Valor em unidades SI
ângulo plano	grau	°	1° = ( $\pi$ /180) rad
	minuto	'	1' = (1/60)° = ( $\pi$ /10 800) rad
	segundo	"	1" = (1/60)' = ( $\pi$ /648 000) rad
tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
	dia	d	1 d = 24 h = 86 400 s

Nota: os prefixos e respetivos símbolos do primeiro quadro do C.2 não se aplicam às unidades e símbolos do presente quadro.

### 3.3 - Outras unidades não SI autorizadas, para uso em domínios especializados

Grandeza	Unidade		
	Nome	Símbolo	Valor em unidades SI
vergência dos sistemas ópticos	dioptria	δ	1 δ = 1 m <sup>-1</sup>
	carat métrico <sup>(a)</sup>	ct	1 ct = 200 mg = 0,2 g = 2 $\times 10^{-4}$ kg
massa linear de fibras têxteis e fios	tex	tex	1 tex = 1 g km <sup>-1</sup> = 10 <sup>-6</sup> kg m <sup>-1</sup>
	bar <sup>(b)</sup>	bar	1 bar = 0,1 MPa = 100 kPa = 105 Pa
pressão	milímetro de mercúrio <sup>(c)</sup>	mmHg	1 mmHg = (101 325 / 760) Pa = 133,322 Pa
	milha marítima <sup>(d)</sup>	M	1 M = 1 852 m
distância	barn (e)	b	1 b = 100 fm <sup>2</sup> = 10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
área	gal	Gal	1 Gal = 1 cm s <sup>-2</sup> = 10 <sup>-2</sup> m s <sup>-2</sup>
aceleração	nó	kn	1 kn = 1 M/h = (1852 m)/(3600 s) = 1,852 km h <sup>-1</sup> = 0,5144 m s <sup>-1</sup>
velocidade			

(a) o carat métrico foi adotado pela 4.<sup>a</sup> CGPM, em 1907;

(b) o bar e respetivo símbolo foram aprovados pela 9.<sup>a</sup> CGPM; desde 1982, todos os dados termodinâmicos estão tabelados para uma pressão normal de 1 bar, sendo antes de 1982, tabelados para uma pressão normal de 1 atm = 1,013 25 bar = 101 325 Pa;

(c) em alguns países, o milímetro de mercúrio é a unidade legal para a pressão sanguínea;

(d) a milha marítima é uma unidade especial utilizada em navegação marítima e aérea para exprimir a distância; foi adotada, por convenção, na primeira Conferência Hidrográfica Internacional Extraordinária, Mônaco, 1929, não tendo símbolo internacionalmente reconhecido; foi escolhida por ser a interseção na superfície da Terra de aproximadamente um ângulo do centro da Terra de um minuto;

(e) o barn é uma unidade especial utilizada em física nuclear para exprimir seções eficazes.

Notas:

1 - os prefixos e respetivos símbolos do primeiro quadro do C. 2 podem ser usados com as unidades e símbolos deste quadro, com algumas exceções, por exemplo o milímetro de mercúrio e respetivo símbolo;

2 - embora publicado nas 8.<sup>a</sup> e 9.<sup>a</sup> edições da Brochura sobre o SI, a unidade gal não é citada no DL128;

3 - na utilização das unidades que constam deste quadro, devem ser sempre mencionadas as definições em unidades SI.

## D. REGRAS DE ESCRITA

Como já foi referido o DL128 contém informação dedicada às regras de escrita dos nomes e símbolos das unidades SI. No entanto, devido à importância desta matéria, objeto de publicações de referência [5], apresenta-se, a seguir, uma súmula das regras de escrita dos nomes e símbolos de unidades de medida, grandezas de medição e valores dessas grandezas. Pretende-se com isso facilitar a respetiva aplicação, em sintonia com as regras internacionais publicadas nas normas da série ISO 80000-1 [8] e ISO 80000-2 [9], na 9.<sup>a</sup> edição da Brochura sobre o SI [1], no Guia de utilização do SI publicado pelo NIST [7] e em recomendações portuguesas [4], [6], internacionais [24], [25] ou ainda em artigos de publicações científicas [26 - 31].

### 1. Símbolos das unidades

#### 1.1 - Tipo dos símbolos das unidades

Os símbolos das unidades são sempre impressos em caracteres romanos não inclinados, qualquer que seja o tipo de carácter do texto onde estão inseridos.

#### EXEMPLO

Correto ...numa distância de aproximadamente 500 mm, deve ser colocado um suporte...  
 Incorreto ...numa distância de aproximadamente 500 mm, deve ser colocado um suporte...

#### 1.2 - Os símbolos das unidades são entidades matemáticas

Em consequência:

1.2.1 não levam a marca do plural;

1.2.2 não podem ser utilizados em conjunto com os nomes de unidades na expressão do valor de uma grandeza, porque os nomes de unidades não são entidades matemáticas.

#### EXEMPLO:

Correto Precisa de uma fibra têxtil com 75 kg/m de massa linear.  
 Precisa de uma fibra têxtil com 75 quilogramas por metro de massa linear.  
 Incorreto Precisa de uma fibra têxtil com 75 kgs/m de massa linear.  
 Precisa de uma fibra têxtil com 75 kg./m de massa linear.  
 Precisa de uma fibra têxtil com 75 kg por metro de massa linear.  
 Precisa de uma fibra têxtil com 75 quilogramas por m de massa linear.

1.2.3 as regras de multiplicação e divisão algébricas aplicam-se para formar os produtos e quocientes dos símbolos de unidades.

### 1.3 - Formação dos símbolos das unidades

Os símbolos das unidades são escritos em minúsculas, começando por uma maiúscula quando o nome da unidade correspondente deriva de um nome próprio. O símbolo do litro, L, é a única exceção (ver quadro do C. 3.1).

Os símbolos das unidades não terminam com um ponto, salvo se se encontram no fim de uma frase.

Não é autorizada a utilização de abreviaturas para os símbolos ou nomes de unidades.

EXEMPLO:			
Correto	s	Incorreto	sec
	segundo		
	mm <sup>2</sup>		mm quad.
	milímetro quadrado		
	cm <sup>3</sup>		cc
	centímetro cúbico		
	metro por segundo		mps

### 1.4 - Símbolos das unidades formadas pela multiplicação de unidades

A multiplicação deve ser indicada através de um espaço ou de um ponto centrado à meia altura entre dois espaços, para evitar que os símbolos de alguns prefixos sejam interpretados erradamente como símbolos de uma unidade.

EXEMPLO:			
1 - As duas frases seguintes são corretas e equivalentes:			
			"O binário aplicado foi de 5 N m."
			"O binário aplicado foi de 5 N . m."
2 - "10 ms"	significa	"dez milissegundos"	
enquanto:			
"10 m s"	significa	"dez metros segundos"	

### 1.5 - Símbolos das unidades formadas pela divisão de unidades

- A divisão deve ser indicada por uma linha horizontal, por uma barra (/) ou por expoentes negativos.

Quando são utilizados vários símbolos de unidades, deve evitar-se qualquer ambiguidade, por exemplo, recorrendo à utilização de parênteses, parênteses retos, chavetas ou ainda expoentes negativos.

Não se deve utilizar mais de uma barra de divisão (/) numa dada expressão: se não forem utilizados parênteses, para eliminar qualquer ambiguidade, utilizam-se expoentes negativos.

EXEMPLO:			
Correto	m kg/(s <sup>3</sup> A), m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>	Incorreto	m kg/s <sup>3</sup> /A m kg/s <sup>3</sup> A

## 2. Nomes das unidades

### 2.1 - Os nomes das unidades são nomes comuns

2.1.1 começam por uma minúscula, exceto quando iniciam uma frase;

2.1.2 levam a marca do plural.

#### EXEMPLO

Correto	Uma força de dez newtons é aplicada sobre uma distância de cinco metros, a uma temperatura de vinte graus Celsius.
Incorreto	Uma força de dez Newtons é aplicada sobre uma distância de cinco metro, a uma temperatura de vinte grau Celsius.

De acordo com esta regra, o nome da unidade de símbolo "°C" é "grau Celsius", porque a unidade "grau" é um nome comum e "Celsius" é um nome próprio.

Embora os valores das grandezas estejam expressos por meio de numerais e símbolos das unidades, se, por uma razão qualquer, for preferível utilizar o nome da unidade em vez do respetivo símbolo, o nome da unidade deve ser escrito por extenso na totalidade.

#### EXEMPLO

"2,6 m/s" pode ser também escrito: "2,6 metros por segundo"

2.1.3 são impressos com o mesmo tipo de carácter do texto onde estão inseridos;

2.1.4 não podem ser utilizados em expressões ou equações matemáticas.

Como a escrita dos nomes e dos símbolos das unidades "bar" e "bit" são idênticas, escreve-se "dois bars" e "dois bits". Quando os valores numéricos são escritos por extenso, e 2 bar e 2 bit, quando os valores numéricos são escritos com numerais.

### 2.2 - Nomes das unidades formadas com prefixo

O conjunto formado de uma unidade associado a um prefixo de múltiplo ou submúltiplo não contém espaço nem hífen, constituindo o nome de uma nova unidade (ver ponto C. 2.2). Em consequência, não se aplicam as regras de hifenização do Acordo Ortográfico de 1990.

#### EXEMPLO

Correto	megahertz decaampere	Incorreto	mega-hertz deca-ampere
---------	-------------------------	-----------	---------------------------

### 2.3 - Particularidades ortográficas

Quando um prefixo é associado a uma unidade cujo nome começa por uma vogal, pode acontecer a elisão de uma dessas vogais em casos excepcionais consagrados pelo uso, apresentados aqui:

#### EXEMPLO

Correto	hectare microhm quilohm megohm	Incorreto	hectoare microohm quiloohm megaohm
---------	---	-----------	---

### 2.4 - Nomes das unidades formadas pela multiplicação de unidades

Por convenção, o nome de uma unidade definida pela multiplicação de unidades é obtido pela junção dos nomes dessas últimas unidades separados por um espaço ou por um hífen, levando cada um a marca do plural, se aplicável.

#### EXEMPLO

"9,4 J s" pode ser também escrito: "9,4 joules segundos" ou "9,4 joules - segundos"

### 2.5 - Nomes das unidades formadas pela divisão de unidades

O nome de uma unidade definida pela divisão de unidades é obtido pela utilização da preposição "por" entre os nomes das unidades constituindo o numerador e os nomes das unidades constituindo o denominador, levando apenas a marca do plural

os nomes das unidades do numerador, se aplicável.

<b>EXEMPLO</b>	
Correto	Precisa de uma fibra têxtil com 75 kg/m de massa linear. Precisa de uma fibra têxtil com 75 quilogramas por metro de massa linear.
Incorreto	Precisa de uma fibra têxtil com 75 quilograma/metro de massa linear Precisa de uma fibra têxtil com 75 quilograma metro-1 de massa linear Precisa de uma fibra têxtil com 75 quilogramas/metro de massa linear

### 3. Símbolos das grandezas

#### 3.1 - Tipo dos símbolos das grandezas

Os símbolos das grandezas são sempre impressos em caracteres itálicos, qualquer que seja o tipo de carácter do texto onde estão inseridos.

<b>EXEMPLO</b>	
1 - Correto	Numa duração de $t = 5$ min, deve ser deixado em lume brando...
Incorreto	Numa duração de $t = 5$ min, deve ser deixado em lume brando...
2 - Significado de impressão de símbolos em caracteres romanos não inclinados e em caracteres itálicos	
i)	
Símbolo romano não inclinado	Símbolo itálico
$\mu$ prefixo multiplicativo micro ( $10^{-6}$ )	$\mu$ símbolo da grandeza momento magnético
$\Omega$ símbolo da unidade derivada SI da resistência elétrica, o ohm	$\Omega$ símbolo da grandeza ângulo sólido
m símbolo da unidade de base SI do comprimento, o metro; prefixo multiplicativo mili ( $10^{-3}$ )	m símbolo da grandeza massa
t símbolo da unidade da massa, a tonelada	t símbolo da grandeza tempo
F símbolo da unidade derivada SI da capacidade elétrica, o farad	F símbolo da grandeza força
ii)	
$C_B / (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}) = 6,25 \times 10^{-6} (\text{K/T})^2 + 0,253 (\text{B/T})/(T/\text{K})$	
Com T símbolo da grandeza temperatura termodinâmica e T o símbolo do tesla, unidade da indução magnético, B.	

#### 3.2 - Os símbolos das grandezas são entidades matemáticas

Em consequência:

3.2.1 não levam a marca do plural;

3.2.2 devem ser utilizados em conjunto com os símbolos das unidades e nunca com os nomes de grandezas na expressão do valor de uma grandeza, porque os nomes de grandezas não são entidades matemáticas.

<b>EXEMPLO</b>									
1 - Correto	As ordenadas de um gráfico são indexadas "Temperatura, T/K"								
Incorreto	As ordenadas de um gráfico são indexadas "Temperatura/K"								
2 -									
Correto	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Temperatura, T/K</th> <th>Pressão, p/MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>216,55</td> <td>0,5180</td> </tr> <tr> <td>273,15</td> <td>3,4853</td> </tr> <tr> <td>304,19</td> <td>7,3815</td> </tr> </tbody> </table>	Temperatura, T/K	Pressão, p/MPa	216,55	0,5180	273,15	3,4853	304,19	7,3815
Temperatura, T/K	Pressão, p/MPa								
216,55	0,5180								
273,15	3,4853								
304,19	7,3815								
Incorreto	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Temperatura/K</th> <th>Pressão/MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>216,55</td> <td>0,5180</td> </tr> <tr> <td>273,15</td> <td>3,4853</td> </tr> <tr> <td>304,19</td> <td>7,3815</td> </tr> </tbody> </table>	Temperatura/K	Pressão/MPa	216,55	0,5180	273,15	3,4853	304,19	7,3815
Temperatura/K	Pressão/MPa								
216,55	0,5180								
273,15	3,4853								
304,19	7,3815								

3.2.3 submetidos às regras de multiplicação e divisão algébricas para formar produtos e quocientes de símbolos de grandezas.

Para a multiplicação ou a divisão dos símbolos das grandezas, é possível utilizar qualquer uma das expressões seguintes:

$$ab, a b, a \cdot b, a \times b, a/b, \frac{a}{b}, a b^{-1}.$$

Convém escrever  $a b^{-1}$  mantendo um espaço entre  $a$  e  $b^{-1}$ , porque  $a b^{-1}$  poderia ser erradamente interpretado como  $(ab)^{-1}$ .

De cada lado da maioria dos operadores diádicos, tais como +, -,  $\pm$ , e  $\times$ , mas não da barra de divisão (/), e das relações como =, < e  $\leq$ , deve haver um espaço em ambos os lados do operador ou relação, ao contrário dos operadores monádicos, tais como + e -, onde não é colocado espaço.

<b>EXEMPLO</b>	
$d < 3$ mm	temperatura Celsius de $-2^\circ\text{C}$ a $+7^\circ\text{C}$

#### 3.3 - Formação dos símbolos das grandezas

3.3.1 Geralmente escritos com uma letra, do alfabeto latino ou grego, os símbolos das grandezas podem ter um índice ou um expoente ou outros sinais de identificação. É desaconselhado o uso de palavras, acrónimos ou outros grupos de letras para a formação de símbolos de grandezas.

<b>EXEMPLO</b>	
Símbolo de impedância mecânica	
Correto	$Z_m$
Incorreto	$IM$

Existem símbolos nacional e internacionalmente aceites para centenas de grandezas utilizadas em ciência e tecnologia.

3.3.2 Índices dos símbolos das grandezas Seguem o mesmo princípio que o da impressão dos símbolos das unidades de medida e das grandezas:

- i) em itálico para símbolos de grandezas e de variáveis;
- ii) em romano não inclinado para símbolos de unidades, de palavras e numerais.

<b>EXEMPLO</b>	
$\Omega$ ângulo sólido	$Z_m$ impedância mecânica
$p$ pressão	$\sigma_{\text{ef}}$ seção eficaz total
$K$ compressibilidade isotérmica	$Eu$ número de Euler
$E_i$ componente $i$ do vetor campo elétrico	$T_N$ temperatura de Néel

#### 3.4 - Informações associadas aos símbolos das grandezas

As informações específicas sobre as grandezas devem ser fornecidas unicamente pelos símbolos das grandezas e não pelos símbolos das unidades.

<b>EXEMPLO</b>	
Expressão de uma diferença de potencial elétrico máxima de 1000 V:	
Correto	$U_{\text{max}} = 1000 \text{ V}$
Incorreto	$U = 1000 \text{ V}_{\text{max}}$

#### 4. Nomes das grandezas

##### 4.1 - Os nomes das grandezas são nomes comuns

- 4.1.1 começam por uma minúscula, exceto quando iniciam uma frase;
- 4.1.2 levam a marca do plural;
- 4.1.3 não são entidades matemáticas.
- 4.1.4 não podem ser utilizados em expressões ou equações.

<b>EXEMPLO</b>	
1 - Correto	A velocidade, $v$ , é igual a uma distância, $d$ , dividida por uma duração, $t$ , ou seja $v = d/t$
Incorreto	velocidade = distância/ duração $v = d$ por $t$
2 - Ver EXEMPLO 2 do D. 6.1, para legendas dos eixos de gráficos e títulos de colunas de quadros.	

##### 4.2 - Particularidades definicionais

4.2.1 grandezas quocientes de grandezas

As grandezas iguais a quocientes de grandezas devem ser definidas utilizando a expressão "dividido por"



ou “por” e não a expressão “por unidade de”, a fim de evitar a associação de uma determinada unidade com essa grandeza.

EXEMPLO	
Correto	Uma pressão é uma força dividida por uma área. A pressão é a força por área.
Incorreto	A pressão é a força por unidade de área.

#### 4.2.2 distinção entre um objeto e o respetivo atributo

Na referência a uma grandeza, ou ao valor de uma grandeza, convém evitar a confusão entre o fenómeno, o corpo ou a substância e a propriedade que está a ser expressa quantitativamente.

EXEMPLO	
1 - Correto	Um objeto de massa 1 kg foi preso a uma mola para formar um pêndulo.
Incorreto	Uma massa de 1 kg foi presa a uma mola para formar um pêndulo.
2 - corpo ou substância	grandeza
superfície	área
condensador	capacidade elétrica <sup>3</sup>
bobina	indutância

## 5. Valores numéricos

### 5.1 - Escrita dos valores numéricos

5.1.1 Os numerais, como os símbolos das unidades, são sempre impressos em caracteres romanos não inclinados, qualquer que seja o tipo de carácter do texto onde estão inseridos [32].

5.1.2 Em Portugal, a vírgula é o separador decimal [32].

5.1.3 Para facilitar a leitura, os numerais são constituídos de grupos de três algarismos, a partir da vírgula, tanto na parte inteira como na parte decimal. Quando não existe vírgula, a contagem efetua-se a partir do algarismo mais a direita para a esquerda [32].

EXEMPLO			
Correto	1 234,567 8	Incorreto	1,234.567,8
	0,567 8		0,5678

5.1.4 Os nomes de numerais muito grandes em Portugal seguem a regra “N”, ou escala longa, enquanto no Brasil, nos países anglo-saxónicos e árabes, usa-se a regra “n-1”, ou escala curta [33].

EXEMPLO		
Nome de:	em Portugal:	no Brasil:
$10^9$	mil milhões	um bilião
$10^{12}$	um bilião	um trilhão
$10^{15}$	mil biliões	um quatrilhão

### 5.2 - Multiplicação e divisão dos valores numéricos

Aplicam-se as mesmas regras de D. 3.2.3, para a multiplicação e divisão dos símbolos das grandezas.

É muito frequente, não se colocar espaço entre o valor numérico e o símbolo da grandeza.

EXEMPLO			
$4c - 5d$	$6ab$	$7(a + b)$	$3 \ln 2$

## 5.3 – Algarismos significativos

Para os números menores que 1, o primeiro algarismo não nulo é o primeiro algarismo significativo.

Assim: 0,004 23 tem três algarismos significativos, porque  $0,004\ 23 = 4,23 \times 10^{-3}$ .

Para os números maiores que 1, todos os algarismos são algarismos significativos.

Assim: 25 300 tem cinco algarismos significativos e  $2,530 \times 10^4$  tem quatro algarismos significativos.

### 5.3.1. Regras de arredondamento.

Uma vez escolhido a quantidade de casas decimais a manter no numeral, analisa-se o algarismo da primeira casa a retirar. Existem duas situações:

a) Se esse algarismo for maior ou igual a 5, aumenta-se de uma unidade o algarismo da última casa mantida. No caso contrário, esse algarismo fica igual.

b) Se esse algarismo for igual a 5 sem outro algarismo nas casas à direita, aumenta-se de uma unidade o algarismo da última casa mantida, se esse algarismo for ímpar e ficando igual se for par.

EXEMPLO			
numeral	arredondamento	situação	resultado
342,97	décimas	a)	343,0
342,45	décimas	b)	342,4
11 361	dezenas	a)	11 360
11 355	dezenas	b)	11 360

### 5.3.2. erros de arredondamento

Sendo uma aproximação, um valor numérico arredondado apresenta sempre um erro em relação ao valor verdadeiramente exato, que as regras do D 5.3.1. reduzem o mais possível.

A fim de não aumentar esses erros, os valores numéricos arredondados não devem ser obtidos a partir de valores numéricos já arredondados, mas a partir dos valores numéricos mais exatos que seja possível obter. [34]

EXEMPLO		
numeral	arredondamento	resultado
17 489	centenas	17 500
	milhares	17 000
17 500	milhares	18 000

Observa-se que o arredondamento a partir de valores arredondados sucessivos cria um erro por excesso.

## 6. Valores das grandezas

### 6.1 - Valores de grandezas e valores numéricos

A expressão do valor de uma grandeza, A, é:  $a = \{A\} [A]$ , em que  $\{A\}$  é o valor numérico e  $[A]$  é símbolo da unidade de medida.

Assim, na expressão do valor da grandeza velocidade da luz:  $c = 299\ 792\ 458\ \text{m/s}$ , “m/s” é o símbolo da unidade de medida e “299 792 458” é o valor numérico, que é igual a  $c/(\text{m/s})$ .

Esta apresentação prática dos valores de grandezas pode ser utilizada nas legendas dos eixos de figuras ou nos títulos das colunas dos quadros.

<sup>3</sup> Sem o uso do adjetivo “elétrica”, “capacidade” pode significar “volume”

EXEMPLO																			
1 -	Correto	As ordenadas de um gráfico são indexadas $T/(1000\text{ K})$ , em que $T$ é a temperatura termodinâmica; Consequência: o ponto na curva de valor 3,2 corresponde então à temperatura dada por: $T/(1000\text{ K}) = 3,2$ ou seja: $T = 3200\text{ K}$																	
	Incorreto	As ordenadas de um gráfico são indexadas $T(1000\text{ K})$ , em que $T$ é a temperatura termodinâmica; Consequência: o ponto na curva de valor 3,2 corresponde então à temperatura dada por: $T(1000\text{ K}) = 3,2$ ou seja: $T = 3,2 \times 10^3\text{ K}^1$																	
2 -	Correto	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>T/\text{K}</math></th> <th><math>10^3\text{ K}/T</math></th> <th><math>\rho/\text{MPa}</math></th> <th><math>\ln(\rho/\text{MPa})</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>216,55</td> <td>4,6179</td> <td>0,5180</td> <td>-0,6578</td> </tr> <tr> <td>273,15</td> <td>3,6610</td> <td>3,4853</td> <td>1,2486</td> </tr> <tr> <td>304,19</td> <td>3,2874</td> <td>7,3815</td> <td>1,9990</td> </tr> </tbody> </table>	$T/\text{K}$	$10^3\text{ K}/T$	$\rho/\text{MPa}$	$\ln(\rho/\text{MPa})$	216,55	4,6179	0,5180	-0,6578	273,15	3,6610	3,4853	1,2486	304,19	3,2874	7,3815	1,9990	
	$T/\text{K}$	$10^3\text{ K}/T$	$\rho/\text{MPa}$	$\ln(\rho/\text{MPa})$															
216,55	4,6179	0,5180	-0,6578																
273,15	3,6610	3,4853	1,2486																
304,19	3,2874	7,3815	1,9990																
Incorreto	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>T(\text{K})</math></th> <th><math>1/T(10^3\text{ K})</math></th> <th><math>\rho(\text{MPa})</math></th> <th><math>\ln(\rho(\text{MPa}))</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>216,55</td> <td>4,6179</td> <td>0,5180</td> <td>-0,6578</td> </tr> <tr> <td>273,15</td> <td>3,6610</td> <td>3,4853</td> <td>1,2486</td> </tr> <tr> <td>304,19</td> <td>3,2874</td> <td>7,3815</td> <td>1,9990</td> </tr> </tbody> </table>	$T(\text{K})$	$1/T(10^3\text{ K})$	$\rho(\text{MPa})$	$\ln(\rho(\text{MPa}))$	216,55	4,6179	0,5180	-0,6578	273,15	3,6610	3,4853	1,2486	304,19	3,2874	7,3815	1,9990		
$T(\text{K})$	$1/T(10^3\text{ K})$	$\rho(\text{MPa})$	$\ln(\rho(\text{MPa}))$																
216,55	4,6179	0,5180	-0,6578																
273,15	3,6610	3,4853	1,2486																
304,19	3,2874	7,3815	1,9990																

## 6.2 - Espaço entre valor numérico e símbolo de unidade

Na expressão do valor de uma grandeza,  $A$ :  $a = \{A\} [A]$ ,

6.2.1 o valor numérico  $\{A\}$  é sempre situado antes do símbolo da unidade  $[A]$ ,

EXEMPLO	
Correto	$m = 20,02\text{ kg}$
Incorreto	$Q = 50,00\text{ €}$

6.2.2 há sempre um espaço entre o valor numérico  $\{A\}$  e o símbolo da unidade  $[A]$ , igual ao espaço ocupado por um algarismo,

EXEMPLO	
Correto	$t = 30,2\text{ °C}$
Incorreto	$t = 30,2\text{°C}$ $t = 30,2\text{° C}$

As únicas exceções são as unidades sexagesimais de ângulo plano, constando do quadro do C. 3.2, nomeadamente: o grau ( $^\circ$ ), o minuto ( $'$ ) e o segundo ( $''$ ), para as quais não há espaço entre o valor numérico e o símbolo da unidade.

EXEMPLO	
Correto	$\varphi = 30^\circ 22' 8''$

6.2.3 um valor de grandeza escreve-se com o símbolo de único múltiplo ou submúltiplo da unidade

EXEMPLO	
Correto	$l = 1,234\text{ m}$
Incorreto	$l = 1\text{ m } 20\text{ cm } 3,4\text{ mm}$

As únicas exceções são as unidades sexagesimais de ângulo plano: o grau ( $^\circ$ ), o minuto ( $'$ ) e segundo ( $''$ ), e do tempo, a hora (h), o minuto (min) e o segundo (s), constando do quadro do C. 3.2. Todavia, na medição de um ângulo plano, o grau é preferencialmente apresentado como uma unidade decimal, exceto em domínios como a navegação, a cartografia, a astronomia e a medição de ângulos muito pequenos [1].

EXEMPLO	
1 -	Correto $\theta = 22,20^\circ$ desaconselhado $\theta = 22^\circ 12'$
2 -	$t = 10\text{ h } 31\text{ min } 19,93\text{ s}$

## 6.3 - Clareza na escrita de valores de grandezas

6.3.1 pela inequívoca atribuição do símbolo da unidade ao valor numérico ao qual pertence.

Isso pode ser observado nos vários exemplos seguintes.

6.3.2 pela ausência de informação sobre a grandeza para o símbolo da unidade

EXEMPLO			
Correto	51 mm × 49 mm de 31 mm a 73 mm	Incorreto	51 × 49 mm de 31 a 73 mm
	[31; 73] mm {8,2; 9,1; 13,0} GHz		8,2; 9,1; 13,0 GHz
ou	{8,2 GHz; 9,1 GHz; 13,0 GHz}	ou	66,2 ± 0,2 m
	66,2 m ± 0,2 m		66,2 m ± 0,2
ou	123 s – 2 s = 121 s	ou	123 – 2 s = 121 s
	(123 – 2) s = 121 s		$U = 230 \times (1 + 5\%)\text{ V}$
ou	$U = 230 \times (1 + 5\%)\text{ V}$	ou	$U = 230\text{ V} + 5\%$
	$= 230 \times 1,05\text{ V} = 242\text{ V}$		

Os símbolos das unidades devem ser independentes das grandezas em medição, que devem levar toda a informação para uma correta expressão do valor correspondente.

## 6.4 - %, percentagem, fração, ppm, ppb, ppt

Na expressão do valor de uma grandeza, de acordo

EXEMPLO		
1 -	Correto	O teor de Pb é 5 ng/L
	Incorreto	5 ng de Pb/L
2 -	Correto	A sensibilidade para as moléculas de $\text{NO}_3$ é $5 \times 10^{10}/\text{cm}^3$
	Incorreto	A sensibilidade é de $5 \times 10^{10}$ moléculas de $\text{NO}_3/\text{cm}^3$
3 -	Correto	A resistência por dispositivo é de 100 $\Omega$
	Incorreto	A resistência é de 100 $\Omega/\text{dispositivo}$

com o ponto D. 6.2.2, existe um espaço entre o valor numérico e o símbolo da unidade: deve também existir um espaço entre o valor numérico e o símbolo %.

A fim de evidenciar a grandeza cujo valor está expresso com a unidade de símbolo %, é recomendado

EXEMPLO		
1 -	Correto	$x_{\text{Pb}} = 0,0025 = 0,25\%$
	Incorreto	$x_{\text{Pb}} = 0,0025 = 0,25\% = 0,25\text{ percent.}$

utilizar explicitamente razões das unidades correspondentes. Esta prática é ainda mais recomendada quando se trata das unidades de símbolos ppm, e sobretudo ppb e ppt, devido à confusão entre bilhão ( $10^{12}$ ) e bilhão/*billion* ( $10^9$ ) ou entre trilhão ( $10^{18}$ ) e trilhão/*trillion* ( $10^9$ ), de acordo com o ponto D.5.1.4.

## 7. Símbolos dos elementos químicos

EXEMPLO		
1 -	Correto	Uma estabilidade de 0,5 ( $\mu\text{A/A}$ )/min
	Incorreto	Uma estabilidade de 0,5 ppm/min
2 -	Correto	Uma mudança de frequência de $0,35 \times 10^{-9}\text{ f}$
	Incorreto	Uma mudança de frequência de 350 ppb
3 -	Correto	Uma fração mássica de 3,0 cg/g
	Incorreto	Uma fração mássica de 3,0 %
4 -	Correto	Uma sensibilidade de 4,0 ng/kg
	Incorreto	Uma sensibilidade de 4,0 ppb

Os símbolos dos elementos químicos, como os símbolos das unidades e os numerais, são sempre impressos em caracteres romanos não inclinados, qualquer que seja o tipo de carácter do texto onde estão inseridos.

## 7.1 – Subscritos e sobrescritos sobre símbolos de elemento

O número de nucleões (i.e. o número de massa) de um nuclídeo é indicado na posição esquerda sobrescrita:  $^{28}\text{Si}$ .

O número de átomos de uma molécula de um nuclídeo particular é mostrado na posição direita subscrita:  $\text{H}_2$ .

O número de prótons (o número atómico) é indicado na posição esquerda subscrita:  $_{29}\text{Cu}$ .

O estado de ionização ou de excitação é indicado na posição direita sobrescrita, como se pode ler nos exemplos seguintes:

Estado de ionização:  $\text{Ba}^{++}$ ,  $[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]^{3-}$

Estado excitado eletrónico:  $\text{Ne}^*$ ,  $\text{CO}^*$

Estado excitado nuclear:  $^{15}\text{N}^m$  ou  $^{15}\text{N}^*$

## Referências

1. *Le système international d'unités (SI)*, 9e édition, 2019, Bureau international des poids et mesures, disponível em : <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>;
2. *Le Système international d'unités – The International System of Units*, 7e édition, 1998, Bureau international des poids et mesures;
3. *Le Système international d'unités – The International System of Units*, 8e édition, 2006, Bureau international des poids et mesures;
4. Decreto-Lei n.º 128/2010 de 3 de dezembro, Diário da República, 1.ª série, N.º 234, 3 de dezembro de 2010.
5. de Almeida G., O sistema internacional de unidades (SI), 3.ª ed., Plátano, 2002;
6. Instituto Português da Qualidade, Regras e Procedimentos para a Normalização Portuguesa, IPQ, Caparica, 2019;
7. Thompson A., Taylor B.N., *Guide for the Use of the International System of Units (SI)* Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 811, 2008 Ed., (March 2008; 2nd printing November 2008);
8. ISO 80000-1:2009 *Quantities and units - Part 1: General*;
9. ISO 80000-2:2019 *Quantities and units - Part 2: Mathematics*;
10. Disponível em: <https://www.bipm.org/fr/publications/open-literature/> à data de 2019-12-18;
11. *Comptes rendus 87, 11e Conférence générale des poids et mesures, résolution 12*, 1960, Bureau international des poids et mesures;
12. Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012) (1.ª edição luso-brasileira, autorizada pelo BIPM, da 3.ª edição internacional do VIM – *International Vocabulary of Metrology – Basic and general concepts and associated terms - JCGM 200:2012*), IPQ, Portugal, 2012;
13. *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections)*;
14. Ref. 12, entrada 1.9;
15. Ref. 12, entrada 1.10;
16. Ref. 12, entrada 1.4;
17. Ref. 12, entrada 1.5;
18. Ref. 12, entrada 1.11;
19. Ref. 12, entrada 1.3;
20. Ref. 12, entrada 1.13;
21. Ref. 12, entrada 1.16;
22. Ref. 12, entrada 1.6;
23. Ref. 12, entrada 1.12;
24. Brigodiot, G. “*Les unités de mesure – Législation et règles d'écriture*” in « *Fondamentaux de la métrologie* », « *Concepts et vocabulaire* », AFNOR 2005.
25. Legent, N. “*Unités de mesure SI*” *Techniques de l'Ingénieur Archives* 23v2 2006;
26. de Boer, J. “*On the History of Quantity Calculus and the International System*”, *Metrologia*, vol. 32, p. 404-429, 1994/1995;



27. Mills, I.M. *"The language of science"*, Metrologia, vol. 34, p. 101-109, 1997;
28. Foster, M.P., *"Disambiguating the SI notation would guarantee its correct parsing"*, Proc. R. Soc. A, vol. 465, p. 1227-1229, 2009;
29. Mills, I.M. *"Conventions for writing the values of the quantities in the SI"*, Proc. R. Soc. A, vol. 465, p. 2313-2316, 2009;
30. Foster, M.P., *"Response to Mills' comments on the SI notation"*, Proc. R. Soc. A, vol. 465, p. 2317-2318, 2009;
31. Foster, M.P., *"Quantities, units and computing"*, Computer standards & Interfaces, vol. 35, p. 529-535, 2013.
32. NP 9, Escrita dos numerais.
33. NP 18, Nomenclatura dos grandes números.
34. NP 37, Arredondamento dos valores numéricos.



Olivier Pellegrino, técnico superior no Instituto Português da Qualidade (IPQ) onde, desde 2002, é responsável pelos Domínios Metrológicos de Fotometria, Radiometria e Radiofrequência no Departamento de Metrologia, representando o IPQ na Comissão Técnica de Normalização CTE 01 – Terminologia.



Sílvia Gentil, técnica superior no Instituto Português da Qualidade (IPQ), tendo exercido funções durante 18 anos no Departamento de Metrologia nos Domínios Metrológicos Comprimento, Rugosidade, Ângulo e Pontos Fixos da Termometria, atualmente desenvolve a sua atividade profissional no Departamento de Normalização do IPQ.

# Medição direta do comprimento de onda e indireta do valor da velocidade do som no ar

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, Trancoso; carlos.saraiva1@gmail.com

## Resumo

Neste trabalho, vamos apresentar um processo em que usamos um software que transforma o computador (PC) num osciloscópio digital e uma aplicação para telemóvel de modo a ser possível determinar diretamente o comprimento de onda de uma onda sonora no ar e indiretamente o valor da sua velocidade.

## Introdução

No Programa de Física e Química A 11.º na atividade laboratorial (AL 2.1. Características do som) para determinar o comprimento de onda é sugerido: “Ligar dois microfones ao osciloscópio e colocá-los bem alinhados em frente ao altifalante, de modo a que os dois sinais obtidos fiquem sobrepostos no ecrã. Marcar a sua posição sobre a mesa de trabalho e afastar progressivamente um deles. Medir as distâncias a que se deslocou o microfone até se observarem de novo os sinais com os seus máximos alinhados no ecrã; esta distância será o comprimento de onda.” [1]. No entanto, o programa também refere que: “Se o número de osciloscópios existentes na escola não permitir o trabalho laboratorial em grupos de dimensão razoável (três a quatro alunos) podem ser usados computadores com software de edição de som, ou outros sistemas de aquisição automático de dados aos quais se liga um microfone.” [1]. A nossa proposta permite que os professores preparem aulas laboratoriais em grupos, sem estarem limitados ao número de osciloscópios que têm disponíveis. Apenas é necessário comprar dois microfones e dois cabos áudio, o que representa um valor monetário muito baixo. Outra vantagem é o facto dos professores poderem fornecer estes programas, para que os alunos os possam usar em casa.

## Desenvolvimento

Para a realização desta atividade serão necessários dois microfones, um computador, dois cabos áudio, conhecidos por jacks de 3,5 mm (Fig. 1), *software Soundcard Scope* [2] e aplicação *Pro Audio Tone*



Figura 1 - Dois cabos áudio de 3,5 mm.

*Generator* [3] para sistema Android (existem aplicações idênticas para sistema iOS).

O *Soundcard Scope* (versão 1.46) é um software livre para fins educacionais que transforma o computador num osciloscópio digital. A vantagem deste osciloscópio digital, em relação a um osciloscópio comum existente nos laboratórios de física, é que ele permite fixar o ecrã, parando a imagem, possibilitando, assim, uma análise mais cuidada das características de cada imagem observada, podendo ser desenhada numa folha de papel ou guardada em formato digital [4].

A aplicação *Pro Audio Tone Generator* (versão 2.5.2) é um gerador de sinais que permite produzir sons puros e variar a sua frequência ou amplitude. Há muitas aplicações disponíveis para telemóveis. Escolhemos esta porque é muito simples e intuitiva. Por defeito, os valores apresentados para a frequência são: 55, 110, 220, 440 e 880 Hz (Fig. 2). No entanto, podemos seleccionar outros valores ao clicar nos locais assinalados pelas setas vermelhas (ver o vídeo da referência [5]).

Esta aplicação permite gerar sinais elétricos, contudo, as características dos sons correspondentes dependem da fidelidade do altifalante do telemóvel, a qual também depende das frequências dos sinais. Assim, um sinal sinusoidal gerado pelo software poderá ser detetado no ecrã como um sinal complexo. Por esta razão, é recomendável que não sejam usados valores muito pequenos nem muito grandes.

O software utilizado é livre para fins educacionais, o que não acarreta custos económicos para as escolas. Os cabos áudios



Figura 2 - Aplicação *Pro Audio Tone Generator*.

são muito baratos e encontram-se à venda em qualquer loja de equipamentos eletrônicos e em supermercados. Em alternativa, podem ser reaproveitados de equipamentos obsoletos, como, por exemplo, headphones, microfones, câmaras Web, etc.

Para que seja possível a realização desta atividade, é fundamental ligar os dois microfones de modo a que os sinais sejam detetados em dois canais diferentes, isto é, o microfone 1 deteta o som no 1.º canal e o microfone 2 deteta o som no 2.º canal. Para isso, devemos cortar os cabos e retirar a camada protetora de plástico dos fios (Fig. 3), para ligar duas fêmeas a um macho. As ligações entre os cabos áudio estão esquematizadas na ilustração (Fig. 4).



Figura 3 - Cabos descarnados.

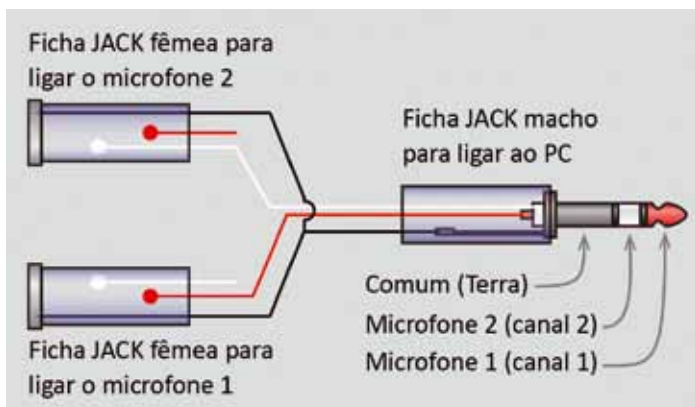


Figura 4 - Esquema das ligações entre os cabos.

Depois de feitas as ligações, envolvemo-las com fita cola preta para que ficassem mais robustas e isoladas. Os cabos ficaram com o aspeto apresentado na figura 5, onde se vê um macho ligado a duas fêmeas. Este procedimento pode ser consultado no vídeo da referência [6].



Figura 5 - Aspeto final dos cabos ligados.

No ANEXO, temos todas as informações necessárias para a realização desta atividade experimental.

## Resultados

A distância,  $d$ , medida foi de 0,352 m. Este valor corresponde ao comprimento de onda da onda produzida pelo telemóvel, medido de forma direta.

A frequência,  $f$ , do som emitido pelo telemóvel era de 1000 Hz. Deste modo, é possível a determinação indireta do valor da velocidade de propagação do som no ar:

$$v_{som} = \lambda \times f \Leftrightarrow v_{som} = 0,352 \times 1000 \Leftrightarrow v_{som} = 352 \text{ m s}^{-1} \quad (1)$$

Na literatura, o valor da velocidade do som está relacionado com a temperatura através da expressão [7]:

$$v_{som} = 331 \sqrt{1 + \frac{\theta_{ar}}{273}} \quad (\text{m s}^{-1}) \quad (2)$$

em que  $\theta$  representa o valor da temperatura em graus Celsius. A temperatura do laboratório era de 19,3 °C. Substituindo na expressão (2), obtém-se o valor teórico da velocidade de propagação do som no ar a essa temperatura:

$$v_{som} = 331 \sqrt{1 + \frac{19,3}{273}} \Leftrightarrow v_{som} = 343 \text{ m s}^{-1}$$

Assim, o desvio entre o valor experimental e o valor teórico, em percentagem, será:

$$d_r \% = \frac{v_{som}^{experimental} - v_{som}^{teórico}}{v_{som}^{teórico}} \times 100\% \Rightarrow d_r \% = \frac{352 - 343}{343} \times 100\% \Leftrightarrow d_r \% = 3\%$$

O desvio percentual calculado é 3 % por excesso, visto que o valor experimental é superior ao valor de referência.

## Conclusão

A velocidade de propagação do som no ar não depende apenas da sua temperatura, pelo que a expressão (2) não nos fornece um valor exato. No entanto, representa uma boa aproximação. Assim, em virtude do



desvio entre o valor experimental e o valor teórico ser pequeno, podemos considerar que o procedimento apresentado para esta atividade experimental é válido. Este método é uma alternativa simples, económica e eficaz para determinar, de forma direta, o comprimento de onda de um sinal sonoro que se propaga no ar.

## ANEXO

### Procedimento para a realização da atividade laboratorial AL 2.1. Características do som.

1. Instalar o software *Soundcard Scope*.
2. Ligar dois microfones às fêmeas da ligação preparada e depois o macho da ligação preparada na entrada do microfone do PC. Clicar no ícone do programa para o ativar e depois em “continue” (fig. 6 e 7).



Figura 6 e 7 - Ativação do scope.

3. Clicar em “Maximizar” no canto superior direito da janela.
4. Medir a temperatura da sala.
5. Certificar que os dois canais se encontram selecionados (Fig. 8).

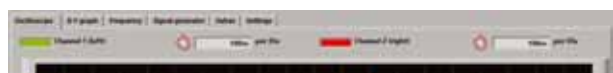


Fig. 8 - Dois canais ligados.

6. No canto inferior esquerdo da janela, clicar em “Run/Stop” para iniciar o registo.
7. Ligar a aplicação *PA Tone Generator* e registar a frequência da onda emitida.
8. Colocar os dois microfones bem alinhados em frente ao telemóvel, de modo a que os dois sinais obtidos fiquem sobrepostos no ecrã (Fig. 9).

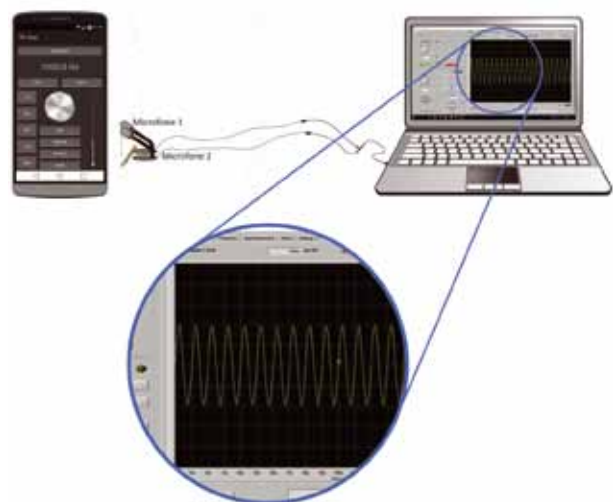


Figura 9 - Sinais sobrepostos.

**NOTA:** É provável que as amplitudes dos sinais não sejam iguais, já que isso depende das características técnicas dos microfones.

9. Marcar a posição de um deles sobre a mesa de trabalho e afastá-lo progressivamente. Medir a distância a que se deslocou o microfone até se observarem de novo os sinais com os seus máximos alinhados no ecrã. Registrar esse valor da distância medida que corresponde ao comprimento de onda (Fig. 10). Ver o vídeo, “Comprimento de onda e velocidade do som no ar”, da referência [8].

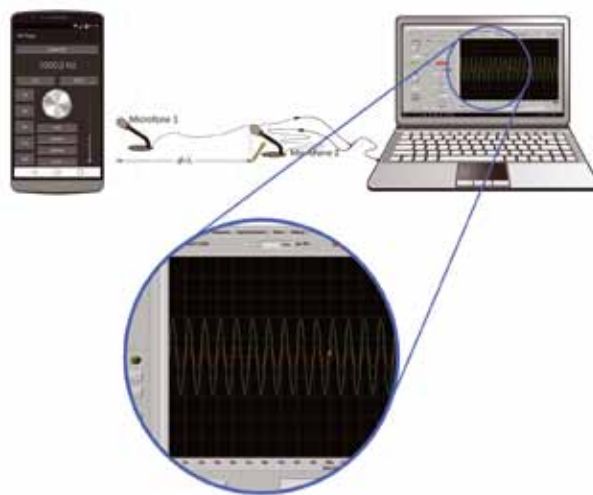


Figura 10 - Determinação direta do comprimento de onda.

## Referências

- [1] Direcção-Geral da Educação. Programa de Física e Química A, 10.º e 11.º anos. Ministério da Educação e Ciência, 2014.
- [2] Soundcard Scope (Osciloscópio virtual, livre para fins educacionais) disponível em: [http://www.zeitnitz.de/Christian/scope\\_en](http://www.zeitnitz.de/Christian/scope_en)
- [3] *Pro Audio Tone Generator* disponível na Google Play Store.
- [4] Determinação do valor da velocidade do som no ar, Carlos Saraiva e Albino Pinto, *Gazeta de Física*, Vol. 38, Nº 2, pp. 13-19, 2015.
- [5] Demonstração do funcionamento do Pro Audio Tone Generator: <https://youtu.be/wNseRQrJBjQ>
- [6] Procedimento para as ligações dos cabos áudio: <https://youtu.be/T07sONX7iuA>



[7] Raymond A. Serway & John W. Jewett. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Ed. 9. Brooks/Cole, USA, 2012. Página 511.

[8] Comprimento de onda e velocidade do som no ar: <https://youtu.be/ZRrbdJl4tFs>



[9] Instalação do Soundcard Scope: <https://youtu.be/02FcEihYxTA>



[10] Software Livre para Visualização e Estudo do Som, Albino Rafael Pinto e Carlos Saraiva, Gazeta de Física, Vol-36- Nº 1, pp. 29-34, 2012.

[11] Protocolo Laboratorial: Visualização de ondas sonoras e determinação do período e da frequência de um diapasão, Albino Rafael Pinto e Carlos Saraiva, Casa das Ciências, 2 de novembro de 2016.

[12] Protocolo Laboratorial: AL 2.1. Características do som, Albino Rafael Pinto e Carlos Saraiva, Casa das Ciências, 11 de janeiro de 2018.

[13] Protocolo Laboratorial: AL 2.2. Velocidade de propagação do som, Albino Rafael Pinto e Carlos Saraiva, Casa das Ciências, 7 de dezembro de 2018.

[14] Ifan Hughes and Thomas Hase. *Measurements and their Uncertainties: A practical guide to modern error analysis*. Oxford University Press (July 1, 2010)



Albino Rafael Mesquita Pinto, é professor no Agrupamento de Escolas da Lixa, 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 protocolos laboratoriais publicados na Casa das Ciências, de vários artigos publicados na Gazeta de Física e de um livro de exercícios de Física para o 11º ano. Em 2018, ganharam o prémio Distinção Casa das Ciências com o “Protocolo Laboratorial - 11º ano AL 2.1. Características do som”. Em 2019, ganharam o prémio de Mérito Casa das Ciências com o “Protocolo Laboratorial - 11º ano AL 2.2. Velocidade de propagação do som”.

# Modelo mecanístico de roldanas

Aires Vinícius Correia da Silveira

ULBRA, Unidade São Mateus, Cachoeirinha, RS, Brasil.  
aires-silveira35@hotmail.com

## Resumo

As roldanas são máquinas simples, geralmente apresentadas por meio de figuras esquemáticas e por um modelo ideal que, nalgumas montagens, demonstra que uma força potente pode ser menor que uma força resistente. Contudo, os valores experimentais medidos não coincidem com os valores calculados. Neste trabalho apresenta-se um modelo que tem em conta mais componentes do sistema. Com esta abordagem, o desvio entre os valores obtidos experimentalmente e os valores obtidos pela aplicação do modelo, é menor.

## Introdução

Durante as aulas de Física, mais especificamente, nas aulas com máquinas simples [1-4] (roldanas, polias), usam-se simplificações, considerando a montagem como sendo ideal. Devido a estas simplificações, o cálculo nunca coincide com a realidade. Isto não significa que o tratamento dos sistemas como sistemas ideais, sejam errados. Eles foram implementados para interpretar situações complexas das ciências, em que se fossem consideradas todas as complexidades, seriam problemas de difícil resolução. Um exemplo de modelo ideal seria os gases, que são considerados com movimentos caóticos, colisões elásticas (sem perdas de energias), distâncias entre as moléculas maiores que o seu tamanho e forças de interações desprezíveis (força eletrostática desprezada,...). Desta forma, os modelos ideais nos auxiliam nas interpretações, não só da Física, mas das ciências.

Possivelmente, Arquimedes (287-212 a.C.) foi o primeiro a deduzir a lei das roldanas[5]. Não descurando a validade de algumas simplificações, pode desenvolver-se um modelo mecanístico, que contenha outros componentes do sistema, e que atenuem as diferenças entre os valores medidos experimentalmente e os valores calculados por aplicação de um modelo.

Neste artigo pretende-se introduzir um novo modelo para o estudo das roldanas e propor um protocolo ex-

perimental que aproxima o modelo da realidade, quando comparado com os modelos propostos tradicionalmente.

## Modelo ideal de roldanas

As roldanas são discos, que podem rolar sobre um eixo, com uma gola por onde passa uma corda ou corrente, que possibilita aplicar forças (potentes) para suspender ou fazer movimentar cargas (força resistente). Em determinadas montagens a força potente é menor que a força resistente. Para interpretar o seu funcionamento utiliza-se um modelo ideal, considerando-se desprezáveis: a massa da corda; a massa da roldana; o atrito entre o fio e a gola da roldana; o atrito entre a roldana e o eixo que suporta a roldana sobre o qual ela rola. Desta forma, de acordo com o modelo ideal, uma montagem com uma roldana móvel, a força potente seria a metade da força resistente. Na prática, este resultado não se verifica.

Muitos exercícios apresentam situações envolvendo roldanas (polias) com considerações ideais. Nos livros do ensino superior foram verificados exercícios que apresentam polias sem atrito e sem massa, mas também situações físicas como a máquina de atwood [6-8].

Em alguns livros do ensino médio foram verificadas descrições ideais de roldanas, com ilustrações em que a força potente é a metade da força resistente [1,2,9,10].

Já noutros livros do ensino médio, além da descrição de roldanas ideais, foi também tida em conta a equação (1), em que “ $F$ ” é a força potente, “ $P$ ” a força resistente, que normalmente é o peso do objeto, e “ $n$ ” o número roldanas móveis [3,4,11]. Esta equação (1) aplica-se a uma associação de roldanas móveis com uma só roldana fixa.

$$F = \frac{P}{2^n} \quad (1)$$

Portanto, na descrição e resolução de situações com roldanas, é utilizado o modelo ideal, em que as massas da corda, da roldana e o atrito são desprezados.

## Configurações de roldanas para experiências

Propõe-se uma sequência de experiências com as configurações das figuras 1, 2, 3 e 4, sendo que na configuração da figura 1, apenas se modifica o sentido da força potente



relativamente à situação da configuração da figura 2. A força resistente é representada pela força “P”, que é o peso do objeto. A força potente é representada por “F”, medida com o dinamômetro.

Os materiais a serem utilizados são: um suporte, um objeto de latão com peso “P” igual a 0,96 N, dois fios de nylon, duas roldanas de alumínio de 0,14 N e um dinamômetro de alcance 2 N.

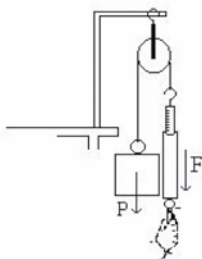


Figura 1 - Sistema com roldana fixa preso no suporte.

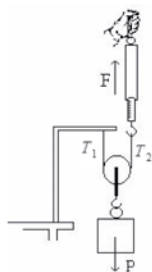


Figura 2 - Sistema com uma roldana móvel. O objeto de peso “P” está preso à roldana.

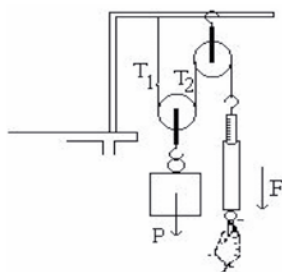


Figura 3 - Sistema com a associação de duas roldanas, uma fixa e a outra móvel.

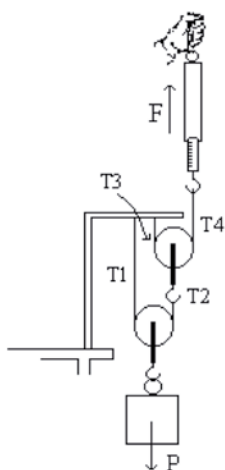


Figura 4 - Sistema com a associação de duas roldanas móveis.

## Modelo e Interpretações

A tabela 1 pretende comparar os resultados do modelo previsto por aplicação da equação 1, com os resultados obtidos experimentalmente.

Tabela 1- Resultados da equação (1) e experimentais.

	Valor da força potente previsto por aplicação de equação (1) [N]	Valor da força potente obtido experimentalmente [N]
Configuração 1	0,96	0,96
Configuração 2	0,48	0,56
Configuração 3	0,48	0,56
Configuração 4	0,24	0,36

Para que os valores previstos possam ser mais próximos dos que se obtêm experimentalmente, tem de se introduzir alterações ao modelo representado na equação (1).

Na configuração da figura 2, além do peso do objeto, “P”, o peso da roldana “Pr1” de 0,14 N, tem também de ser suportado. Tal como para o objeto de peso “P”, o peso da roldana também se distribui igualmente pelas partes esquerda (representado por  $T_1$ ) e direita (representado por  $T_2$ ) do fio que passa pela gola da roldana. É esta força  $T_2$  que é medida pelo dinamômetro. Se alterarmos a equação (1) para incluir o peso da roldana, obteríamos a equação (2).

$$T_2 = \frac{P + P_{r1}}{2^n} \quad (2)$$

Para o caso das configurações (2) e (3), que em termos de intensidade de força potente são idênticas, teríamos a seguinte situação descrita na tabela 2.

Tabela 2- Resultados da equação (1), da equação (2), experimentais e desvios. Na tabela 2,  $F(1)$  é o valor da força potente previsto por aplicação da equação (1),  $T_2(2)$  o valor da força potente previsto por aplicação da equação (2) e  $T_2$  o valor da força potente obtido experimentalmente, medido com o dinamômetro.

P (N)	$P_{r1}$ (N)	n	$F(1)$ (N)	$T_2(2)$ (N)	$T_2$ [N]	Usando eq. (1) Desvio absoluto/desvio percentual	Usando eq. (2) Desvio absoluto/desvio percentual
0,96	0,14	1	0,48	0,55	0,56	0,08 N / 14,3 %	0,01 N / 1,8 %

Nesta situação de uma roldana móvel, o desvio percentual entre o valor medido da força potente e o valor da força potente calculado pela aplicação da equação (1) e (2), diminui de 14,3 % para 1,8 %, o que não pode deixar de traduzir uma melhoria do modelo proposto.

Na configuração da figura 4, o peso do corpo (P) e o peso da roldana 1, que está associada ao corpo ( $P_{r1}$ ), estão distribuídos igualmente pelos dois lados do fio que passa pela gola da roldana. A parte direita do fio está ligada ao eixo da roldana 2. Portanto esta roldana suporta metade do peso do corpo e metade do peso da roldana 1, ou seja, a roldana 2 suporta uma força equivalente à que é obtida pela resolução da equação (2), ou seja  $T_2$ . O fio que passa pela roldana 2, suporta, além da força  $T_2$ , o peso da própria roldana (2),  $P_{r2}$ . Toda esta carga está distribuída pelos dois lados do fio, representadas pelas forças  $T_3$  e  $T_4$ , sendo esta última, aquela que é medida pelo dinamômetro. O valor previsto da força medida pelo dinamômetro será:

$$T_4 = \frac{T_2 + P_{r2}}{2^n} \quad (3)$$

Se o peso das roldanas for igual, poderemos representar esse peso por  $P_r$  e substituir na expressão (3), assim como o  $T_2$  da equação (2). Não esquecer que o  $P_{r1}$  da equação (2), corresponde, na configuração da figura 4, a  $P_{r2}$ . Para o caso específico desta configuração, com duas roldanas móveis ( $n = 2$ ), obtém-se a equação (4).

$$T_4 = \frac{P + 3P_r}{4} \quad (4)$$

Nesta equação,  $T_4$  é a força potente ( $F = T_4$ ). O fator 3 da equação está relacionado com o número de roldanas móveis. Para esta configuração, com 2 roldanas móveis ( $n = 2$ ):  $2n - 1 = 3$ .

Generalizando para os sistemas com roldanas móveis de igual massa, o valor da força potente é obtido pela expressão (5).

$$F = \frac{P + (2n-1)P_r}{2^n} \quad (5)$$

Esta expressão é válida para sistemas com roldanas móveis ou que envolvam uma roldana fixa e  $n$  roldanas móveis. Particularizando para o caso da configuração (4), tem-se os resultados da tabela 3.

Tabela 3- Resultados da equação (1), da equação (5), experimentais e desvio. Na tabela,  $F(1)$  é o valor da força potente previsto por aplicação da equação (1),  $F(5)$  - valor da força potente previsto por aplicação de equação (5) e  $F$  é o valor da força potente obtido experimentalmente, medido com o dinamômetro.

P (N)	P <sub>r</sub> (N)	n	F(1) (N)	F(5) (N)	F (N)	Usando eq. (1)	Usando eq. (5)
						Desvio absoluto/desvio percentual	Desvio absoluto/desvio percentual
0.96	0.14	2	0.24	0.35	0.36	0.12 N / 33.3 %	0.01 N / 2.8 %

Com duas roldanas móveis, o desvio percentual entre o valor medido da força potente e o valor da força potente calculado pela aplicação das equações (1) e (5), diminui, de um modo muito significativo, de 33.3 % para 2.8 %! Este pequeno desvio relativamente à medida efetuada com o dinamômetro, pode ser facilmente entendido pelos alunos, devido a não levar em conta a massa do fio e os atritos envolvidos.

Querendo evoluir a expressão (5) para incluir as forças desprezadas (peso do fio e os atritos envolvidos), obter-se-ia a equação (6).

$$F_n = \frac{P + (2n-1)P_r}{2^n} + F' \quad (6)$$

Em que  $F'$  corresponderia a essas forças. Naturalmente os alunos poderão estimar a magnitude dessas forças fazendo a diferença entre o valor da força potente obtido experimentalmente e o valor calculado pela expressão (5). Assim, teremos um novo modelo para  $n$  roldanas móveis iguais, com a opção de acrescentar apenas uma roldana fixa.

## Conclusão

A ciência não apresenta um conhecimento estático, está sempre em evolução. Este artigo propõe um modelo mecânico de roldanas com a incorporação de mais componentes dos sistemas de roldanas e corresponde a uma evolução do modelo tradicionalmente lecionado. Quando comparado com o modelo tradicional, este modelo proposto tem uma consequência muito benéfica e que se traduz pela diminuição do desvio entre os valores calculados e os valores experimentalmente obtidos.

## Referências

- Alvarenga, B; Máximo, A. Física: volume único. São Paulo: Scipione, 2007, 200p.
- Alvarenga, B; Máximo, A. Física, contexto e aplicações. São Paulo: Scipione, 2013, 117p.
- Barreto Filho, Benigno. Física aula por aula: mecânica 1º ano. 2ed. São Paulo: FTD, 2013, 154p.
- Bonjorno, José Robert. Física: história e cotidiano. Volume único. São Paulo: FTD, 2005, 212p.
- Dieguez, Flávio. As façanhas de um gênio. Revista Galileu Especial, nº 1. Editora Globo. Abril de 2003, 10p.
- Halliday, D.; Resnick, R.. Fundamentos da Física. Volumes 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996, p.105.
- Nussenzveig, H. Moisés. Curso de Física Básica, VI. 5ª Ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2013, p.312.
- Tipler, Paul Allen. Física para Cientistas e Engenheiros, VI. Rio de Janeiro: TC, 2014, p.298.
- Gaspar, Alberto. Física 1. São Paulo: Editora Atica, 2008, 132, 134, 141-143p.
- Menezes, Luís Carlos de. Quanta Física, 1º ano. 2ªed. São Paulo: Person Education do Brasil, 2013, 243p.
- Guimarães, Osvaldo. Física 1 /Osvaldo Guimarães, José Roberto Piqueira, Wilson Carron. 1ª ed. São Paulo: Atica, 2013, 158p.



Aires Vinícius Correia da Silveira, é professor de Física, de ciências, com licenciatura, bacharelado e mestrado em Física pelo IF-UFRGS. Autor dos livros: "Acordando em outro mundo" e "Contribuições das ciências e perspectivas".

# Formação inicial de professores de Física e Química

**Mónica Baptista**

Instituto de Educação da Universidade de Lisboa

No relatório “Perfil do Docente” recentemente publicado pela Direção-Geral de Estatísticas da Educação e Ciência (DGEEC), os dados mostram o envelhecimento da população docente, particularmente no que respeita aos professores de Física e Química. Este fator é um indicador importante que sinaliza a possibilidade não só, num curto espaço de tempo, do sistema necessitar de novos professores, como também a necessidade de se formar mais professores de Física e Química. De facto, é muito reduzido o número de professores Física e Química que terminam, por ano, o curso de formação inicial (i.e., o curso de Mestrado em Ensino de Física e Química).

Atualmente, para se ser professor de Física e Química é necessário obter o grau de mestre em ensino. O Mestrado em Ensino de Física e Química confere, assim, habilitação profissional para a docência no ensino básico e no ensino secundário. Os candidatos a este Mestrado têm que cumprir as seguintes condições de acesso: ser titular do grau de licenciado e ter obtido na sua formação de ensino superior pelo menos 50 créditos ECTS em Física, 50 créditos ECTS em Química e 120 créditos ECTS no conjunto das duas áreas; o domínio escrito da língua portuguesa, verificado através da realização de uma prova escrita de Português; o domínio oral da língua portuguesa, bem como das regras essenciais da argumentação lógica e crítica, verificado através de realização de entrevista de seleção. Podem ainda candidatar-se aqueles que tenham obtido 90 créditos ECTS nas áreas científicas de Física e Química, ficando, neste caso, a conclusão do curso de mestrado condicionada à obtenção dos créditos em falta (Decreto-Lei n.º 79/2014, de 14 de maio; Decreto-Lei n.º 176/2014, de 12 de dezembro).

O Mestrado em Ensino de Física e Química tem a duração de 2 anos (4 semestres) e 120 créditos ECTS, contemplando quatro áreas: formação na área da docência; formação educacional geral; didáticas específicas; e prática de ensino supervisionada.

Mais informações sobre o Mestrado podem ser obtidas através do email: [mbaptista@ie.ulisboa.pt](mailto:mbaptista@ie.ulisboa.pt)



Mónica Luísa Mendes Baptista, é docente do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa. É Vice-Presidente da Sociedade Portuguesa de Física.



# À descoberta dos exoplanetas!

Constança Providência

CFisUC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra

## Material

- Castiçal com uma vela
- Ripa de plástico/régua transparente de 30 cm
- Barras de plasticina de 25 g
- Alfinete
- Fósforos

Certamente tens ouvido falar de exoplanetas. Sabes o que são? São astros como a Terra, Júpiter, Neptuno ou qualquer outro planeta do sistema solar mas que giram em torno de uma estrela que não é o Sol. Se pensares, poderás perguntar: porque é que as outras estrelas do Universo, e há tantas, não hão-de ter, também elas, planetas a rodar em torno de si, do mesmo modo que o Sol tem? Já no século XVI o filósofo Giordano Bruno defendeu esta ideia! O astrofísicos Michel Mayor e Didier Queloz da Universidade de Génèbra foram os primeiros a detetar um exoplaneta a orbitar uma estrela do tipo do Sol. Por essa descoberta, feita em 1995, receberam este ano o prémio Nobel da Física. Graças aos avanços da tecnologia que nos permite obter imagens muito mais nítidas e com maior detalhe no início do mês de Dezembro de 2019 tinha sido confirmada a deteção de 4135 exoplanetas!

E por que razão é tão interessante descobriremos exoplanetas? Será que existem, algures no Universo, outros planetas onde, tal como na Terra, há vida? Para termos respostas será necessário descobri-los... Mas, ao contrário das estrelas, os planetas não emitem luz... Não são suficientemente grandes para poderem ocorrer reações nucleares no seu centro como acontece no Sol. Então, se não nos enviam luz, como poderão ser encontrados?

Podemos descobri-los de maneira indireta, se considerarmos que giram em torno de uma estrela, e essa, sim, geralmente emite luz visível. Ao identificarmos no comportamento da estrela efeitos que só se explicam pela existência de um outro astro na sua vizinhança é bem possível que tenhamos descoberto um exoplaneta!

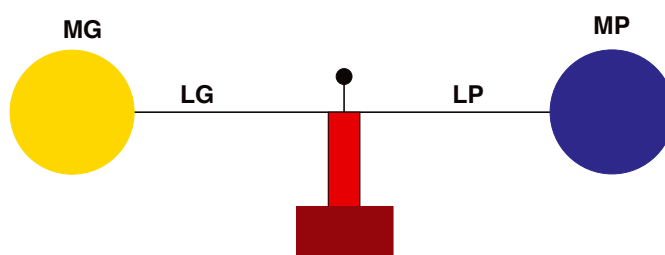


Figura 1 - Sistema binário com o centro de massa marcado por um alfinete

Faz esta experiência para perceberes um dos métodos usados para descobrir estes astros. Corta uma vela de modo a ficar com a forma de um cilindro, vê a Fig. 1. Em cima, equilibra a ripa de plástico, pode ser uma bagueite de plástico para encadernação, de preferência transparente, com duas bolas de plasticina iguais uma de cada lado. Consegues? Com a ajuda de um adulto aquece um alfinete numa vela. Fura a ripa de plástico com o alfinete quente e espeta-o na vela mantendo as bolas equilibradas. Agora podes fazer rodar as duas boas de plasticina em torno do alfinete. Repara que cada bola descreve uma circunferência com o raio igual a metade do comprimento da ripa (Fig. 2). A posição do alfinete marca o centro de massa do conjunto bolas de plasticina e ripa. No Universo há muitos sistemas binários de estrelas de massas semelhantes que rodam como o teu modelo. Claro que não há nenhuma ripa e é a força da gravidade que as mantém “ligadas”! Mas num sistema binário, as massas podem ser muito diferentes, como no caso de uma estrela com um planeta. A massa do Sol é 333000 vezes maior que a massa da Terra! Neste caso onde fica o centro de massa do sistema?

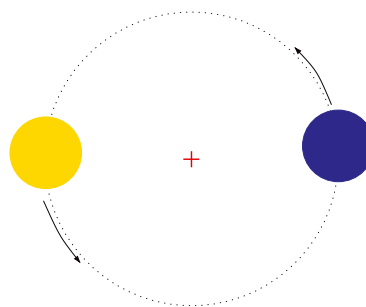


Figura 2 - Dois astros de igual massa a rodar em torno do seu centro de massa, marcado com uma cruz vermelha.

Volta a equilibrar a ripa em cima da vela mas colocando numa ponta um pequeno bocado de plasticina com cerca de 1 g e na outra ponta uma bola de plasticina de 25 g. Equilibra a ripa com as duas bolas e marca o centro de massa. Volta a repetir substituindo a bola maior por uma com cerca de 50 g e depois repete novamente usando uma bola com cerca de 75 g (Fig. 3). Em todos os casos mede a posição do centro de massa relativamente à extremidade da ripa e toma nota dos valores. Para onde se desloca o centro de massa? Se a massa da ripa de plástico fosse nula deverias verificar que o produto da massa da bola grande  $MG$  pela sua distância ao centro de massa  $LG$  é igual ao produto da massa pequena  $MP$  pela distância desta ao centro de massa, ou seja,  $MG \times LG = MP \times LP$ . Quando medires  $LG$  e  $LP$  considera a distância do centro das bolas ao alfinete que marca a posição do centro de massa. As tuas medições verificam aquela relação? Os desvios são devidos à massa da ripa de plástico.

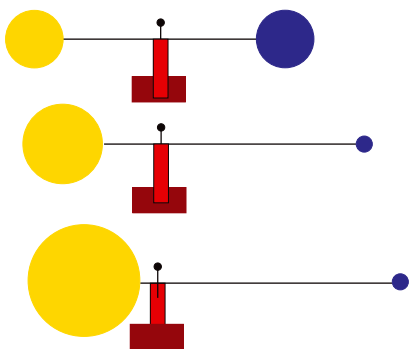


Figura 3 - Sistemas binários formados por astros com massas diferentes. Em todos os casos o centro de massa está identificado pelo alfinete. A bola amarela representa a estrela e a bola azul o exoplaneta.

Se a bola amarela for muito grande o centro de massa localiza-se dentro dela mas não no seu centro. Se fixares a ripa à vela com um alfinete quente podes colocar o sistema a rodar com a mão. Desta vez a bola grande que representa a estrela descreve apenas uma pequena circunferência com um raio inferior ao raio da bola (Fig. 4). Observada à distância apresenta um movimento oscilante: quando se move em direção a nós a luz que emite parece-nos mais azul e quando se afasta essa luz parece-nos mais vermelha. É detetando esta oscilação na luz emitida pela estrela que os exoplanetas são descobertos!

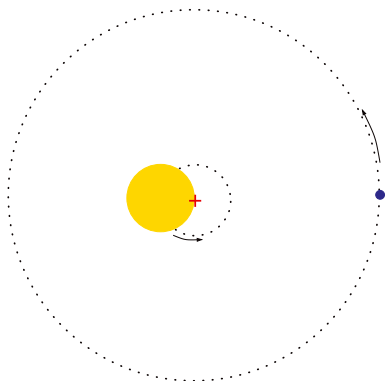


Figura 4 - Movimento de dois astros de massa muito diferente em torno do centro de massa, marcado com uma cruz vermelha.

Há um segundo modo de identificar um exoplaneta. Quando a Lua passa em frente do Sol, dizemos que há um eclipse e parte da Terra fica na escuridão. Se da Terra observarmos Vénus a passar em frente do Sol, isto é, se observarmos um trânsito de Vénus (Fig. 5), verificamos que a quantidade de luz solar que chega à Terra durante o trânsito de Vénus é menor que a usual. Esta observação também é usada para detetar os exoplanetas: se a luz emitida pela sua estrela diminuir e depois aumentar de um modo regular, isto é, de cada vez que o planeta dá a volta à estrela, indica que a estrela tem provavelmente um planeta a girar em torno dela. Isto só é observado se o telescópio estiver orientado de modo a observar o planeta em frente da estrela (Fig. 5 esquerda). Por isso, este método só pode ser usado nalguns casos.

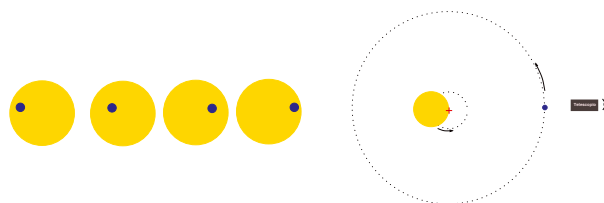


Figura 5 - Trânsito de um planeta (esquerda) e observação do trânsito (direita).

Com o desenvolvimento da tecnologia conseguimos observar cada vez mais longe e com maior nitidez. É só imaginares que tipo de sistema poderá existir e, mais tarde ou mais cedo, talvez seja descoberto! Por exemplo, um planeta com dois sóis, ou mesmo três! Imagina que uma das estrelas se está a pôr e ainda há duas no céu! O desenho (Fig. 6) representa o que um artista imaginou que poderia acontecer numa situação destas. Um sistema deste tipo é possível desde que os astros estejam suficientemente próximos uns dos outros de modo que a força da gravidade os mantenha ligados. É sempre a força da gravidade a responsável pela "dança" dos astros!

Faz agora tu o teu próprio desenho de uma imagem possível neste planeta!



Figura 6 - Desenho imaginado por um artista de um exoplaneta com uma lua e três sóis, um está a pôr-se e os outros dois ainda estão altos no céu. Image credit: NASA/JPL-Caltech

## Livros



### **A Europeização de Portugal Entre Guerras A Junta de Educação Nacional e a Investigação Científica.**

Quintino Manuel Junqueira Lopes

Caleidoscópio, 2017

399 p.

ISBN: 978-989-658-495-5

**José Braga**

Centro Interuniversitário de História das Ciências e da Tecnologia, Faculdade de Ciências Universidade de Lisboa

Este livro reproduz a tese de Doutoramento em História e Filosofia da Ciência do investigador Quintino Lopes apresentada na Universidade de Évora em julho de 2017. Tem o mérito de trazer ao grande público a história de uma instituição portuguesa de apoio à investigação científica, a Junta de Educação Nacional (JEN) e os seus esforços de modernização do trabalho científico nacional numa continuidade entre a I República e a Ditadura Nacional e Estado Novo. Com prefácio de Ana Simões e uma breve Introdução com a apresentação do tema e do método, o corpo do livro é composto por seis capítulos, uns mais desenvolvidos que outros de acordo com as fontes disponíveis e características dos temas abordados. A conclusão precede um conjunto de documentos anexos composto pela planta da JEN, suas contas e a listagem dos bolseiros externos que realizaram doutoramentos em universidades estrangeiras entre 1929 e 1938. A inclusão de um índice onomástico, geográfico e de instituições torna a obra mais fácil de consultar.

Em «Crise e inovação nas origens da Junta de Educação Nacional» nota-se como o reconhecimento da importância do cientista e investigador se rela-

ciona com a I Grande Guerra na medida em que a dimensão científica e tecnológica levou ao aumentar das exigências para com o mundo académico. É essa consciência que leva à reforma do ensino superior nacional em 1918, acentuando as competências das universidades no domínio científico e propondo a criação de uma organização estatal que promovesse a investigação científica e a renovação pedagógica. Esta instituição será criada em 1929 permitindo falar-se de uma continuidade científica apesar da alternância dos regimes.

Por trás desse ideal da JEN estiveram Augusto Celestino da Costa (1884-1956) e Luís Simões Raposo (1898-1934), que defendiam a conexão entre Universidade e investigação, a especialização do professor/investigador em centros internacionais baseado num sistema de bolsas, a articulação entre estas e a formação dos candidatos e a importância de garantir condições de enquadramento aos cientistas regressados, rentabilizando os seus conhecimentos e estimulando a Ciência nacional. A efetivação do projeto ocorre no período de Ditadura Militar em 1929, inspirando-se em duas instituições internacionais conhecidas dos seus dirigentes, a espanhola *Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas* e o belga *Fonds National de la Recherche Scientifique* o que é demonstrado no segundo e terceiro



capítulos. Aí caracterizam-se bolsas e bolseiros e liga-se o financiamento da JEN e a capacidade de produção e publicação dos investigadores. Fomentava-se assim a profissionalização dos cientistas, por lhes permitir uma dedicação à investigação no âmbito do tempo de trabalho.

A JEN procurou funcionar de forma independente do poder político, procurando europeizar a Ciência e pedagogia em Portugal, renovando-o economicamente. Assumindo que Portugal estava menos desenvolvido cientificamente que os seus congéneres europeus, pressupunha-se a atualização dos intelectuais nacionais no estrangeiro. A capacidade da instituição era maior no momento de renovação das bolsas do que na atribuição de novos subsídios, refletindo a política da instituição e a incapacidade de resposta face aos recursos disponíveis, dando primazia a investigadores que publicavam investigações, participavam em congressos ou realizavam doutoramentos. Permitia aos cientistas que apoiava estágios prolongados no estrangeiro para fomentar a desejada renovação científica.

A Junta procurou fomentar o mérito como fator determinante para a atribuição e renovação de bolsas obedecendo a critérios de produção e divulgação e circulação de conhecimento através da publicação em periódicos internacionais, integrando redes europeias e mundiais. Além da especialização em centros estrangeiros existia um processo de formação extracurricular dos cientistas com a frequência de museus, bibliotecas, arquivos, realização de excursões a assistência a outras atividades.

Em «Centros de estudo e publicações científicas: a vida pelo subsídio» nota-se como a JEN não cingiu o controlo do trabalho desenvolvido ao critério quantitativo dando atenção ao impacte das publicações, a partir de citações ou apreciações de outros autores, solicitando que os trabalhos lhe fossem encaminhados e recorrendo ao parecer de especialistas. Pensando-se a Ciência numa relação com o desenvolvimento, nota-se a ligação à agronomia e outras áreas exemplificando-se com o trabalho de diversos bolseiros, como o físico Manuel Valadares ou o filólogo Armando Lacerda. Ao conceder bolsas a candidatos competentes, rentabilizando internamente a sua especialização ao patrocinar a publicação dos trabalhos, a JEN (mais tarde Instituto para a Alta cultura) contribuiu para criar escolas de investigação científica reconhecidas internacionalmente, caso do Laboratório de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa ou o Laboratório de Fonética Experimental da Universidade de Coimbra.

No quinto capítulo mostra-se «a imagem de um país produtor de ciência». Os produtores de conhecimento deveriam divulgar internacionalmente os resultados obtidos, financiando a JEN a representação em conferências e congressos internacionais. Nessa função, destaca-se o papel dos leitorados que exprimiam a prioridade na expansão cultural. A JEN tentava que Portugal mantivesse capacidade de integrar as redes de comunicação científica internacionais, estreitando relacionamentos e atualizando-os sobre os trabalhos que os pares estrangeiros realizavam. Financiava congressos onde se fazia a apresentação de resultados obtidos pelos investigadores. 20% dos Congressos eram de

Pedagogia, a área com participação mais elevada, parecendo a instituição contribuir para disseminar um ideário educativo distinto do promovido pelos poderes políticos. Devido a limitações orçamentais, o envio de conferencistas ao estrangeiro ocorreu em pequeno número.

Finalmente, em «A JEN na produção do único prémio Nobel português da Ciência» sublinha-se como o apoio financeiro da instituição, a concessão de bolsas a cientistas do Instituto de Neurologia de Lisboa e o apoio à integração nas redes científicas foi fundamental para a atribuição do prémio Nobel a Egas Moniz em 1949.

Este trabalho traz assim um contributo para a divulgação da História da Ciência em Portugal, sublinhando como a continuidade de políticas entre regimes diferentes permitiu desenvolver a Ciência nacional, ultrapassando até atitudes conservadoras das próprias universidades, contribuindo para a atribuição do mais alto galardão científico mundial a um cientista português. Também vem desmistificar a imagem de um país que muitos pensavam atrasado a nível científico até recentemente, mostrando o muito que os nacionais fizeram com os recursos disponíveis. Dotado de um amplo aparelho iconográfico, esta obra ilustra como existe espaço no mercado editorial para divulgar a História da Ciência em Portugal.

José Braga

Investigador do Centro Interuniversitário de História da Ciência e Tecnologia, na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, é professor do 3º ciclo do ensino básico e do secundário.

# notícias

## Aconteceu

# Celebração do Dia Mundial da Ciência para a Paz e Desenvolvimento

**M<sup>a</sup> Conceição Abreu**

Presidente da SPF

A Sociedade Portuguesa de Física (SPF) associou-se à Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) no dia 15 de novembro para de um modo singelo, comemorar o Dia Mundial da Ciência para a Paz e Desenvolvimento, iniciativa das Nações Unidas celebrada a 10 de novembro, e que no ano de 2019 teve o lema “Ciência Aberta, não deixar ninguém para trás” e entre nós “A Física para um desenvolvimento equilibrado”.

Estiveram presentes o Senhor Secretário Executivo da CPLP, Embaixador Francisco Ribeiro Telles, a Senhora Dra. Filomena Lopes, em representação do Embaixador Eurico Monteiro, o Senhor Ministro Conselheiro da República Popular Angola, Mário Augusto, o Senhor Representante Diplomático de Imamat Ismaili, Nazim Ahmad, os Coordenadores e Representantes das Comissões Temáticas, entre os quais a Doutora Arlinda Cabral, o Senhor Presidente da Sociedade Brasileira de Física, Professor Doutor Rogério Rosenfeld, a Senhora Diretora do Grupo de Educação, Comunicação e Divulgação do CERN, Doutora Ana Godinho, os Irmãos Teófilo Minga e Manuel Ruas, em representação dos Irmãos Maristas da Província de Compostela, e o Irmão José Ricardo, em representação dos Irmãos Maristas de Angola, colegas vindos de várias Instituições de seis países da CPLP representados na União dos Físicos dos Países de Língua Portuguesa, e os estudantes do Agrupamento de Escolas de Benfica acompanhados pelo seu professor Luís Afonso (fig. 1).

O programa foi possível com os contributos dos colegas físicos de Angola, Brasil, Cabo Verde, Moçambique, Portugal e São Tomé e Príncipe, painel bem representativo da comunidade da CPLP. O evento decorreu nas instalações da



Figura 1 - Uma visão da assistência

Sede da CPLP, o Palácio Penafiel, e foi transmitido em direto pelo Youtube.

O Programa foi um programa positivo, escolhemos falar do contributo para a Paz e Desenvolvimento dado por duas instituições mundiais: o Centro Europeu para Pesquisa Nuclear (CERN), fundado em 1954 e que hoje ultrapassa muito a Europa, abraçando o Mundo. Ele dedica-se ao conhecimento da estrutura da matéria desde o infinitamente pequeno, as muitas partículas elementares e as por elas constituídas, até ao infinitamente grande, o cosmos, a matéria e a energia escura. Neste item contámos com os contributos da Doutora Ana Godinho, que falou sobre o CERN, os Professores Nilson Garcia (Brasil), Pedro Abreu (Portugal) e Manuel Penhor (São Tomé e Príncipe) que falaram sobre o que tem sido o contributo para a educação, da realização anual das Escolas em Português no CERN para professores do ensino secundário.

A outra instituição escolhida foi a Agência Internacional de Energia Atómica (AIEA), fundada em 1957, sendo Brasil e Portugal membros fundadores, Angola aderiu

em 1999, Moçambique em 2006 e Cabo Verde iniciou o processo em 2007. A missão da Agência vai muito para lá da energia atómica, ou mais precisamente nuclear, e dedica-se ao uso correto da energia nuclear e ao controlo dos armamentos nucleares, às aplicações das tecnologias nucleares na saúde, incluindo a proteção radiológica, as auditorias aos equipamentos de medicina nuclear e de radioterapia. A organização das Nações Unidas, *Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Organization* (CTBTO) também esteve representada devido a ser um instrumento muito útil na prevenção de explosões nucleares subterrâneas através do controlo sísmico. Neste painel de intervenções (fig. 2), tivemos o contributo dos Professores e Investigadores Sónia Semedo (Cabo Verde), Maria do Carmo Lopes (Portugal), Armindo Mussungu (Angola) e Fernando Carrilho (Portugal).



Figura 2 - Painel sobre as Escolas sobre Partículas em Português no CERN

Celebrar é igualmente encarar alguns problemas que urge ações muito imediatas, e assim foi escolhido como preocupação imediata, o Clima, o que cientificamente hoje sabemos sobre ele e o que urge fazer para que possamos continuar a viver em paz e prosperidade no nosso Planeta. Para este tema tivemos o contributo de Pedro Soares (Portugal) e do Professor Genito Maúre (Moçambique).

Poderíamos ter optado por outra via e lembrar a Ciência/Física não pelo que nos trazem de bom mas pelos seus usos e abusos nefastos mas, sem esquecer esta problemática, acreditamos que no evento foi mais profícuo debater o que a física nos tem dado de bom, incluindo a amizade entre nós. Foi neste espírito que encerrámos evocando um cidadão da CPLP, um colega, um físico: o Ir. Carlos Tesche (fig. 3), que teve uma ação notabilíssima no ensino da Física em quatro países que hoje integram a CPLP: Angola, Brasil, Moçambique e Portugal. A homenagem a Carlos Tesche foi feita por um seu colega de curso, Augusto Barroso (Portugal), e um ex-aluno Armindo Mussungu (Angola).



Figura 3 - Momento de homenagem a Carlos Tesche

O evento teve cerca de cinquenta participantes, terá Ata da CPLP e está registado em vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=qpaih4b9rxU>



# Criação da União dos Físicos dos Países de Língua Portuguesa – UFPLP

**M<sup>a</sup> Conceição Abreu**

Presidente da SPF

Na tarde de 15 de novembro de 2019 reuniu-se a Assembleia Constitutiva da UFPLP com a presença de físicos dos seguintes seis países da CPLP: Angola, Brasil, Cabo Verde, Moçambique, Portugal e São Tomé e Príncipe.

A reunião teve lugar no Palácio Penafiel, sede da CPLP. Após a aprovação dos Estatutos da União, por unanimidade dos presentes, foram eleitos os Órgãos Sociais.

Os Órgãos Sociais foram eleitos por unanimidade e são constituídos pelos seguintes colegas que pertencem às instituições referidas à frente dos seus nomes. Podemos constatar que, existe uma participação de todos os países envolvidos na criação da União.

## Assembleia Geral

Presidente – Horácio Fernandes, Professor na Universidade de Lisboa

1<sup>o</sup> Secretário – Manuel Penhor, Professor na Universidade de São Tomé e Príncipe

2<sup>a</sup> Secretário – Domingos Tavares, Professor na Universidade de Cabo Verde

## Direção

Presidente – Rogério Rosenfeld, Professor na Universidade Estadual de São Paulo e atual presidente da Sociedade Brasileira de Física

Vice Presidente – Sónia Semedo, Professora na Universidade de Cabo Verde

Vice Presidente – Pascoal Napoleão, Professor na Universidade Agostinho Neto, Angola

Vice Presidente – Genito Maúre, Professor Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique

Tesoureira – M<sup>a</sup> da Graça Silveira, Professora no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

## Conselho Fiscal

Presidente – Jorge Mayer, Professor no Instituto da Huíla e presidente da Associação Angolana de Física

Secretário - Marcos Eleutério Luz, Professor na Universidade Federal do Paraná

Relator – Enoque Malate, Professor Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique

As Sociedades Brasileira e Portuguesa de Física e a Associação Angolana de Física são membros coletivos fundadores. No futuro é de esperar que outras sociedades e associações se filiem como membros coletivos.

Os sócios fundadores são cerca de cinquenta. Informações sobre o Plano de Atividades e como ser sócio pode ser seguido em [www.ufplp.org](http://www.ufplp.org) e informações em [secretariado@ufplp.org](mailto:secretariado@ufplp.org).

A figura 1 visualiza um momento dos trabalhos da Assembleia e podemos ver vários colegas que integram os atuais Órgãos Sociais (figuras 1 e 2).



Fig. 1 - Da esquerda para a direita fila junto à mesa: Sónia Semedo (CV, vice presidente), Nilson Garcia (BR), Marcos Luz (BR, Conselho Fiscal), Rogério Rosenfeld (BR, Presidente), Manuel Penhor (STP, Assembleia Geral), Enoque Malate (MZ, Conselho Fiscal), Valério Ribeiro (PT/MZ), Anadyne Soares (STP), Fernando Parente (PT), M<sup>a</sup> Conceição Abreu (PT), Horácio Fernandes (PT, Presidente da AG), M<sup>a</sup> da Graça Silveira (PT, Tesoureira), Augusto Barroso (PT), Sandra Soares (PT), Carlos Azevedo (PT), na segunda fila à esquerda pode-se ver Mendita Ugembe (MZ) e Helena Santos (PT)



Fig. 2 - Foto feita na Sala dos Atos da CPLP junto às Bandeiras com alguns participantes na Assembleia da União. Na ponta esquerda está a Doutora Arlinda Cabral da Direção de Ação Cultural e Língua Portuguesa que muito facilitou os trabalhos de criação da União dos Físicos.

# Olimpíadas de Física

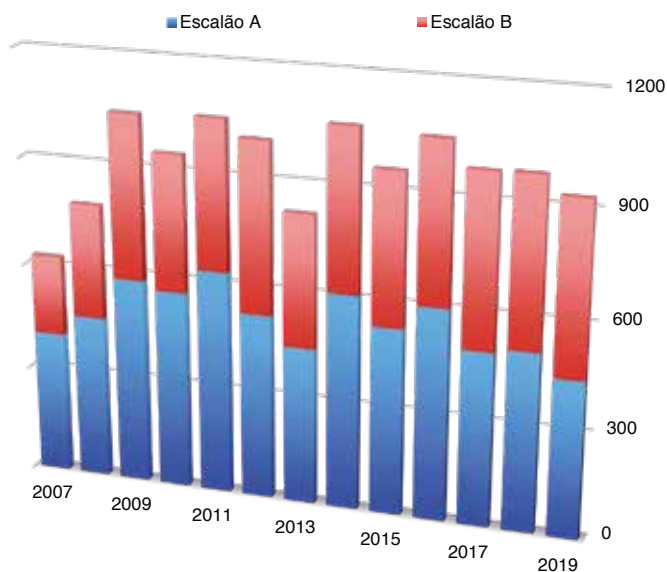
## Olimpíadas Regionais de Física

A XXXV edição das Olimpíadas de Física decorreu no dia 4 de maio de 2019 em cinco locais distintos (em simultâneo): os Departamentos de Física das Universidades do Porto, de Coimbra e de Lisboa, a Universidade dos Açores, em Ponta Delgada, e a Universidade da Madeira, no Funchal. Estiveram envolvidos nesta atividade 447 alunos do 9º ano, provenientes de 146 escolas diferentes, e 482 alunos do 11º ano, oriundos de 170 escolas. Recorde-se que, embora as provas sejam as mesmas para todas as delegações da SPF, as escolas participam nesta fase das olimpíadas deslocando-se à delegação da SPF a que estão associadas. Os alunos realizam duas provas, uma teórica e uma experimental, sendo a participação no escalão B feita a título individual, enquanto no escalão A os alunos concorrem em equipas com um máximo de três elementos.

O número de participantes nas Olimpíadas Regionais de Física parece ter estabilizado, após a recuperação da ligeira quebra verificada em 2013. Em 2015 foi introduzida a etapa de escola na qual as escolas têm a possibilidade de escolher os seus representantes nas Olimpíadas Regionais de Física através de uma prova teórica fornecida pela SPF. Apesar de não se ter ainda conseguido quantificar o número de estudantes que realizam esta prova de escola, é certo que as Olimpíadas de Física chegam a muitos mais alunos do que os que participam na fase regional.



Olimpíadas Regionais de Física 2019, em Coimbra (em cima) e Lisboa (em baixo).









A análise do número de estudantes que participam na etapa regional em Portugal Continental verificou que as escolas mais representadas são as que se encontram na











maior proximidade com a cidade onde é realizada a prova (Porto, Coimbra e Lisboa). Deste modo ir-se-á em 2020 abrir a etapa regional às cidades de Vila Real, Covilhã e Faro de modo a mobilizar as escolas do norte interior, centro interior e sul de Portugal.

### Vencedores do Escalão B - Região Norte


- Nuno Gabriel Carvalho Carneiro  
E.S. Santa Maria Maior  
Viana do Castelo
- Diogo Santiago Antunes  
Colégio D. Diogo de Sousa  
Braga
- Gabriel Alberto Mourão Almeida  
E.S. Santa Maria Maior  
Viana do Castelo
- Afonso Santiago Nunes Gonçalves  
E.S. Carlos Amarante  
Braga










-  André Costa Lima  
E.S. Camilo Castelo Branco  
Vila Nova de Famalicão
-  Gabriel Berk Pereira  
E.S. c/ 3.º ciclo Martins Sarmento  
Guimarães
-  João Afonso de Silva e Santos  
Externato Ribadouro  
Porto
-  Martim Paiva  
E.B.+S. Fontes Pereira de Melo  
Porto
-  Pedro Bezerra Roque da Costa  
E.S. de Ponte de Lima  
Ponte de Lima
-  Rui Oliveira  
Colégio D. Diogo de Sousa  
Braga

### Vencedores do Escalão B - Região Centro




-  Gabriel do Carmo Rouxinol  
E.S. de Gafanha da Nazaré  
Gafanha da Nazaré
-  João António Semedo Pereira  
E.S. da Mealhada  
Mealhada
-  Ricardo Miguel Matos Oliveira Peralta  
E.S. José Estêvão  
Aveiro
-  André Filipe Quaresma Antunes  
E.S. da Lousã,  
Lousã
-  Diogo Manuel Rodrigues Teixeira  
E.S. Alves Martins  
Viseu
-  Francisco Rizzo de Azevedo  
E.S. Quinta das Palmeiras  
Covilhã
-  João André Dias Craveiro  
E.S. da Lousã  
Lousã
-  João Machado Cerejo de Miranda  
E.S. Infanta D. Maria  
Coimbra
-  Pedro Guilherme Oliveira Ronda  
E.S. Alves Martins  
Viseu
-  Samuel José Ferreira Monteiro  
E.B.+S. Quinta das Flores  
Coimbra

### Vencedores do Escalão B - Região Sul




-  Manuel Freitas Luís Leite  
E.S. António Damásio  
Lisboa

-  Alexandre Reis  
Colégio Vasco da Gama  
Belas
-  Simão Pedro Ferrão Ribeiro  
E.B.+S. D. Filipa de Lencastre  
Lisboa
-  Diogo Andrade e Sousa Rodrigues da Silva  
E.B.+S. D. Filipa de Lencastre  
Lisboa
-  Diogo Torres Correia  
E.S. de Miraflores  
Algés
-  Diogo Tovar Nogueira de Lemos  
E.S. de Montemor-o-Novo  
Montemor-o-Novo
-  Francisco José Gonçalves Ferreira  
Externato de Penafirme  
Póvoa de Penafirme
-  Gonçalo Reis Carvalho  
E.S. Vergílio Ferreira  
Lisboa
-  Maria Simões  
E.S. Sebastião e Silva  
Oeiras
-  Rodrigo Jorge Antunes Amorim  
E.S. Cacilhas-Tejo  
Almada


### Vencedores do Escalão B - Açores

-  Eryk Swolkien Sousa  
E.S. Antero de Quental  
Ponta Delgada
-  André Miguel Rebelo Soares  
E.S. Domingos Rebelo  
Ponta Delgada
-  Hugo Filipe Coelho Perpétua  
E.S. Vitorino Nemésio  
Praia da Vitória



### Vencedores do Escalão B - Madeira

-  Lara Cristiana Gouveia Vila  
E.S. Jaime Moniz  
Funchal
-  Ana Margarida Soares de Freitas  
E.S. Jaime Moniz  
Funchal
-  António Dantas de Caires  
E.S. Jaime Moniz  
Funchal




### Vencedores do Escalão A - Região Norte

-  Benedita Ferreira Machado  
Eduardo Pinto dos Santos  
João Pedro Guimarães Amorim Cunha  
Colégio Luso-Francês, Porto






-  Gonçalo José Nunes Reis  
Rui Machado Soares de Almeida  
Tiago Duarte Mourão  
E.B. 2+3 Fernando Pessoa, Santa Maria da Feira
-  Inês Marques Machado  
Diogo Faria Machado  
Rodrigo Raposo Aarão  
E.B. 2+3 Egas Moniz, Guimarães




#### Vencedores do Escalão A - Região Centro

-  Maria de Carvalho Cara d'Anjo  
Hugo Loureiro de Almeida  
Sebastião José Rodrigues da Silva Abrantes dos Santos  
Colégio de Nossa Senhora da Assunção, Anadia
-  João Miguel Cunha Galhardo  
Lara Lopes Fonseca  
Leonor Paulino Esteves da Silva Lourenço  
E.B. 2+3 Grão Vasco, Viseu
-  Mariana Coelho da Silva  
Kira Morozova  
Bruna de Sousa Vicente  
E.B. 2+3 Martim de Freitas, Coimbra

#### Vencedores do Escalão A - Região Sul



-  Hugo Loureiro  
Margarida Saraiva  
Martim Marques  
Colégio de São Brito, Lisboa
-  Leonardo Marques Albuquerque Caiano Tavares  
Dinis Costa Ramos da Silva Pereira  
Rafael Lopes Bruno  
E.B.+S. D. Filipa de Lencastre, Lisboa
-  Margarida Maria Amaral Pólvora Doutor da Fonseca  
João Afonso de Sousa Brandão Morais Rodrigues  
João Afonso Monteiro Tavares  
Colégio Pedro Arrupe, Lisboa

#### Vencedores do Escalão A - Açores

-  Ismael Medeiros Moniz  
João Penacho de Medeiros  
Inês Ferreira Couto  
E.S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada
-  João Fagundes  
Tiago Castanheira  
Ana Melo  
E.S. Vitorino Nemésio, Praia da Vitória
-  Carolina Filipe  
Sabrina Sousa  
Sara Melo  
E.B.I. dos Ginetes, Ginetes

#### Vencedores do Escalão A - Madeira

-  Beatriz Faria Gonçalves  
Afonso Horta Vilaça  
Ana Beatriz Lemos Ferreira  
Colégio Salesianos, Funchal





-  Eva Sofia Martins Bastos Chada da Silva  
Lara Nicole Rodrigues Gaspar  
Tiago José Abreu de Jesus  
E.B.+S. da Calheta, Calheta
-  Jéssica Adriana Pimenta de Sousa  
Luís Bernardo Dávila Mendes  
Verónica Valentina Dávila Mendes  
E.B.+S. Gonçalves Zarco, Funchal

As provas podem ser consultadas em <http://olimpiadas.spf.pt/regionais/2019.shtml>.

## Olimpíadas Nacionais de Física


A segunda e última etapa das XXXV Olimpíadas de Física, as Olimpíadas Nacionais de Física, foi organizada pela Delegação Centro e decorreu no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, nos dias 31 de maio e 1 de junho de 2019. Participaram na etapa nacional todos os premiados da etapa regional, isto é, 33 alunos do escalão A, divididos em 11 equipas (3 equipas do Norte, Centro e Sul, e 1 equipa da Madeira e dos Açores), e 36 alunos do escalão B (10 alunos do Norte, Centro e Sul, e 3 alunos da Madeira e dos Açores). Os vencedores desta etapa foram:

#### Vencedores do Escalão B


-  Gabriel Alberto Mourão Almeida  
E.S. Santa Maria Maior  
Viana do Castelo
-  Nuno Gabriel Carvalho Carneiro  
E.S. Santa Maria Maior  
Viana do Castelo
-  Manuel Freitas Luís Leite  
E.S. António Damásio  
Lisboa
-  Afonso Santiago Nunes Gonçalves  
E.S. Carlos Amarante  
Braga
-  André Costa Lima  
E.S. Camilo Castelo Branco  
Vila Nova de Famalicão
-  Diogo Andrade e Sousa Rodrigues da Silva  
E.S. Alves Martins  
Viseu
-  Diogo Santiago Antunes  
Colégio D. Diogo de Sousa  
Braga
-  Gonçalo Reis Carvalho  
E.S. Vergílio Ferreira  
Lisboa





 Martim Paiva  
E.B.+S. Fontes Pereira de Melo  
Porto

 Simão Pedro Ferrão Ribeiro  
E.S. Santa Maria Maior  
E.B.+S. D. Filipa de Lencastre

### Vencedores do Escalão A

 Leonardo Marques Albuquerque Caiano Tavares  
Dinis Costa Ramos da Silva Pereira  
Rafael Lopes Bruno  
E.B.+S. D. Filipa de Lencastre, Lisboa

 Inês Marques Machado  
Diogo Faria Machado  
Rodrigo Raposo Aarão  
E.B. 2+3 Egas Moniz, Guimarães

 Margarida Maria Amaral Pólvora Doutor da Fonseca  
João Afonso de Sousa Brandão Morais Rodrigues  
João Afonso Monteiro Tavares  
Colégio Pedro Arrupe, Lisboa

As provas podem ser consultadas em <http://olimpiadas.spf.pt/nacionais/2019.shtml>



Medalhadados do Escalão A, Olimpíadas Nacionais de Física 2019

Os vencedores do escalão B da etapa nacional ficaram pré-selecionados para uma preparação a decorrer durante este ano letivo no âmbito do Projeto Quark!, uma escola de excelência que tem lugar no Departamento de Física da Universidade de Coimbra durante 6 fins de semana. Durante esta escola será realizada uma prova muito exigente que escolherá os representantes de Portugal na LI Olimpíada Internacional de Física (Vilnius, Lituânia) e na XXV Olimpíada Ibero-Americana de Física (João Pessoa, Brasil), que terão lugar em julho e setembro, respetivamente. Os seguintes alunos ficaram também pré-selecionados para esta preparação:

Alexandre Reis  
Colégio Vasco da Gama, Belas

André Filipe Quaresma Antunes  
E.S. da Lousã, Lousã

André Miguel Rebelo Soares  
E.S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada

Diogo Torres Correia  
E.S. de Miraflores, Algés

Gabriel do Carmo Rouxinol  
E.S. de Gafanha da Nazaré, Gafanha da Nazaré

João André Dias Craveiro  
E.S. da Lousã, Lousã

João António Semedo Pereira  
E.S. da Mealhada, Mealhada

Maria Simões  
E.S. Sebastião e Silva, Oeiras

Pedro Bezerra Roque da Costa  
E.S. de Ponte de Lima, Ponte de Lima

Samuel José Ferreira Monteiro  
E.B.+S. Quinta das Flores, Coimbra

Os vencedores do escalão A estão pré-selecionados para representar Portugal, em 2021, na XIX Olimpíada Europeia de Ciência (EUSO'2021), a decorrer na Hungria.



Medalhas de ouro e de bronze do Escalão B, Olimpíadas Nacionais de Física 2019

## Seleção para as Olimpíadas Internacionais de Física

A Sociedade Portuguesa de Física esteve, mais uma vez, envolvida na participação portuguesa em três olimpíadas internacionais: a Olimpíada Internacional de Física (IPhO), a Olimpíada Ibero-americana de Física (OlBF) e a Olimpíada Europeia de Ciência (EUSO). A preparação da equipa portuguesa para a IPhO e a OlBF iniciou-se no âmbito do Projeto Quark!, em Coimbra, tendo todos os alunos pré-selecionados frequentado as seis sessões da escola em 2019 (uma por mês, de janeiro a junho). As sessões tiveram sempre início num sába-

do às 9h00 e terminaram no domingo, pelas 17h00. Participaram nestas sessões, além dos pré-selecionados para as olimpíadas, cerca de 50 alunos do 11º e 12º ano, provenientes de todo o país, interessados em Física. Ao longo das seis sessões foram sendo disponibilizados elementos de estudo, designadamente provas (e respetivas soluções) de Olimpíadas Internacionais de anos anteriores. Foi fornecido aos alunos um livro de estudo adequado aos currículos das Olimpíadas Internacionais: *University Physics With Modern Physics*, de Roger A. Freedman e Hugh D. Young (Pearson Education Limited, 2015, ISBN: 9781292100319).

### Seleção dos alunos para a IPhO e a OlbF

As provas de seleção para a IPhO e a OlbF decorreram no Departamento de Física da Universidade de Coimbra no dia 25 de maio de 2019 e consistiram em 8 horas de exame contendo, à semelhança das provas internacionais, uma prova teórica e uma prova experimental, constituída por duas experiências. Os resultados foram os seguintes:

- 1º André Gonçalves Gomes  
E.S. Antero de Quental, Ponta Delgada
- 2º Marco António Leal Oliveira Ribeiro  
Externato Delfim Ferreira, Riba de Ave
- 3º José Filipe Bernardo Afonso  
E.S. Nuno Álvares, Castelo Branco
- 4º Vicente Conde Mendes  
Colégio Pedro Arrupe, Lisboa
- 5º Nuno Gabriel Carvalho Carneiro  
E.S. Santa Maria Maior, Viana do Castelo
- 6º Maria Eduarda Loureiro Caldeira  
E.S. Nuno Álvares, Castelo Branco
- 7º André de Sousa Guimarães  
Externato Marista de Lisboa, Lisboa
- 8º Francisco Teles da Costa  
E.S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada
- 9º Rafael Diogo Soares  
E.S. Domingos Sequeira, Leiria
- 10º Francisco Pereira da Silva Antunes Ferreira  
Grande Colégio Universal, Porto
- 11º Afonso Guilherme Trindade Bonina de Mesquita  
E.S. Quinta das Palmeiras, Covilhã
- 11º Ana Sofia Camões de Sousa  
E.S. de Valongo, Valongo
- 11º César Alexandre Silva Freitas  
E.S. Francisco Franco, Funchal
- 11º Francisco Amorim  
Colégio Internato dos Carvalhos, Vila Nova de Gaia
- 11º Gonçalo Reis de Carvalho  
E.S. Vergílio Ferreira, Lisboa
- 11º Henrique Costa Sousa  
Colégio Casa Mãe, Baltar
- 11º Inês Isabel Gouveia Cipriano Piedade Moreira  
Colégio Manuel Bernardes, Lisboa
- 11º João Paulo Ribeiro Camarneiro  
E.S. José Estêvão, Guimarães

- 11º Kevin Luiz Ponte Pucci  
Agrupamento de escolas Dr. Júlio Martins, Chaves
- 11º Luís Fonseca Rodrigues  
E.S. c/ 3.º ciclo Martins Sarmiento, Guimarães
- 11º Mariana Marques Barreto Lopes Pires  
E.S. Alves Martins, Viseu
- 11º Rodrigo António Catarino Ferreira  
E.S. Domingos Sequeira, Leiria

Os cinco primeiros classificados ficaram apurados para representar Portugal na IPhO'19, em Tel Aviv, que decorreu de 7 a 15 de julho de 2019, e os estudantes classificados do 6º ao 9º lugar ficaram apurados para a OlbF'19, que decorreu em São Salvador, El Salvador, de 6 a 13 de setembro de 2019. Nesta OlbF o aluno André Guimarães foi substituído pelo aluno que ficou em 10º lugar.

As provas podem ser consultadas em <http://olimpiadas.spf.pt/apuramento/2019.shtml>




Os alunos selecionados para a IPhO tiveram ainda uma sessão de preparação, em Coimbra, de 1 a 5 de julho de 2019. Os alunos selecionados para a OlbF, além da sessão de preparação de julho, tiveram uma sessão de preparação adicional, em Coimbra, de 1 a 5 de setembro de 2019.

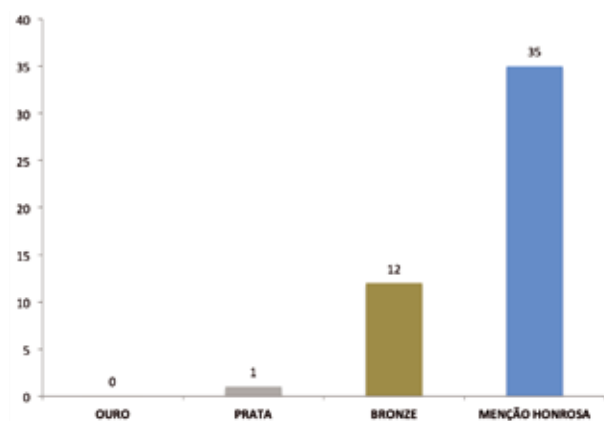
## A Olimpíada Internacional de Física - L IPhO

As Olimpíadas Internacionais de Física decorreram em Tel Aviv, de 7 a 15 de julho de 2019, tendo participado na competição 364 estudantes do ensino secundário de 78 países. Nesta competição os estudantes sujeitam-se a duas provas (uma experimental e uma teórica) que decorrem em dois dias diferentes e têm uma duração de 5 horas cada. A maioria dos temas abordados não consta dos programas oficiais do ensino secundário português, incluindo sobretudo assuntos que são abordados apenas no primeiro ano dos cursos universitários de Física e alguns tópicos que são abordados no segundo ano desses cursos. Note-se, no entanto, que o syllabus destas olimpíadas coincide com o programa do ensino secundário de um vasto número dos países participantes. Em 2019 os problemas teóricos focaram-se em tópicos clássicos de Física: mecânica, eletromagnetismo e termodinâmica. As provas experimentais focaram-se em ótica e na condutividade térmica de uma barra metálica. O vencedor absoluto foi um estudante da República Popular da China, Xiangkai Sun, que obteve 43,5 dos 50 pontos possíveis.

Durante a Olimpíada Internacional os alunos foram acompanhados pelos team-leaders Rui Travasso e Carlos Azevedo, do Departamento de Física da Universidade de Coimbra e do Colégio Luso Francês, respetivamente. A lista dos estudantes portu-

gueses (que obtiveram 3 menções honrosas) é a seguinte:

-  André Gonçalves Gomes  
E.S. Antero de Quental  
Ponta Delgada
-  José Filipe Bernardo Afonso  
E.S. Nuno Álvares  
Castelo Branco
-  Marco António Leal Oliveira Ribeiro  
Externato Delfim Ferreira  
Riba de Ave
- Nuno Gabriel Carvalho Carneiro  
E.S. Santa Maria Maior  
Viana do Castelo
- Vicente Conde Mendes  
Colégio Pedro Arrupe  
Lisboa



Prémios obtidos pelos alunos portugueses na IPhO desde a primeira participação (1994)







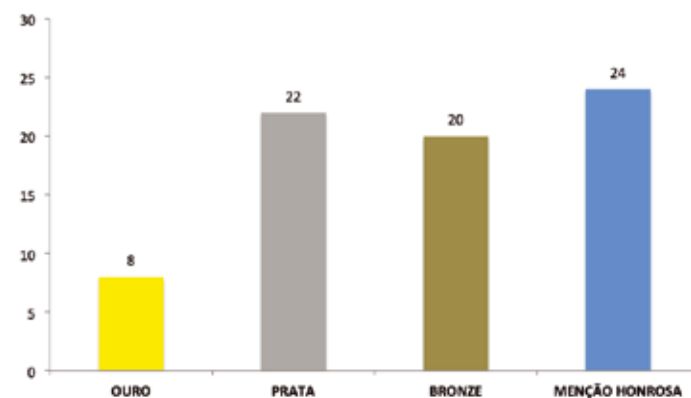
Equipa portuguesa na Olimpíada Internacional de Física - IPhO2019, que decorreu em Tel Aviv, Israel, de 7 a 15 de julho de 2019. Da esquerda para a direita: José Filipe Afonso (E. Sec. Nuno Álvares, Castelo Branco, **menção honrosa**), Rui Travasso (team-leader), Marco António Ribeiro (Externato Delfim Ferreira, Riba de Ave, menção honrosa), André Gomes (E.S. Antero de Quental, Ponta Delgada, **menção honrosa**), Nuno Carneiro (E.S. Santa Maria Maior, Viana do Castelo), Vicente Mendes (Colégio Pedro Arrupe, Lisboa), Carlos Azevedo (team-leader).

## A Olimpíada Ibero-americana de Física - XXIV OIBF

A XXIII Olimpíada Ibero-americana de Física decorreu em São Salvador, em El Salvador, de 6 a 13 de setembro de 2019. Participaram na competição 70 estudantes de 19 países do espaço ibero-americano. A liderança da delegação portuguesa, de quatro estudantes, esteve a cargo de João Carlos Carvalho e Isabel Lopes, da Universidade de Coimbra. A delegação portuguesa obteve duas medalhas de bronze e duas menções honrosas. O vencedor absoluto desta olimpíada foi um estudante brasileiro, Vinícius de Alcântara Névoa.

A lista dos estudantes portugueses e respetivos prémios é a seguinte:

-  Maria Eduarda Loureiro Caldeira  
E.S. Nuno Álvares  
Castelo Branco
-  Rafael Diogo Soares  
E.S. Domingos Sequeira  
Leiria
-  Francisco Teles da Costa  
E.S. Domingos Rebelo  
Ponta Delgada
-  Francisco Pereira da Silva Antunes Ferreira  
Grande Colégio Universal  
Porto



Prémios obtidos pelos alunos portugueses na OIBF desde a primeira participação (2000)





Equipa portuguesa na Olimpíada Ibero-Americana de Física - OIbF2019, que decorreu em San Salvador, El Salvador, de 6 a 13 de setembro de 2019. Da esquerda para a direita: João Carvalho (team-leader), Beatriz Cachim (observadora), Francisco Ferreira (Grande Colégio Universal, Porto, menção honrosa), Rafael Soares (E. Sec. Domingos Sequeira, Leiria, medalha de bronze), Maria Eduarda Caldeira (E. Sec. Nuno Álvares, Castelo Branco, medalha de bronze), Francisco Costa (E. Sec. Domingos Rebelo, Ponta Delgada, menção honrosa) e Isabel Lopes (team-leader).

## A Olimpíada da Ciência da União Europeia - XVII EUSO

A Olimpíada da Ciência da União Europeia (EUSO) decorreu em Almada, em Portugal, de 4 a 11 de maio de 2019. A Olimpíada da Ciência da União Europeia é uma competição destinada a estudantes que ainda não tenham completado 17 anos a 31 de dezembro do ano anterior, e consiste em atividades experimentais integrando conteúdos da Física, da Biologia e da Química. A Sociedade Portuguesa de Física colabora nesta iniciativa, que é coordenada pela Direção Geral de Educação. Este ano, duas equipas portuguesas (Nuno Cameiro, Diogo Heleno, Gabriel Almeida e João Ferreira, Guilherme Oliveira, Manuel Leite) obtiveram **medalhas de prata**, enquanto as outras duas equipas (Rita Lopes, David Freiria, Gonçalo Monteiro e Ana Marta Mendes, Lara Pereira, António Martins) obtiveram **medalhas de bronze**. Isaura de Jesus Vieira da DGE é Coordenadora Nacional da EUSO e foi Diretora da EUSO 2019.

## Próximas IPhO's, OIbF's e EUSO's

As próximas edições das Olimpíadas Internacionais de Física têm lugar nos seguintes países:

- 2020, Vilnius, Lituânia
- 2021, Bielorrússia
- 2022, Japão
- 2023, Irão
- 2024, França
- 2025, Colômbia
- 2026, Hungria
- 2027, Coreia do Sul

As próximas edições da OIbF estão previstas para os seguintes países:

- 2020, Brasil
- 2021, Guatemala
- 2022, Argentina
- 2023, Costa Rica
- 2024, México
- 2025, Perú
- 2026, Equador
- 2027, Cuba
- **2028, Portugal**

As próximas edições da EUSO ocorrerão nos seguintes países:

- 2020, República Checa
- 2021, Hungria

## Professores Premiados em 2019

Dois mil e dezanove foi inegavelmente, um ano de reconhecimento do trabalho dos professores de Física e Química! Começámos em julho com a entrega da alta distinção da Sociedade Europeia de Física (EPS), o EPS Secondary School Teaching Award, ao colega Jorge António da Escola Secundária Jorge Peixinho, no Montijo. Jorge António encontra-se atualmente em Timor Lorosae no âmbito do projeto CAFÉ, para a implementação de Centros de Aprendizagem e Formação Escolar em Timor Lorosae.

Em novembro o colega Paulo Sanches do Agrupamento de Escolas de Moimenta da Beira foi distinguido com o Prémio Educação Ciência Viva Montepio, pelo seu projeto

de educação e promoção da cultura científica e tecnológica realizado na sua escola

Para fechar o ano em apoteose a Casa das Ciências a 19 de dezembro elegeu o colega Carlos Portela, da Escola Secundária Dr. Joaquim de Carvalho da Figueira da Foz, como o Professor do Ano de 2019.

Se não nos restringimos aos profissionais do Ensino Básico e Secundário, profissão de elevado mérito, e passarmos também ao campo da divulgação científica, vizinha importante e colaboradora do ensino, temos ainda a referir o colega Rui Agostinho, do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, laureado com o Grande Prémio Ciência Viva Montepio que distingue a divulgação científica e tecnológica em Portugal.

## Curso “Regional Training Course on Quality Assurance and Dosimetry in Computed Tomography”, CHUC, 4 a 8 de novembro, e comemoração do “Dia Internacional da Física Médica”, 7 de novembro de 2019

De quatro a oito de novembro realizou-se, em Coimbra, o curso “Regional Training Course on Quality Assurance and Dosimetry in Computed Tomography” promovido pela Agência Internacional de Energia Atómica (AIEA) em colaboração com o Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra (CHUC). Este curso insere-se no conjunto de atividades planeadas pela AIEA, no âmbito do projeto RER6038-“Applying Best Practices for Quality and Safety in Diagnostic Radiology”, para o período 2018-2021.

Este evento internacional contou com 26 participantes, selecionados pela AIEA, provenientes de 15 países Europeus. O curso foi organizado por Jorge Isidoro (Course Director) e Virginia Tsapaki (AIEA Scientific & Technical Officer) e teve o apoio de um grupo de quatro formadores (peritos designados pela AIEA: Sue Edyvean (UK), Mika Kortensnieme (FL), Dimitris Mihailides (USA, chair AAPM task group on CBCT) e Jorge Isidoro (PT, CHUC)).

Este curso avançado em dosimetria e controlo de qualidade em Tomografia Computorizada, incluindo “Cone Beam Computed Tomography” (CBCT), teve como destinatários os “Físicos Médicos” ou “Especialistas em Física Médica” que exercem a sua atividade profissional na área da Radiologia. Estes profissionais, integrados nas equipas multidisciplinares dos serviços e clínicas de radiologia, são fundamentais para o aporte e integração dos progressos das ciências básicas e das novas tecnologias na melhoria dos cuidados de saúde e da formação dos seus profissionais, promovendo a qualidade e segurança dos exames de diagnóstico e procedimentos de radiologia de intervenção que utilizam radiações ionizantes.

A 7 de novembro, a Divisão de Física Médica da Sociedade Portuguesa de Física (DFM-SPF) juntou-se a este evento internacional para comemorar o “Dia Internacional da Física Médica” (promovido pela International Organi-

zation for Medical Physics - INTERNATIONAL DAY OF MEDICAL PHYSICS), que este ano teve o lema “IT’S A MEDICAL PHYSICS WORLD!”. Assim, os participantes internacionais do curso e vários colegas portugueses, bem como Rita Figueira (Coordenadora da DFM-SPF) e Fernando Regateiro (Presidente do Conselho de Administração do CHUC) reuniram-se para uma foto de grupo, cada um segurando a bandeira do próprio país.



### Nota de informação

O Diretor e Editores informam que a partir de 2020 a Gazeta de Física convida os membros da União dos Físicos dos Países de Língua Portuguesa a publicar notícias da União. As páginas da Gazeta continuam também disponíveis para os trabalhos científicos e didáticos dos colegas dos vários Países da União.

## ERRATA

No Número especial da Gazeta de Física dedicado à Exposição E3- Einstein Eddington e o Eclipse, no texto “Artigos sobre Teoria da Relatividade e Eclipses publicados na Gazeta de Física” não foram mencionados os artigos seguintes:

Cabrita, Fernando e Costa, António Armando.

1987. Teoria da Relatividade no Ensino Secundário. I – A Relatividade Restrita. *Gazeta de Física*, 10 (3): 99-107.

Cabrita, Fernando e Costa, António Armando.

1987. Teoria da Relatividade no Ensino Secundário. I – A Relatividade Geral. *Gazeta de Física*. 11 (3): 93-102.

Do erro pedimos desculpa aos autores e a todos os leitores da *Gazeta de Física*,

O autor da compilação

Augusto Fitas



## International Advisory Committee

Antonio Masiero *INFN, Italy*  
António Onofre *LIP, Portugal*  
Barbara Jacak *Berkeley, USA*  
Bingsong Zou *ITP, China*  
Conceição Abreu *LIP, Portugal*  
Fabiola Gianotti *CERN, Switzerland*  
Giora Mikenberg *Weizmann, Israel*  
Isabel Lopes *LIP, Portugal*  
Jean Cleymans *U. Cape T., S. Africa*  
Jianwei Qiu *JLAB, USA*  
Joachim Mnich *DESY, Germany*  
Jorge Romão *CFTP, Portugal*

Jorgen D'Hondt *ECFA, Belgium*  
Klaus Peters *GSI, Germany*  
Mário Pimenta *LIP, Portugal*  
Martine Bosman *IFAE Barcelona, Spain*  
Masanori Yamauchi *KEK, Japan*  
Matthias Kasemann *DESY, Germany*  
Nu Xu *CCNU, China*  
Paolo Giubellino *GSI, Germany*  
Patrice Verdier *IN2P3, France*  
Patricia McBride *FNAL, USA*  
Paula Eerola *U. of Helsinki, Finland*  
Philippe Chomaz *CEA, France*

Reiner Krücken *TRIUMF&UBC, Canada*  
Reinhard Beck *U. Bonn, Germany*  
Richard Milner *MIT, USA*  
Robert D. McKeown *JLAB, USA*  
Rolf-Dieter Heuer *DPG, Germany*  
Soo-Bong Kim *SNU, Korea*  
Stephan Paul *TU Munich, Germany* **Chair**  
Torsten Akesson *U. Lund, Sweden*  
Victor Matveev *JINR Dubna, Russia*  
Xiangdong Ji *SJTU, China*  
Yifang Wang *IHEP, China*  
Young-Keek Kim *U. of Chicago, USA*

## Local Organizing Committee

Agostinho Gomes *LIP / FCUL*  
Alexandre Lindote *LIP*  
Amélia Maio *LIP / FCUL*  
Ana Sofia Nunes *LIP*  
Catarina Espírito Santo *LIP*  
Daniel Galaviz *LIP / FCUL*  
José Augusto *LIP / FCUL*  
João Gentil Saraiva *LIP*  
Helena Santos *LIP / FCUL* **Chair**

Liliana Apolinário *LIP / IST*  
Lorenzo Cazon *LIP*  
Luís Peralta *LIP / FCUL*  
Marcin Stolarski *LIP*  
Nuno Barros *LIP / FCUL*  
Nuno Castro *LIP / U.Minho*  
Ricardo Gonçalves *LIP / FCTUC*  
Rute Pedro *LIP*  
Valentina Lozza *LIP / FCUL*

22nd edition

# PANIC Lisbon Portugal

Particles and Nuclei International Conference

31 AUG — 04 SEP ————— 2020

- \* **Hot and dense matter physics**  
QGP and heavy ion collisions
- \* **QCD, spin physics and chiral dynamics**
- \* **Hadron spectroscopy and exotics**
- \* **Neutrino physics**
- \* **Dark matter and cosmology**
- \* **Nuclear and particle astrophysics**
- \* **Standard model physics at the TeV scale**
- \* **Energy frontier physics beyond the standard model**
- \* **Flavor physics**  
CKM and beyond
- \* **Tests of symmetries and conservation laws**
- \* **Hadrons in medium**  
Hyperons and mesons in nuclear matter
- \* **Development of accelerators and detectors**
- \* **Applications of nuclear and particle physics technology**



Vista Alegre / Beatriz Lammana

• Info [www.lip.pt/panic2020](http://www.lip.pt/panic2020)

Host **LIP** Laboratory of Instrumentation and Experimental Particle Physics

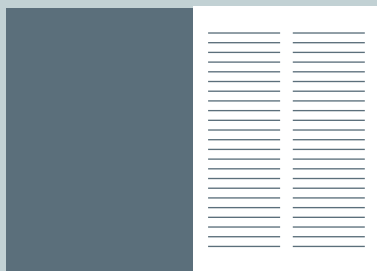
Venue **FCUL** Faculty of Sciences of the University of Lisbon



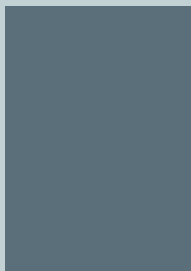
universe  
an Open Access Journal by MDPI



# TABELA DE PUBLICIDADE 2019



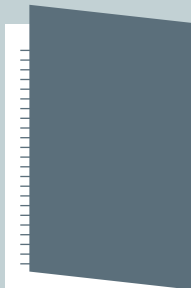
A) verso da capa



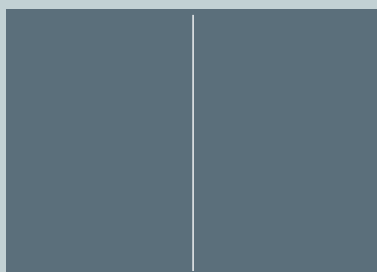
B) destacável/folha



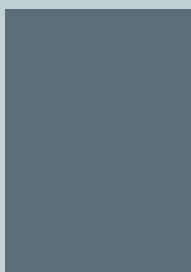
C) verso da contracapa



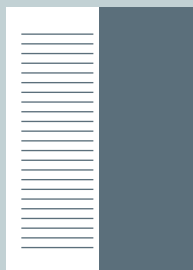
D) contracapa



E) página dupla



F) página inteira



G)  
coluna ou  
1/2 página

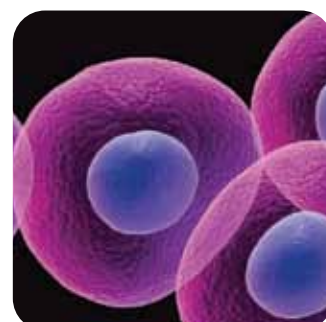
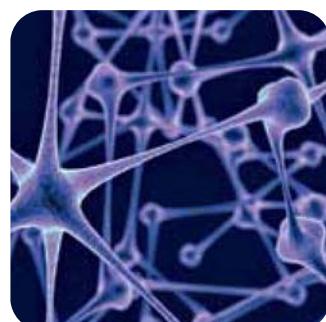
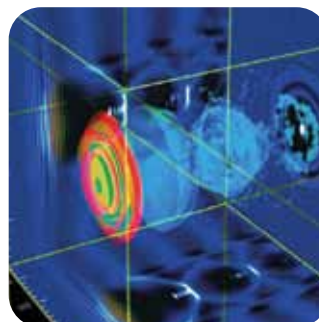
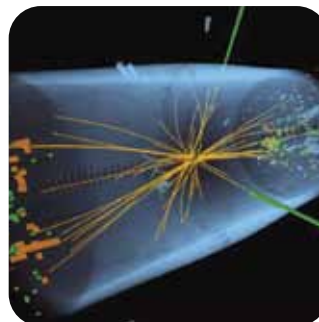


H)  
1/4 página  
ou faixa

Posição	Preço (Euros)	
	Ímpar	Par
A	1500	
B	1500	
C	1500	
D	2000	
E	2000	
F	1000	900
G	650	550
H	400	350
banner website	100/mês	



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



Aos preços da tabela acresce o IVA à taxa em vigor

Descontos de quantidade:  
2X: -20% 3X: -25% 4X: -30%

Tiragem anual 2019:  
3000 exemplares

Contactos:  
Sociedade Portuguesa de Física  
Av. República 45, 3º esq. 1050-187 Lisboa  
Tel: 351 21 799 36 65; spf@spf.pt

# Olimpíadas de Física 2020



## PROVAS

**Regionais: 9/5/2020**

**Nacionais: 6/6/2020**

**Internacionais: 7/2021, Bielorrússia**

**Ibero-americanas: 9/2021, Guatemala**

**Escalão A: alunos até ao 9.º ano**

**Escalão B: alunos até ao 11.º ano**

**Inscrições até 31/1/2020**

**<http://olimpiadas.spf.pt>**

Imagem do cartaz: Representação artística do planeta recentemente descoberto que orbita a estrela Gliese 581, e Calçada