

Buracos negros, a génese do nome

25 anos de LHC

As Olimpíadas e o ensino experimental da Física
Medir g em queda livre, na sala de aula

Índice

1 Editorial

- artigo geral
2 **O buraco negro cinquenta anos depois:**
A génese do nome

Carlos A. R. Herdeiro e José P. S. Lemos

- artigo geral
8 **25 anos de LHC no CERN**
e em Portugal

Ricardo Gonçalo

- sala de professores
10 **Será que as Olimpíadas de Física**
podem contribuir para um melhor ensino
experimental

Filipa Oliveira e José António Paixão

- sala de professores
16 **Medir g numa queda livre:**
a experiência em sala de aula

Ana Tavares Sousa e Rui Agostinho

- crónicas
21 **A dualidade ciência-tecnologia**

Carlos Herdeiro

- vamos experimentar
22 **O Golo de Ronaldo**

Constança Providência

24 Notícias

CRÉDITOS

Capa: Visão artística de um buraco negro com o seu disco de acreção.
Imagem: XMM-Newton, ESA, NASA

No momento em que começo a escrever este editorial encontro-me na Aula Magna da Universidade de Lisboa a participar na sessão de abertura das Olimpíadas Internacionais de Física, que em 2018 decorrem em Portugal. A sala está cheia e o ambiente é de alegria. Cada uma das delegações é apresentada e mostrada no ecrã principal para que todos se possam conhecer. Notam-se os sorrisos dos mais jovens e a antecipação das provas que aí vêm. Está tudo pronto para começar. As Olimpíadas Internacionais de Física ocorreram pela primeira vez na Polónia, em 1967, com 5 países e 15 alunos, tendo vindo a crescer de ano para ano. Em 2018, são organizadas pela Sociedade Portuguesa de Física e contam com a participação de 87 países e com cerca de 400 estudantes.

Atividades como as Olimpíadas de Física, que envolvem de forma alargada a comunidade escolar, têm contribuído muito para divulgar a Ciência e procurar novos talentos. Sendo uma das estratégias para atrair os mais jovens para áreas científicas de base, como a Física, ou para áreas afins, torna-se por isso importante medir e conhecer o seu impacto. Nesse sentido, esta edição da Gazeta conta com um artigo onde as Olimpíadas são estudadas e discutidas. Nele, procura-se caracterizar a competição e os seus intervenientes, inquirir sobre o seu potencial para motivar alunos para a Física e procurar soluções para melhorar o ensino experimental. Diagnosticar a aprendizagem dos alunos e as suas dificuldades permite desenvolver estratégias, trabalhos e métodos para o ensino experimental da Física, como é reportado no artigo da Gazeta sobre a implementação da medição da aceleração da gravidade em contexto de sala de aula.

Para lá das atividades de âmbito nacional é importante ressaltar também o trabalho das associações

que a nível local promovem a Ciência para os mais novos. Na secção de Notícias da Gazeta mostram-se atividades como o lançamento de balões de elevada altitude ocorrido no Planetário - Casa da Ciência, em Braga, uma instituição já com provas dadas. Nesta atividade, realizada para alunos das escolas primárias da região, os balões levaram diversos sensores e câmaras para captação de imagem, mas também mensagens de saudações das crianças participantes, mensagens essas que foram depois recuperadas e devolvidas aos seus autores, para gáudio dos pequenos. É também assim, num dia bem passado entre sensores, câmaras, imagens e boa disposição que começa a despontar nos mais pequenos o gosto pela Ciência.

Para além de preparar o futuro é, no entanto, importante saber de onde vimos e conhecer um pouco da personalidade dos Físicos que ajudaram a construir o presente. É nesse âmbito que surge um artigo sobre a origem do nome “buraco negro” no contexto da Física. Ele mostra que a ciência é feita por pessoas reais e com muito trabalho. Pessoas nas quais os mais novos se podem rever e tomar como exemplo a seguir.

Este número é, assim, construído a pensar não só nos mais jovens, que estão agora a descobrir o gosto pela Ciência, mas também em todos aqueles que, de forma dedicada e em diferentes contextos, desenvolvem atividades que fomentam o despontar de novos talentos. Eles ajudam a criar as bases de uma verdadeira cultura científica.

Boas leituras

Bernardo Almeida



Ficha Técnica

Estatuto Editorial

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

Propriedade | Sede | Redação

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

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

Joaquim Moreira - Delegação Norte
Rui Travasso - Delegação Centro
Pedro Abreu - 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.

O buraco negro cinquenta anos depois: A génese do nome

Carlos A. R. Herdeiro¹ e José P. S. Lemos²

¹ Departamento de Física, Universidade de Aveiro, e CIDMA, Campus de Santiago, 3810-183 Aveiro

² Departamento de Física, Centro de Astrofísica e Gravitação - CENTRA, Instituto Superior Técnico - IST, Universidade de Lisboa - UL, Avenida Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa

Resumo

Buracos negros são deformações extremas do espaço-tempo, onde até mesmo a luz é aprisionada. Existe uma total evidência astrofísica para a existência real e abundante destas prisões de matéria e luz no Universo. Matematicamente, buracos negros são descritos como soluções das equações de campo da teoria da relatividade geral, tendo a primeira destas soluções sido publicada em 1916 por Karl Schwarzschild e outra solução de extrema relevância, representando um buraco negro em rotação, tendo sido encontrada por Roy Kerr em 1963. Mas a utilização do termo buraco negro para descrever estas entidades aparece somente meio século depois da solução de Schwarzschild. Quem o cunhou? A sabedoria convencional atribui a paternidade do termo ao influente físico norte-americano John Wheeler que em 1968 imprimiu definitivamente esse nome num artigo de divulgação. Este, contudo, é apenas um lado de uma história, que começa duzentos anos antes, numa prisão na Índia do Sec. XVIII.

Introdução:

A teoria da relatividade geral formulada por Einstein em 1915 é uma teoria do espaço, tempo e matéria. Através da curvatura do espaço-tempo e sua interação com a matéria o fenómeno da gravitação é explicado. Como John Wheeler disse, o espaço-tempo diz à matéria como se mover e a matéria diz ao espaço-tempo como se encurvar [1,2].

Buracos negros são objetos preditos pela teoria da relatividade geral. Sendo feitos somente de espaço e tempo encurvados e energia são os objetos mais elementares da teoria. De forma simples, um buraco negro é uma região da qual nenhum objeto físico nem mesmo luz conseguem escapar. À fronteira dessa região com o exterior dá-se o nome de horizonte de eventos. A deformação do espaço-tempo de um buraco negro desafia a nossa intuição. Por exemplo: na vizinhança de um buraco negro o tempo flui arbitrariamente devagar. Outro exemplo: para um buraco negro em rotação, o espaço é inexoravelmente arrastado por essa rotação, tornando-se impossível ficar parado, mesmo fora do buraco negro.

A primeira solução matemática exata da teoria de Einstein foi a solução de Schwarzschild [3], encontrada em 1916 pelo astrónomo e matemático alemão Karl Schwarzschild. Com esta solução, Schwarzschild queria explicar o campo gravitacional fora de uma estrela esférica. Contudo, encarada como uma solução completa, sem uma estrela central, aparecia na solução um raio intrínseco chamado raio gravitacional ou raio de Schwarzschild. Este raio é muito pequeno relativamente ao raio de uma estrela e por isso não faria parte da solução. Além disso, as propriedades da região que delimita eram estranhas. Consequentemente, parecendo ser uma região irrelevante para os problemas astrofísicos e sendo uma região com propriedades de difícil entendimento, os físicos durante muito tempo preferiram não dar a devida atenção a esse raio e a essa região.

Mas, em 1939, Oppenheimer e Snyder [4] num trabalho notável demonstraram teoricamente que o colapso de uma estrela no referencial da própria estrela é total, a estrela e a superfície da estrela passam pelo próprio raio de Schwarzschild sem qualquer resistência, continuando o seu colapso inexorável. Este trabalho foi crucial para a compreensão física da solução de Schwarzschild que finalmente emergiu a partir de fins da década de 1950 com os trabalhos de Wheeler, Kruskal e outros [1]. Percebeu-se então que o raio gravitacional fornece a superfície chamada de horizonte de eventos, um nome cunhado pelo físico austríaco Wolfgang Rindler em 1956 (ver por exemplo [1]), e que a região dentro do horizonte de eventos tem propriedades interessantes e peculiares.

O estímulo para se estudar estes objetos de forma definitiva veio com a deteção, no início da década de 1960, de fontes rádio de energia imensa. A descoberta de um parceiro ótico para essas fontes rádio permitiu concluir que as fontes tinham uma velocidade de recessão da ordem de 40% da velocidade da luz e sugeriu que se encontravam a distâncias

cosmológicas, irradiando uma quantidade colossal de energia. Devido a essas fontes parecerem estrelas nas chapas fotográficas, as fontes ficaram conhecidas como quasares, nome síntese para objetos quase estelares [5]. A libertação destas quantidades enormes de energia levou à especulação que objetos muito compactos, tão compactos que até pudessem possuir um horizonte de eventos, estariam por detrás destes fenómenos, e que explicações relativistas deveriam ser fundamentais para gerar estas energias.

Novas descobertas tanto teóricas como observacionais foram importantes. Em 1963 Roy Kerr, um físico neozelandês a trabalhar na Universidade de Austin, Texas, descobriu a solução exata, dentro da teoria da relatividade geral pura, de um objeto em rotação [6]. Na solução de Kerr quando se faz a rotação ser igual a zero recupera-se a solução de Schwarzschild. Estas soluções, de Schwarzschild e principalmente a de Kerr, tiveram tal impacto em física e astrofísica que foi necessário arranjar um nome para elas e para os objetos que representam. Num artigo de 1968, Wheeler denominou esses objetos de buracos negros [7]. As soluções de Schwarzschild e de Kerr passaram então a ser chamadas de buracos negros de Schwarzschild e buracos negros de Kerr, respetivamente.

Paralelamente, no último meio século, observações astronómicas comprovaram a realidade física destes objetos, que parecem existir abundantemente no Universo, formando-se no colapso de estrelas massivas cujo esgotamento de combustível torna impossível sustentar o seu próprio peso [8]. Sabe-se também que todas as galáxias, ou quase todas, têm um buraco negro supermassivo no seu centro, formado numa fase jovem do Universo [9]. Por exemplo, a nossa Via Láctea tem um buraco negro central com cerca de 4 milhões de massas solares. Em 2015, a espetacular deteção direta de ondas gravitacionais pelas antenas LIGO-Virgo [10] confirmou a existência de buracos negros de uma maneira totalmente nova, revelando uma população anteriormente inacessível.

É curioso especular que Einstein podia ter chegado ao conceito de buracos negros em 1905, apenas com a gravitação Newtoniana e com a noção da teoria da relatividade restrita da velocidade da luz ser uma velocidade limite e uma constante universal [11]. Mas ele nunca se interessou nem por estrelas nem por buracos negros. De qualquer modo, a história iria mostrar que tal conceito não estava pronto para aparecer assim espontaneamente. Mesmo com a teoria da relatividade geral já formulada e finalizada, o caminho percorrido para se chegar ao conceito de buraco negro e se perceber esses objetos na sua plenitude, física e matematicamente, foi difícil e tortuoso [12,13].

A ciência dos buracos negros é deslumbrante, e o seu interesse penetrou, sem qualquer dúvida, na imaginação e no imaginário da cultura humana. É, pois,

justificado meditar um pouco sobre a história destes objetos, começando com a pergunta simples de onde e como se originou o termo buraco negro. Veremos que existe uma aura de mistério e uma história fascinante.

2. Os nomes iniciais

Os primeiros físicos que se debruçaram sobre a solução de Schwarzschild acreditavam que no raio de Schwarzschild o campo gravitacional seria infinito e o espaço-tempo parecia ter propriedades patológicas nessa região. Por esta razão o raio de Schwarzschild era também conhecido por singularidade de Schwarzschild [14]. Mas, com o trabalho de Oppenheimer e Snyder de 1939 ficou claro para alguns que não havia nada de singular nesse raio e singularidade de Schwarzschild era um nome inapropriado que não representava o carácter do espaço-tempo nessa região.

Na década de 1960, os físicos da União Soviética, notadamente Yakov Zel'dovich e Igor Novikov, chamavam ao objeto uma estrela congelada [15]. Este nome refletia a circunstância que para um observador no exterior a estrela parecia ficar congelada quando atingia o raio de Schwarzschild, ver [16] para uma versão contemporânea de uma estrela congelada. Por outro lado, os físicos americanos, nomeadamente Wheeler, e os físicos europeus usavam o nome estrela colapsada [17]. Este nome dava ênfase à situação que no seu próprio referencial a estrela colapsava totalmente para uma verdadeira singularidade.

Mas nenhum dos nomes era bom e Wheeler sabia-o. Um bom nome é essencial para captar a física e os processos envolvidos. Wheeler tinha criado em 1958 o termo buraco de verme (wormhole em inglês) para objetos que ligavam regiões diferentes do espaço-tempo. Dez anos depois ele usou o termo buraco negro para objetos colapsados (black hole em inglês).

3. A versão de John Wheeler para o nome buraco negro

A descrição de como o termo buraco negro foi introduzido para descrever o estado final do colapso gravitacional de uma estrela massiva é apresentada por John Wheeler no capítulo 13 da sua autobiografia científica *Geons, Black Holes & Quantum Foam*, que tem como sub-título *A Life in Physics* [18].

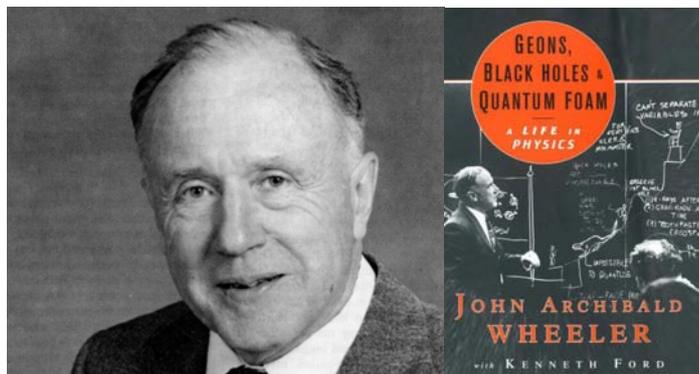


Fig. 1 - O físico John Archibald Wheeler (1911-2008) e a sua autobiografia científica [18].

Wheeler, um físico da Universidade de Princeton, destacou-se no início da carreira como físico nuclear. Inventou a matriz-S que dá conta do espalhamento da colisão de partículas em processos quânticos e trabalhou no projeto Manhattan que desenvolveu a primeira bomba atômica. Wheeler descreve como os seus interesses em física nuclear, e posteriormente em relatividade geral, o levaram no final da década de 1950, a interessar-se por estrelas e em particular pelo centro de estrelas em fase final de vida. Qual o estado final de uma estrela depois de ter consumido todo o seu combustível nuclear? Será que explode? Ou será que implode num núcleo de matéria densa? E se assim é, quão denso e pequeno será esse núcleo? Estas eram algumas das perguntas a que Wheeler queria responder. Wheeler não era o primeiro a fazê-las e respostas parciais existiam. Já se sabia que o destino da estrela dependia do quão massiva ela era.

Estrelas pouco massivas poderiam acabar a sua vida como anãs brancas, como Chandrasekhar, um físico indiano a trabalhar em Cambridge, tinha revelado em 1930. Ele calculou que a massa máxima que uma anã branca pode ter é 1.4 vezes a massa do Sol, agora chamado limite de Chandrasekhar. Seguindo as ideias de Fritz Zwicky, um astrónomo suíço radicado no Caltech, especulava-se também que estrelas um pouco mais massivas poderiam terminar a sua vida como estrelas de neutrões, que na altura ainda não tinham sido observadas, mas eram previstas teoricamente como objetos muito compactos em que a gravidade extrema obriga os eletrões e protões a fundirem-se formando neutrões. A estrela torna-se uma espécie de um núcleo atômico gigante e, como Landau, o renomado físico russo, inferiu, o valor da massa limite de uma tal estrela de neutrões era da ordem do limite de Chandrasekhar. Oppenheimer e Volkoff em 1939 confirmaram esta previsão de Landau para a massa máxima e constataram que era teoricamente possível que nada conseguisse travar a implosão de uma estrela ainda mais massiva. Por seu turno, Oppenheimer e Snyder ainda em 1939 através de um modelo simplificado apresentaram então o resultado famoso que uma estrela podia colapsar para dentro do seu próprio raio gravitacional [4]. Anos mais tarde, na década de 1950, Wheeler e os seus alunos voltaram a estudar todos estes problemas e comprovaram que num certo intervalo de massas, que encontraram ser um pouco superior ao limite de Chandrasekhar, estas estrelas poderiam ser estáveis e descrever o estado final do colapso de uma estrela. Mas era o destino de estrelas ainda mais massivas que intrigava particularmente Wheeler, que depois de várias idas e vindas se convenceu que o resultado de Oppenheimer e Snyder era válido genericamente. Para estrelas muito massivas o seu estágio final era o de um objeto completamente colapsado gravitacionalmente (ver [12,13] para uma exposição detalhada).

Conforme está relatado na sua autobiografia, passada cerca de uma década de ter começado a pensar nestas ideias, Wheeler, no Outono de 1967, foi convidado por Vittorio Canuto do Instituto Goddard da NASA em Nova Iorque para uma conferência nessa cidade cujo propósito era debater a natureza de um novo objeto astronómico, o pulsar, que havia

sido descoberto uns meses antes em Cambridge por Jocelyn Bell Burnell e Antony Hewish. Viria a confirmar-se logo depois que pulsares são estrelas de neutrões em rotação. Na sua palestra em Nova Iorque, Wheeler argumentou que se deveria considerar também a possibilidade de no centro de um pulsar existir um “objeto completamente colapsado gravitacionalmente”. Esta longa terminologia, contudo, tornou-se incómoda e Wheeler comentou na sua palestra que não podia estar constantemente a repeti-la e necessitava de uma terminologia mais curta. Nessa altura alguém na plateia terá sugerido “Que tal buraco negro?”. Wheeler escreve que este termo lhe pareceu precisamente apropriado para o “objeto completamente colapsado gravitacionalmente”, terminologia que, ele diz, procurava há meses. Algumas semanas mais tarde, em 29 de dezembro de 1967, quando deu uma palestra convidada, a Aula Sigma Xi-Phi Beta Kappa, com o título “Space and Time”, no encontro anual da Associação Americana para o Avanço da Ciência no New York Hilton [19], Wheeler usou o termo buraco negro, que foi depois incluído na versão escrita dessa palestra publicada na primavera de 1968 [7]. E deste modo, de acordo com Wheeler, o nome buraco negro entrou na literatura científica.

Bartusiak [20], uma escritora especialista em física e astrofísica, confronta as lembranças temporais de Wheeler. Assim, a conferência sobre pulsares e estrelas de neutrões no Instituto Goddard só se realizou em maio de 1968; pulsares foram anunciados oficialmente em fevereiro desse ano. Em novembro de 1967 houve efetivamente uma conferência no Goddard sobre supernovas, mas o nome de Wheeler não consta nos anais da conferência [21]. É possível que ele tenha dado a palestra nessa conferência e não tenha enviado a versão escrita para os editores, mas nem isso é garantido. O que é incontestável é que ele usou o nome buraco negro no discurso depois do jantar no encontro anual da Associação Americana para o Avanço da Ciência e que o nome foi impresso na revista *American Scientist* em 1968 no artigo com título “Our Universe: The Known and the Unknown” [7]. Também não existe dúvida que, após esta publicação, o nome buraco negro difundiu-se por toda a esfera do conhecimento e Wheeler foi legitimado como estando na sua origem.

4. O Texas Symposium em Dallas e o encontro da Associação Americana para o Avanço da Ciência em Cleveland em 1963

Independentemente dos detalhes da história de Wheeler para a origem do termo buraco negro, existe no entanto a história que Wheeler não contou.

Esta história remonta a um encontro científico que teve lugar na cidade norte americana de Dallas, em

julho de 1963, o primeiro Texas Symposium on Relativistic Astrophysics. A organização deste encontro foi motivada pela recente descoberta dos quasares, os objetos situados a distâncias cosmológicas que libertavam quantidades colossais de energia. Na verdade, uma parte da comunidade começou a especular que fenômenos e conceitos relativistas eram fundamentais para explicar a geração destas energias, o que originou a ideia duma conferência em astrofísica relativista [22,23], uma área científica inexistente até à época.

Surpreendentemente, o termo buraco negro foi usado nesse primeiro Texas Symposium, nas discussões sobre os objetos completamente colapsados gravitacionalmente e que os cientistas conjecturavam que poderiam estar associados à enorme quantidade de energia emitida pelos quasares.

Na sequência, a revista *Life* publica, no início de 1964, um artigo com título “Heavens’ new enigma, What are quasi-stellars?”, da autoria do jornalista Albert Rosenfeld [24]. O artigo refere-se ao encontro em Dallas que ocorrera seis meses antes e é dedicado à questão dos quasares. Este artigo expõe a ideia dos astrofísicos Fred Hoyle e William Fowler de que a fonte de energia dos quasares poderia estar associada ao colapso gravitacional de matéria, que, como escreveu Rosenfeld, resultaria num “invisible black hole in the universe” [24].

O termo voltou a ser usado numa outra conferência em Cleveland, realizada em dezembro de 1963, promovido pela Associação Americana para o Avanço da Ciência. Esta conferência motivou um artigo da autoria da jornalista Ann Ewing, com o título “Black Holes in Space” [25] (ver Figura 2). A jornalista começa o artigo com a frase “Space may be peppered with black holes” e continua depois “Such a star then forms a “black hole” in the universe”. Foi com efeito neste artigo que o nome buraco negro surge pela primeira vez impresso. O artigo de Rosenfeld sobre o Texas Symposium, que ocorrera em julho do ano anterior, foi tardiamente publicado, seis dias depois do artigo de Ewing.

SCIENCE NEWS LETTER for January 18, 1964

ASTRONOMY

“Black Holes” in Space

The heavy densely packed dying stars that speckle space may help determine how matter behaves when enclosed in its own gravitational field—By Ann Ewing

Fig. 2 - O artigo de Ann Ewing de 1964 onde o termo Black Hole surge publicado pela primeira vez [25].

Os dois autores, Rosenfeld [24] e Ewing [25] publicaram, mais de quatro anos antes, o termo buraco negro com o mesmo sentido que o artigo de Wheeler [7]. Que eles não criaram o termo é sabido. Marcia

Bartusiak cita que o próprio Rosenfeld disse que não inventou o termo e o que ouviu ser mencionado no encontro de Dallas [20]. Contudo, nem Rosenfeld nem Ewing esclarecem qual o físico ou quais os físicos que usaram este termo nos encontros de Dallas e Cleveland.

5. Robert Dicke e o buraco negro de Calcutá

O primeiro Texas Symposium foi tão bem-sucedido que originou uma série de conferências que se perpetuam até hoje: é realizado um simpósio a cada dois anos. Durante o 27º Texas Symposium, em 2013, Marcia Bartusiak apresentou o seu trabalho sobre a origem do termo [26] (ver também [20]). Hong-Yee Chiu, um astrofísico norte-americano de origem chinesa que inventara o termo quasar [5], e que participara ativamente no 1º Texas Symposium em Dallas e organizara o encontro em Cleveland, confirmou ter usado o termo buraco negro nesse encontro. Em particular é-lhe atribuída a frase “Space may be peppered with black holes” com que Ewing inicia o seu artigo. Contudo, Chiu negou ter inventado o termo buraco negro e localizou a sua origem num colóquio em Princeton a que ele assistira enquanto era postdoc, em 1960 ou 1961, proferido pelo físico de Princeton Robert Dicke, no qual este comparou estrelas totalmente colapsadas gravitacionalmente ao “buraco negro de Calcutá”. Segundo Chiu [20], Dicke voltou a usar o nome buraco negro em palestras em 1961 e 1962 no Goddard Institute em Nova York onde Chiu agora trabalhava. Essas palestras, nas quais Wheeler também participara, ficaram registadas [27] mas o termo buraco negro não é referido nesses anais.

Adicionalmente, Martin McHugh, um físico interessado na obra de Dicke, mencionou a Bartusiak [20] uma outra perspectiva curiosa, ver também [28] para outros detalhes. Os filhos de Robert Dicke recordam que quando algo se perdia em sua casa, o pai declarava: “Ah, deve ter sido sugado pelo buraco negro de Calcutá”. O que é o buraco negro de Calcutá referido por Dicke? Existiu um lugar denominado buraco negro de Calcutá, que ficou tristemente célebre na história Britânica na Índia. Tratava-se de uma pequena prisão do Forte William, em Calcutá, destinada a não mais do que dois ou três prisioneiros em simultâneo. Na sequência de uma disputa com a Companhia das Índias Orientais, que na altura controlava o forte, o governante local, Siraj ud-Daulah, mandou fazer um cerco ao Forte que acabou por ser conquistado em 20 de junho de 1756. De acordo com a narração do britânico John Holwell, 146 soldados ao serviço da companhia das Índias foram capturados. Os vencedores enclausuraram os capturados na pequena prisão do forte, conhecida como “buraco negro” na gíria dos soldados. Os prisioneiros foram tão apertados na pequena cela que foi difícil encerrar a porta. Durante essa noite, 123 dos 146 prisioneiros morreram, asfixiados ou esmagados. Os detalhes deste episódio são disputados por outras fontes, mas esta versão foi perpetuada durante o domínio britânico da Índia, havendo ainda um monumento que serve de memorial da tragédia na igreja de St. John’s em Calcutá, em memória daqueles que “morreram na prisão Buraco Negro” [29]. Este relato, de mais de uma centena de homens comprimidos até serem esmagados num

pequeno cubículo chamado buraco negro, inspirou Dicke a chamar de buraco negro ao objeto gerado por colapso gravitacional total de uma estrela.

Assim o nome buraco negro surge, em primeiro lugar, por intermédio de Robert Dicke.

6. A história plausível do nome buraco negro

Dado que o uso do nome buraco negro era corrente desde pelo menos 1961 em certos círculos que Wheeler frequentava, é intrigante que ele tenha omitido, na sua descrição da origem do termo buraco negro, os usos anteriores desta terminologia, que inclusive apareceram publicados.

Esse desconforto ficou patente quando Canuto, que teria organizado o tal encontro no Goddard Institute em 1967 que verdadeiramente só se realizou em 1968, confrontado com a história apresentada por Wheeler no livro, exteriorizou uma certa irritação e comentou “Wheeler podia ter contado a história que quisesse” [30].

Por certo, sendo colega de Dicke em Princeton, é impossível que Wheeler nunca tenha afluído o tema com Dicke, ou que não tenha chegado aos ouvidos de Wheeler, nos corredores de Princeton, uma expressão tão idiossincrática como “buraco negro de Calcutá”. Wheeler, por uma razão ou por outra, não esteve presente nem no Texas Symposium em Dallas em 1963, nem no encontro em Cleveland também em 1963, embora o seu estudante à época, Kip Thorne, tenha apresentado um trabalho no simpósio de Dallas. No entanto, Wheeler participou nas palestras do Goddard Institute em 1961 e 1962, onde Chiu afirmou que ouviu Dicke preferir o termo buraco negro diversas vezes.

É um facto conhecido que, em certos meios e para algumas pessoas, o nome buraco negro não assentava bem. Era considerado obscuro, um nome de baixo calão. Feynman, por exemplo, acusou Wheeler de ser perverso por usar este nome [20]. Já o nome era falado e escrito comumente no resto do mundo, os físicos franceses, por o considerarem indecoroso, continuavam a resistir em adotá-lo por mais algum tempo [17]. Fica desta forma claro, que mesmo após o nome ser praticado de alguma maneira em Princeton e na sua esfera de influência no início da década de 1960, havia ainda entraves a entregá-lo ao mundo. Mas houve um dia em que não houve mais embaraço e os entraves foram postos de lado para sempre.

Deste modo, o que transparece é que, em algum momento no Outono de 1967, presumivelmente em Nova Iorque, Wheeler decidiu adotar definitivamente o nome, independentemente de outros sentidos que este pudesse ter, e usou a história de que alguém da audiência lhe gritou o termo buraco negro como uma metáfora para outra realidade.

Esta interpretação é reforçada por José Acácio de Barros, um físico brasileiro da San Francisco State University que colaborou com Patrick Suppes, um filósofo da ciência norte-

americano. Segundo Barros, numa conversa a três, entre ele, Suppes e Wheeler em 1996, Wheeler terá dito que o nome buraco negro era recorrente nas conversas que ele tinha com Dicke e que havia sempre sorrisos brincalhões entre os dois quando este nome era mencionado [31]. Mais, nessa conversa a três, ainda segundo Barros, quem na audiência gritou “Que tal buraco negro?” foi o próprio Dicke [31,32].

Assim se fecha o círculo. A história, quando analisada em detalhe, é frequentemente mais rica do que apresentada pela sabedoria convencional. Não deixa de ser misterioso que John Wheeler tenha suprimido, na sua descrição da origem do termo buraco negro, os usos anteriores desta terminologia. No caso da história do termo buraco negro é factual que não foi John Wheeler quem teve a ideia, nem o primeiro a publicar o termo com o seu significado científico moderno. Foi Dicke quem teve esse rasgo e foi ele quem deu o aval a Wheeler ao berrar “que tal buraco negro?”, para Wheeler poder começar a usar o nome à vontade.

7. A aceitação, a popularização e a importância do nome buraco negro

Wheeler quando em 1968 pôs buraco negro como título de uma subsecção do seu artigo [7] conferiu ao termo a sua autoridade e o nome buraco negro prendeu de imediato a imaginação dos cientistas e do público em geral. Nos cinquenta anos subsequentes, desde 1968 até hoje, o nome foi usado um número astronómico de vezes e é claramente uma data para ser comemorada [33].

Realmente é o nome ideal. A singularidade cava um buraco no espaço-tempo não deixando que nada na região dentro do horizonte de eventos consiga sair. Para um observador exterior esse buraco é visto como negro, nem luz é emitida de lá.

A solução de Schwarzschild de 1916 foi inicialmente considerada como uma solução que descrevia o espaço-tempo exterior a uma estrela. No entanto, quando considerada como uma solução pura, sem estrela, apresentava problemas que os físicos demoraram tempo a resolver (ver [34] para a comemoração dos cem anos da solução). Somente mais de 50 anos depois da solução ter sido publicada, já quando estava bem entendida, é que ficou com o seu nome definitivo: buraco negro de Schwarzschild,

É difícil enfatizar a extrema importância do buraco negro de Kerr, isto é, a solução de buraco negro em rotação. Os buracos negros astrofísicos têm rotação, seja ela pequena ou grande, e o buraco negro de Kerr permite estudar processos dinâmicos na sua vizinhança que espelham o que se passa com os buracos negros observados. Além disso, ao trazer nova dinâmica a

buracos negros, a solução de buraco negro de Kerr deu azo a desenvolvimentos teóricos impressionantes. Por exemplo, conseguiu-se demonstrar que “buracos negros não têm cabelos”, outro termo criado por Wheeler em 1969 para tornar claro que buracos negros tinham apenas duas propriedades: a sua massa e o seu momento angular (ver [35] para uma discussão moderna deste teorema). Este termo também suscitou polémica inicialmente. Apesar do seu temperamento sério, Wheeler tinha um lado maroto como transparece e como é confirmado por Thorne ao descrever como Wheeler ao inventar este novo termo, “buracos negros não têm cabelos”, gerou uma série de problemas com o editor da revista *Physical Review* [17] (ver também [36]).

Os progressos extraordinários em teoria de buracos negros culminaram com a constatação que os buracos negros são objetos termodinâmicos e com a descoberta por Hawking em 1974 que, por processos quânticos, buracos negros emitem radiação com temperatura de corpo negro. Mas isto é outra história.

Agradecimentos

Agradecemos a Luís Carlos Crispino por, durante a realização da X Black Holes Workshop, em 17 e 18 de dezembro de 2017 em Aveiro, ter chamado a nossa atenção para os artigos de Ann Ewing e de Tom Siegfried e para o artigo de Alberto Saa onde são mencionados esses artigos que estiveram na gênese deste trabalho. Agradecemos a José Acácio de Barros por nos ter comunicado a sua conversa com Patrick Suppes e John Wheeler.

Referências

1. C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler, *Gravitation* (W. H. Freeman & Co, San Francisco 1973).
2. J. A. Wheeler, *A Journey into Gravity and Spacetime* (W H Freeman & Co, Scientific American Library 1990).
3. K. Schwarzschild, Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie, *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften* 1916, 189 (1916).
4. J. R. Oppenheimer, H. Snyder, On continued gravitational contraction, *Physical Review* 55, 455 (1939).
5. H-Y Chiu, Gravitational collapse, *Physics Today* 17(5), 21 (1964).
6. R. P. Kerr, Gravitational field of a spinning mass as an example of algebraically special metrics, *Physical Review Letters* 11, 237 (1963).
7. J. A. Wheeler, Our Universe: The known and the unknown, *American Scientist* 56, 1 (1968); *The American Scholar* 37,968).

8. R. Narayan, J. E. McClintock, Observational evidence for black holes, in *General Relativity and Gravitation, A Centennial Perspective*, editado por A. Ashtekar et al (Cambridge University Press, Cambridge 2015); arXiv:1312.6698 [astro-ph.HE], p. 133.
9. J. Kormendy, L. C. Ho, Coevolution (or not) of supermassive black holes and host galaxies, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 51, 511 (2013); Xiv:1304.7762 [astro-ph.CO].
10. B. P. Abbott et al. LIGO-Virgo Scientific Collaborations, Observation of gravitational waves from a binary black hole merger, *Physical Review Letters* 116, 061102 (2016); arXiv:1602.03837 [gr-qc].
11. J. P. S. Lemos, Buracos negros e partículas de massa nula, *Gazeta de Física* 25 (Fascículo 4), 39 (2002).
12. W. Israel, Dark stars: the evolution of an idea, in *Three Hundred Years of Gravitation*, editado por S. W. Hawking, W. Israel (Cambridge University Press, Cambridge 1987), p. 199.
13. J. P. S. Lemos, O destino das estrelas, *Ciência Hoje* 97, 42 (1994).
14. T. Regge, J. A. Wheeler, Stability of a Schwarzschild singularity, *Physical Review* 108, 1063 (1957).
15. Ya. B. Zeldovich, I. D. Novikov, *Relativistic Astrophysics: Stars and Relativity, Volume 1* (University of Chicago Press, Chicago 1971).
16. J. P. S. Lemos, V. T. Zanchin, Quasiblack holes with pressure: Relativistic charged spheres as the frozen stars”, *Physical Review D* 81, 124016 (2010); arXiv:1004.3574 [gr-qc].
17. K. Thorne, *Black Holes & Time Warps: Einstein’s Outrageous Legacy* (W. W. Norton & Company, New York 1995).
18. A. Wheeler, K. Ford, Geons, *Black Holes & Quantum Foam* (W. W. Norton & Company, New York 1998).
19. AAAS Annual Meeting, 26-31 December 1967, New York City, Tentative Schedule of Sessions: science.sciencemag.org/content/157/3795/1468.full.pdf, ver também <http://science.sciencemag.org/content/157/3795/1468>
20. M. Bartusiak, *Black Hole* (Yale University Press, Yale 2015).
21. P. J. Brancziano, A. G. W. Cameron (editores), *Supernovae and their Remnants*, Proceedings of the Conference held at the Goddard Institute for Space Studies, NASA, New York 1967 (Gordon and Breach, New York 1969).
22. I. Robinson, A. Schild, E. L. Schucking (editores), *Quasi-Stellar Sources and Gravitational Collapse*, Proceedings of the First Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, Dallas 1963 (University of Chicago Press, Chicago 1965).
23. E. L. Schucking, The first Texas Symposium on relativistic astrophysics, *Physics Today* 42(8), 46 (1989).
24. A. Rosenfeld, What are quasi-stellars? Heavens’ new enigma, *Life Magazine* January 24, 11 (1964).
25. A. Ewing, “Black holes” in space, *Science News Letter* 85, 39 (January 18, 1964).
26. M. Bartusiak, Bermuda triangles of space: How the public first met black holes, Talk at the 27 Texas Symposium on Relativistic Astrophysics (2013); <http://nsm.utdallas.edu/texas2013/proceedings/3/2/g/Bartusiak.pdf>
27. H.-Y. Chiu, W. F. Hoffmann (editores), *Gravitation and Relativity* (W. A. Benjamin, New York, 1964).
28. T. Siegfried, 50 years later, it’s hard to say who named black holes, *Science News* blog, <https://www.sciencenews.org/blog/context/50-years-later-it%E2%80%99s-hard-say-who-named-black-holes>
29. Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Black_Hole_of_Calcutta
30. V. Canuto, depoimento a J. P. S. Lemos em Nova York, 2003.
31. A. Barros, depoimento aos autores em Lisboa em 14 de Dezembro de 2017 e emails para os autores, 20 de Dezembro de 2017, 2 de Junho de 2018 e 3 de Junho de 2018.
32. J. P. S. Lemos, na conversa com John Wheeler durante a tarde de 19 de Janeiro de 1994 em Santiago do Chile, na conferência *The Black Hole 25 Years After*, infelizmente o assunto da origem do nome buraco negro não foi mencionado.
33. V. Cardoso, C. A. R. Herdeiro, F. C. Mena, J. P. S. Lemos, J. Natário, XI Black Holes Workshop: *The Black Hole 50 Years After*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 17 e 18 de Dezembro de 2018, <https://centra.tecnico.ulisboa.pt/network/grit/bhw11/>.
34. A. Saa, Cem anos de buracos negros: o centenário da solução de Schwarzschild, *Revista Brasileira de Ensino de Física* 38, e4201 (2016).
35. C. A. R. Herdeiro, E. Radu, Asymptotically flat black holes with scalar hair: a review, *International Journal Modern Physics D* 24, 1542014 (2015); arXiv:1504.08209 [gr-qc].
36. W. Israel, “Absurd and ridiculous”: The collapse of solidity, in *The Black Hole, 25 Years After*, Proceedings of the Conference, Santiago do Chile 1994, editado por C. Teitelboim, J. Zanelli (World Scientific Publishing 1998), p. 87.

25 anos de LHC no CERN e em Portugal

Ricardo Gonalo

Passaram 25 anos sobre a proposta oficial do grande acelerador de partículas do CERN [1,2], o Large Hadron Collider ou LHC. Foram 25 anos de investigao de ponta em física de partículas no CERN e também em Portugal.

Numa manhã gelada de maro de 1992, iniciava-se uma conferência na pequena cidade francesa de  vian, nas margens do lago L man, famosa apenas pela sua água termal. Na verdade não sei, não estava lá, mas imagino assim aquela manhã de maro, um mês de frio intenso, naquele largo vale glaciado entre as montanhas dos Jura e o início dos Alpes Su cos. A conferência saiu da organizao conjunta do Laboratório Europeu de Física de Partículas, o CERN, e da Comissão Europeia para Futuros Aceleradores, ECFA. O principal objectivo era a discussão das experiências a planear para o grande colisionador de protões, cujo futuro ainda longínquo se comeava a definir. O LHC era até recentemente apenas o projeto de uma máquina fabulosa, que permitiria explorar a o mundo subatômico muito para além das fronteiras da altura. Mas as dificuldades eram estonteantes: não existiam ímanes capazes de domar feixes de protões com as energias pretendidas, nem detectores de partículas capazes de funcionar com a taxa de colisões esperada, e os custos previstos eram enormes.

Desde a década de 1970 que as teorias do Modelo Padrão da física de partículas se tinha vindo a afirmar. A descoberta de partículas como os meses J/Ψ confirmaram o modelo dos quarks, constituintes últimos das partículas observadas nas experiências. Indícios dos bosões W e Z que transmitem a fora nuclear fraca foram vistos em 1973 e os próprios bosões foram claramente identificados em 1983. Na década de 1990 as grandes questões da física de partículas tinham entretanto mudado de tom: em vez de uma busca impulsionada por descobertas experimentais frequentes que aumentavam a nossa perplexidade, tratava-se de compreender os limites das teorias do Modelo Padrão, e do que lhes poderia estar subjacente. Qual é a origem da massa de partículas elementares? Qual é a razão para termos uma aparente repetio de partículas fundamentais, com três famílias de quarks aparentemente idênticas para além da sua massa? Porque razão a gravitao   tão diferente das outras interaes conhecidas? De onde vem a dominância de matéria sobre antimatéria no universo (o Big Bang deveria ter criado iguais quantidades)? O mecanismo de Higgs e a existência de uma teoria supersimétrica, subjacente e mais fundamental que o Modelo Padrão,

pareciam fazer parte de algumas das respostas procuradas. Respostas que poderiam ser provadas através da descoberta de novas partículas: bosões de Higgs ou partículas supersimétricas.

Mas para isso era necessário ir para além dos limites das experiências de então...

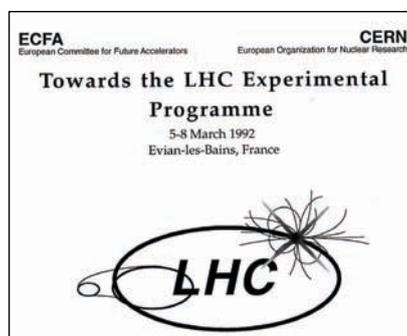
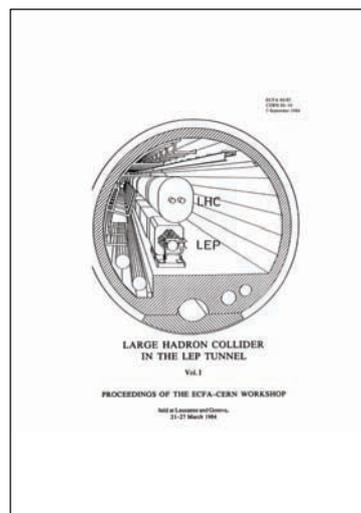
Durante a conferência de  vian foram discutidas 12 ideias de experiências para o LHC, cobrindo desde a física dos quarks pesados até as colisões entre iões de chumbo, passando por experiências de âmbito geral. Antes do final desse ano foram apresentadas ao CERN as primeiras propostas formais. Entre 1992 e 1995 as várias propostas fundiram-se nas atuais quatro experiências principais do LHC: ATLAS e CMS, de âmbito geral que analisam colisões entre protões ou entre iões pesados para medir centenas de diferentes processos ou procurar novas partículas; ALICE é dedicada à observao de colisões de iões pesados, como o chumbo ou, apenas recentemente, o x non; LHCb é dedicada à medida de processos extremamente subtis que ocorrem em partículas pesadas, contendo quarks b, que podem explicar a predominância de matéria sobre a antimatéria no universo.

Portugal foi desde o início membro de duas destas experiências, ATLAS e CMS, e desde cedo esteve envolvido na investigao em física de partículas teórica diretamente relacionada com as experiências do LHC. As duas experiências, com o tamanho de prédios de 8 andares e milhares de toneladas, contam com centenas de detetores de partículas, cada um com a sua funo na observao das colisões produzidas pelo LHC, somando dezenas de milhões de canais de electrónica. E no entanto medem as trajetórias das partículas produzidas nas colisões com a precisão de centésimas de milímetro. Os grupos de investigao que colaboram em ATLAS e CMS, com membros de várias universidades portuguesas, estão reunidos no Laboratório de Instrumentao e Física Experimental de Partículas (LIP). Estiveram envolvidos no desenvolvimento e na construo de vários dos sistemas principais destes monstros de complexidade, desde a construo de detetores, aos sistemas electrónicos e ao processamento dos dados. Envolveram no seu

trabalho várias empresas nacionais, por exemplo na área da automação, da electrónica, e na construção de sistemas criogénicos. E continuam hoje a fazer medidas de física de partículas desde a descoberta e medida das propriedades do bosão de Higgs às colisões de iões e à física dos quarks pesados. Na área da física teórica, físicos de várias universidades dedicaram a sua energia aos mais variados temas, desde o estudo do mecanismo de Higgs até às forças nucleares fraca e forte, e às colisões de iões pesados.

Em particular, o bosão de Higgs tornou-se numa das principais prioridades do LHC. Passariam ainda 20 anos desde a conferência de Évian até o LHC produzir a descoberta do bosão de Higgs. Em 1975, a sua detecção parecia tão improvável que, num artigo que se tornou famoso, John Ellis, Mary Gaillard e Dimitri Nanopoulos desaconselhavam a construção de novas experiências para o procurar [3]. Ainda em 1991, Sheldon Glashow, prémio Nobel da física, descrevia o LHC como um investimento de enorme risco, que dificilmente funcionaria e poderia nunca dar frutos científicos, num artigo submetido à conferência EPS HEP [4]. Para detetar o bosão de Higgs foi necessária não só uma energia nunca antes atingida em aceleradores mas, além disso, uma enorme taxa de colisões: à energia do LHC, só uma colisão de protões em cerca de 10 000 000 000 produz um bosão de Higgs, e foi necessário produzir cerca de 800 mil bosões de Higgs para chegar à sua descoberta. Assim, o LHC produz dezenas de milhões de colisões por segundo. As equipas portuguesas do LIP estiveram envolvidas nesta descoberta, a mais significativa do LHC até hoje, e continuam envolvidas na medição das propriedades desta partícula ainda misteriosa.

Espera-se que o LHC continue a funcionar durante os próximos 20 anos, e estão planeados vários melhoramentos importantes que permitirão aumentar muito o seu desempenho. Sabemos hoje que o bosão de Higgs é real. Avançámos imenso na medida das suas propriedades e (ainda) não encontrámos nenhuma outra partícula semelhante. Não encontrámos (até agora) sinais de partículas supersimétricas, mas continuamos à procura delas. E à procura de muito mais, com a ajuda dos fantásticos instrumentos científicos que são o LHC e as suas experiências.



Referências

1. Página Web do "Symposium 25 Years of LHC Experimental Programme", CERN, 15 de dezembro de 2017: <https://indico.cern.ch/event/653848/>
2. Christopher Llewellyn Smith, "How the LHC came to be", Nature 444 28 (2007); Página Web do LIP: <https://www.lip.pt/>
3. "A Phenomenological Profile of the Higgs Boson", J.R. Ellis, M.K. Gaillard, D.V. Nanopoulos, Nucl. Phys. B, 106, 292 (1976). <https://inspirehep.net/record/100355?ln=pt>
4. "Physics focus and fiscal forces", S.L. Glashow, HUTP-91-A057; arXiv:hep-th/9111019v1, 8 Nov 1991. <http://inspirehep.net/record/319946?ln=pt>



Ricardo Gonçalo é investigador no Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP) e Professor Convidado na FCUL. Foi assistente de investigação no Imperial College, onde se doutorou, e depois no Royal Holloway College da Universidade de Londres. Desde a descoberta do bosão de Higgs, para a qual contribuiu na experiência ATLAS do CERN, a sua pesquisa incide principalmente no estudo das propriedades desta partícula.

Será que as Olimpíadas de Física podem contribuir para um melhor ensino experimental?

Filipa Oliveira, José António Paixão

CFisUC, Departamento de Física, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, R. Larga, 3004-516 Coimbra

filipa.oliveira@uc.pt

Resumo

Num extenso estudo realizado sobre as Olimpíadas de Física em Portugal, baseado em questionários aplicados nas várias fases da competição entre 2011 e 2015, aos quais responderam 2685 alunos e 584 professores, investigou-se o potencial das Olimpíadas de Física, não só para divulgação da Física e captação de jovens talentos para esta ciência, mas também para sinalizar problemas no ensino e na aprendizagem da Física, com foco na componente experimental.

Apresentam-se neste trabalho alguns resultados da análise das respostas a estes questionários, que apontam para algumas fragilidades no ensino experimental da Física nas escolas portuguesas.

1. Introdução

As competições de Ciência pré-universitárias são uma das estratégias de promoção da Ciência junto dos jovens [1]. Muitos países têm procurado atrair jovens para as áreas científicas de base, como a Física, e para as Engenharias, através das competições de ciência. Para além da divulgação da Ciência, mobilizando em larga escala a comunidade escolar, estas competições têm ainda o potencial de sinalizar os alunos mais talentosos em áreas científicas.

As mais antigas competições deste tipo são, provavelmente, as de problemas matemáticos para estudantes do Ensino Primário e Secundário, com grande tradição nalguns países. Desde 1885 que a Roménia organiza uma destas competições [2], país também fundador da primeira Olimpíada Internacional de Matemática que, em 1959, envolveu 7 países do antigo bloco de Leste. Esta competição serviu de inspiração aos físicos, tendo a primeira Olimpíada Internacional de Física (IPhO - *International Physics Olympiad*) decorrido na Polónia, em 1967. Contando na primeira edição com apenas 5 países e 15 estudantes, a IPhO foi crescendo em número de países e de participantes [3]. Nos últimos anos têm participado cerca de 90 países, com ampla cobertura geográfica, à exceção do continente africano (Fig. 1).

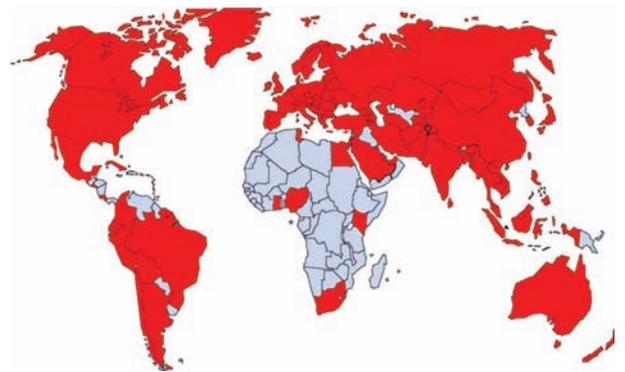


Fig. 1 - Mapa assinalando (a vermelho) todos os países envolvidos na IPhO. Fonte: Imagem da autoria de Fernando Nogueira.

Atualmente, existem mais de uma dezena de Olimpíadas Internacionais de Ciência para jovens (Química, Biologia, etc.) e Portugal participa em 8 dessas competições. A UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) apoiou a sua implementação e disseminação numa fase inicial. Outros organismos, como a EPS (*European Physical Society*) e a IUPAP (*International Union of Pure and Applied Physics*) reconhecem o valor destas iniciativas. Em 1991, a IUPAP atribuiu à IPhO a medalha de ouro da sua divisão de educação [3,4]. Para além da competição, a IPhO promove a cooperação internacional e a partilha de ideias, experiências e realidades nacionais relativas ao ensino da Física [5].

Cada país pode participar na IPhO com um máximo de 5 alunos pré-universitários (idade < 20 anos), e 2 professores *team-leaders*. Os estudantes realizam, individualmente, uma prova teórica e uma prova experimental [3,5], enquadradas num programa olímpico (*Syllabus*) [6]. Portugal participou como observador na IPhO em 1993, tendo competido a partir de 1994 [4,7]. A IPhO'2018 decorrerá em Lisboa, de 21 a 29 de julho, organizada pela Sociedade Portuguesa de Física (SPF). Para além da IPhO, Portugal também participa na

Olimpíada Ibero-americana de Física (OlBF). A primeira edição da OlBF decorreu em 1991, na Colômbia [8]. Atualmente participam na OlBF cerca de 20 países, representados por um máximo de 4 alunos e 2 professores. Tal como na IPhO, as provas (teórica e experimental) são realizadas individualmente pelos alunos.

As Olimpíadas de Física portuguesas são da responsabilidade da SPF, que iniciou esta competição em 1985 [9]. A Comissão Nacional das Olimpíadas de Física é responsável pela organização das Olimpíadas Regionais de Física (ORF), Olimpíadas Nacionais de Física (ONF), e ainda pela seleção e preparação dos alunos que representam Portugal na IPhO e na OlBF. Nas Olimpíadas Regionais e Nacionais os alunos competem em 2 escalões (A: alunos até ao 9º Ano de escolaridade, competindo em equipas com um máximo de 3 alunos; B: alunos até ao 11º Ano, que competem individualmente). Algumas escolas realizam ainda desde 2015 uma etapa escolar, para a seleção dos seus representantes em cada escalão na etapa regional. Para o efeito, a SPF disponibiliza, em cada ano, uma prova padrão que poderá ser usada nesta etapa [10].

O nível das provas da IPhO é muito elevado, bem acima do nível do Ensino Secundário da maioria dos países. Ainda assim, alguns assumem que a IPhO pode servir de padrão para aferir o ensino pré-universitário, e organismos oficiais monitorizam o desempenho e apoiam programas de treino específico com vista à melhor prestação das suas equipas [11]. Quando o *Syllabus* olímpico está muito distante dos programas nacionais, há uma tendência crescente para implementar escolas de talentos nacionais, ligadas à preparação das equipas olímpicas, mas que podem servir uma comunidade mais alargada de alunos [12,13]. Em Portugal, esta preparação é realizada no âmbito do *Quark!*-Escola de Física para jovens da Universidade de Coimbra [14]. O potencial das Olimpíadas não se esgota, porém, nesta estreita faixa de alunos de excelência, já que as competições nacionais organizadas “em pirâmide”, procuram motivar, estimular e desenvolver a aprendizagem envolvendo não só os bons alunos, mas a restante população escolar [15-19]. Para além destas finalidades, as Olimpíadas também podem servir para diagnosticar problemas no ensino [17], inspirar abordagens didáticas inovadoras e a introdução de novos tópicos no Ensino Secundário.

2. Problemática de investigação

As atividades experimentais das Olimpíadas de Física exigem aos alunos boas capacidades de compreensão e interpretação do enunciado, um conjunto estruturado de conhecimentos científicos, destreza manual para montar as experiências individualmente (sem qualquer tipo de ajuda), autonomia para recolher os dados e registá-los corretamente numa tabela com as respetivas unidades e as suas incertezas.

Deverão, ainda, saber apresentar os dados em gráficos em papel milimétrico (com escalas e unidades) e analisá-los. Para a análise e o tratamento de dados, podem recorrer apenas à calculadora científica [5]. As provas experimentais olímpicas podem não explicitar detalhadamente todos os passos da execução e estratégia de recolha de dados, que fica a cargo do estudante. Em contraste, nas atividades experimentais realizadas na escola o professor faz um enquadramento teórico prévio, muitas vezes recorrendo a um conjunto de questões pré-laboratoriais para preparação da atividade. Os protocolos dos manuais escolares detalham os procedimentos, as atividades são realizadas em grupo e o tratamento de dados é feito, habitualmente, recorrendo à calculadora gráfica [20].

O desempenho dos alunos portugueses tem evoluído ao longo dos 23 anos de participação na IPhO. Nos anos mais recentes, têm mostrado mais dificuldades na prova experimental do que na teórica e as suas prestações denunciam falta de algumas competências experimentais. Mas nem sempre foi assim. Na primeira década de participação na IPhO, havia um desempenho superior na prova experimental, comparativamente à teórica. Pode-se verificar, grosso modo, que o desempenho na prova teórica foi melhorando ao longo dos anos, mas houve alguma regressão na prestação experimental [21]. Se esta situação resulta de um *deficit* de realização de atividades experimentais no ensino da Física em Portugal, ou da tipologia das atividades realizadas, deve ser motivo de estudo.

3. Estudo Empírico

3.1. Objetivo e metodologia

Para investigar este problema, realizou-se o presente trabalho sobre as Olimpíadas de Física, baseado num questionário promovido em parceria com a SPF, que é o primeiro estudo [22] alargado realizado em Portugal sobre esta competição. Procurou-se caracterizar a competição e os seus intervenientes, alunos e docentes, inquirir sobre o seu potencial para motivar alunos para a Física, bem como para diagnosticar problemas e procurar desenvolver soluções para melhorar o ensino desta disciplina [11,19]. Neste aspeto, a nossa atenção centrou-se na componente experimental.

No estudo foram aplicados 7 questionários¹ às populações olímpicas: 1) alunos da ORF; 2) professores da ORF; 3) alunos da ONF; 4-5) alunos da IPhO (antes e depois da competição); 6-7) alunos da OlBF (antes e depois da competição). Os questionários cobrem vários tópicos, sendo que neste artigo o nosso foco recai sobre algumas questões relativas à componente experimental. Antes da sua aplicação, os questionários foram validados pela Comissão Nacional das Olimpíadas de Física e testados numa pequena amostra de professores e alunos.

3.2. Caracterização das amostras

Os questionários foram aplicados aos professores e alunos participantes nas várias etapas das Olimpíadas de Física, entre 2011 e 2015. A Tab. 1 apresenta a caracterização das

¹ Os questionários podem ser consultados em <http://algol.fis.uc.pt/spf/questionarios.pdf>.

amostras dos alunos que participaram nas várias fases da competição, no que diz respeito a idade, género e escalão olímpico, já a Tab. 2 caracteriza a amostra dos professores, relativamente à idade e a formação académica.

3.3. Alguns resultados dos questionários

	Fase Regional	Fase Nacional	Fase IPhO	Fase OIBF
Nº sujeitos	n = 2376	n = 273	n = 20	n = 16
Idade	13 anos 0,55%	13 anos 0,7%		
	14 anos 34,14%	14 anos 25,3%		
	15 anos 21,12%	15 anos 21,6%	17 anos 40%	17 anos 44%
	16 anos 27,67%	16 anos 26,4%	18 anos 60%	18 anos 56%
	17 anos 15,46%	17 anos 24,5%		
	18 anos 0,93%	18 anos 1,5%		
	19 anos 0,13%			
Género	M - 58%	M - 70%	M - 95%	M - 87%
	F - 42%	F - 30%	F - 5%	F - 13%
Escalão olímpico	A - 56%	A - 47%	B - 100%	B - 100%
	B - 44%	B - 53%		

Tab. 1 - Caracterização das amostras dos alunos que responderam ao questionário das Olimpíadas de Física nas fases ORF, ONF, IPhO/OIBF.

Professores das Olimpíadas Regionais de Física	
Nº sujeitos	n = 584
Idade	Média 43 anos
Escalões dos alunos que acompanham	A - 48%
	B - 39%
Formação base na Universidade	A e B - 13%
	Ensino de Física e Química - 34,4%
	Eng. Química - 20,0%
	Química - 13,4%
	Física para o ensino - 13,0%
	Química para o ensino - 12,6%
	Física - 2,7%
	Bioquímica - 1,7%
	Ciências Farmacêuticas - 0,6%
	Eng. Física - 0,6%
	Química Industrial - 0,6%
	Matemática - 0,2%
	Ensino de Biologia e Geologia - 0,2%
Para além da licenciatura, tem outro grau académico ou alguma especialização	Outra Licenciatura - 12%
	Mestrado - 62%
	Doutoramento - 4%
	Pós Doutoramento - 0%
	Especialização - 22%
	Outro - 0%

Tab. 2 - Caracterização da amostra dos professores que responderam ao questionário das Olimpíadas Regionais de Física de 2011 a 2015.

Todos os professores inquiridos declararam realizar atividades experimentais nas suas aulas, sendo que a maioria deles as realiza com periodicidade quinzenal (43%) ou mensal (25%). Menos de um quarto dos professores (21%) declarou realizar atividades semanalmente. Inquiridos sobre os principais motivos que impedem a realização, ou o incremento da frequência, das aulas experimentais, mais de metade dos professores referiu a falta de tempo. A segunda causa mais assinalada foi

a falta de material, mas apenas 8% referiu como impedimento a inexistência de um laboratório na escola. A existência generalizada de laboratórios escolares, refletirá o investimento que tem sido feito nos últimos anos com o programa "Parque Escolar" [23] (Fig.2).

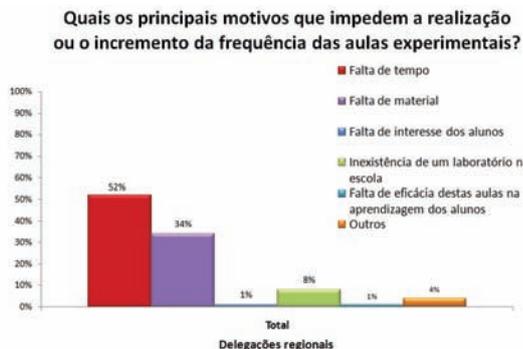


Fig. 2 - Motivos que impedem a realização ou incremento da frequência de aulas experimentais.

Quando questionados sobre a importância do ensino experimental, a esmagadora maioria (99%) dos professores da ORF considerou-o uma mais-valia para a aprendizagem. Quanto ao nível de interesse demonstrado pelos seus alunos nas atividades experimentais, 68% dos professores classificou-o de "Bastante" e 25% de "Imenso".

Relativamente à organização das aulas experimentais, a maioria dos professores divide a turma em grupos de 3 ou mais alunos (Fig.3), raramente (4%) os alunos realizam experiências em pares e nunca individualmente. É ainda de salientar que 7% dos professores faziam só aulas demonstrativas, e 13% realizavam eles próprios as experiências, delegando nos alunos apenas o tratamento e análise dos dados.



Fig. 3 - Organização das aulas experimentais.

Pronunciando-se sobre a forma como gostariam que decorressem as aulas da disciplina de Ciências Físico-Químicas, a maioria dos alunos² (57%) gostaria de aulas teóricas intercaladas com componente experimental, realizando eles as próprias experiências, enquanto que 37% prefere incluir também demonstrações realizadas pelo professor, em complemento

² Escalões A e B das ORF.

à realização das atividades experimentais. Apenas 1% dos alunos inquiridos indicou que preferia aulas exclusivamente teóricas, e 5% aulas teóricas intercaladas com demonstrações realizadas pelo professor, sem experimentação a cargo dos alunos. Estes resultados (de 2011-2015) devem ser comparados com a análise de um artigo recente baseado em inquéritos aos alunos da ORF (região Sul e Ilhas) de 2017 [24], onde a maioria dos 126 alunos inquiridos acha a carga horária laboratorial insuficiente, mas os que declararam a intenção de seguir cursos de Física no 12º Ano e na Universidade referem um excesso de carga horária das aulas laboratoriais no Ensino Secundário.

Relativamente à formação dos docentes em ensino experimental, 89% dos professores auscultados sente necessidade de formação específica nesta área e 87% considerou que não havia suficiente oferta formativa. Inquiridos sobre o número de ações de formação em ensino experimental frequentadas em cada ano letivo, constatou-se que 57% não frequentou nenhuma ação de formação e 43% frequentou entre 1 a 3 ações de formação.

Inquiridos sobre as temáticas em que os professores consideram encontrar mais dificuldades no ensino da componente experimental, sobressaem das respostas a Física Moderna (22%), o Eletromagnetismo (19%) e a Eletricidade/Eletrónica (17%). Em contraste, a Mecânica teve apenas 4% de escolha, o que não é surpreendente dado este ser o tema mais presente nos *Curricula*.

No que diz respeito à dificuldade das provas das Olimpíadas de Física, os professores acompanhantes dos alunos na ORF reconheceram, maioritariamente, o grau de dificuldade das provas experimentais. Na sua opinião, estas são difíceis (55%) ou mesmo muito difíceis (40%) para o aluno médio; já para os melhores alunos da turma, 65% dos professores considerou-as difíceis, mas 28% já as considerou fáceis, sendo que apenas 5% destes docentes as considerou muito difíceis para os melhores alunos (Fig.4).

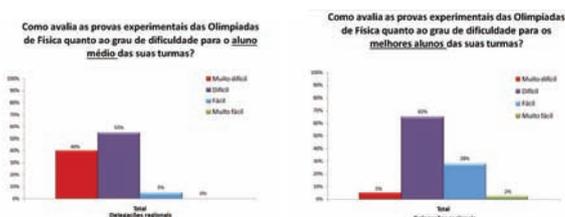


Fig. 4 - Avaliação dos professores sobre o grau de dificuldade das provas experimentais olímpicas.

Quanto à percepção dos alunos, os mais novos (escalão A) consideraram maioritariamente difíceis os problemas teóricos das ORF e ONF, mas as opiniões dividem-se relativamente à prova experimental.

Ainda que cerca de 30% dos alunos inquiridos considere esta componente fácil, mais de 60% dos alunos considera-a difícil ou muito difícil (Figura 5).

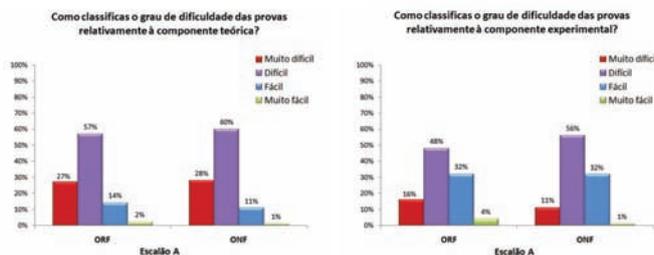


Fig. 5 - Resultados dos alunos do escalão A sobre o grau de dificuldade das provas nas ORF e ONF.

Os alunos do escalão B consideram maioritariamente difícil a componente experimental das provas, sendo o seu grau de dificuldade comparável ao da componente teórica (Figura 6).

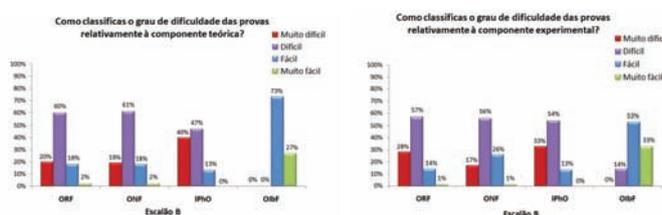


Fig. 6 - Resultados dos alunos do escalão B sobre o grau de dificuldade das provas nas ORF, ONF, IPhO/OIbF.

As Olimpíadas de Física organizam-se por etapas, iniciando-se na fase de Escola (quando existe), seguindo-se a ORF, a ONF, a IPhO/OIbF. Há, naturalmente, uma gradação na dificuldade à medida que os alunos progredem de uma fase para a seguinte. É suposto que, da primeira à última fase, as provas permitam selecionar os alunos mais talentosos do seu grupo competitivo, mas que sejam, ainda assim, acessíveis ao aluno médio/bom do seu grupo. Atendendo à natureza seletiva intrínseca à competição, é natural que os problemas destas provas sejam mais difíceis do que os habitualmente trabalhados pelos alunos na escola, mas uma parte desta dificuldade reside no fato de o tipo de problemas colocado diferir, sobretudo nos escalões mais elevados, daquele a que os alunos estão habituados a resolver.

A percepção dos alunos relativamente ao aumento da dificuldade da prova à medida que se progride nas etapas é, consequentemente, natural. O caso da OIbF é uma exceção, já que a maioria dos inquiridos, que participaram na competição, considerou as provas "fáceis". Esta exceção, tem uma justificação. Os alunos portugueses que competem na IPhO e na OIbF têm treino semelhante, mas as provas da OIbF são mais simples do que as da IPhO.

A maior descontinuidade no grau de dificuldade dá-se, sem dúvida, na passagem da ONF para a IPhO. Contudo, os resultados dos inquéritos não traduzem esta realidade, porque os alunos vão sendo triados à medida que progredem na competição, e vão sendo preparados para as fases seguintes. O

próprio referencial de comparação dos alunos vai mudando ao longo do seu percurso. Certamente, os alunos da seleção Internacional Olímpica (IPhO) não responderam à questão tendo como referência o conhecimento médio dos seus colegas do Ensino Secundário, até porque foram sujeitos a uma prova de seleção muito exigente.

A dificuldade na compreensão do enunciado da prova experimental (saber o que fazer) foi o aspeto mais referido pelos alunos do escalão A, a que acresce a dificuldade na utilização dos equipamentos no escalão B (Figuras 7 e 8).

Quais os aspetos que consideras mais difíceis na componente experimental?

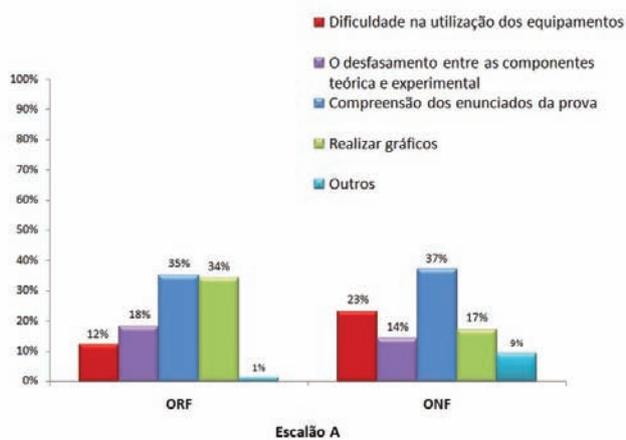


Fig. 7 - Resultados dos alunos do escalão A sobre os aspetos mais difíceis na componente experimental das provas olímpicas.

Quais os aspetos que consideras mais difíceis na componente experimental?

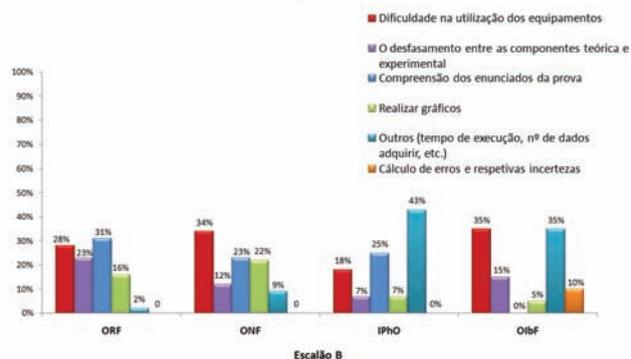


Fig. 8 - Resultados dos alunos do escalão B sobre os aspetos mais difíceis na componente experimental das provas olímpicas.

Em geral, os manuais apresentam problemas teóricos e experimentais com textos mais dirigidos, por isso os alunos não estarão habituados ao tipo de enunciado “olímpico”.

É também interessante analisar como a participação nas Olimpíadas de Física permite difundir o conhecimento e fomentar a criatividade no espaço escolar, já que as provas têm um estilo diferente das escolares, ainda que recorrendo a materiais simples [25]. Quase todos os professores (94%) reconheceram esta valência nas Olimpíadas, o que é gratificante (Fig.9).

Considera que a participação nesta competição difunde o conhecimento e fomenta a criatividade na aplicação de novas ideias no seu espaço letivo?

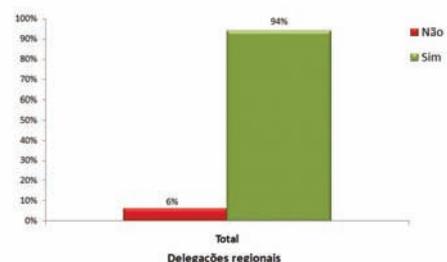


Fig. 9 - Opinião dos professores sobre os efeitos da competição no espaço letivo.

O potencial das Olimpíadas de Física para aumentar o interesse pela Física mostra também nos participantes resultados bastante satisfatórios (Figura 10).

O facto de teres participado nas Olimpíadas de Física, aumentou o teu interesse pela Física?

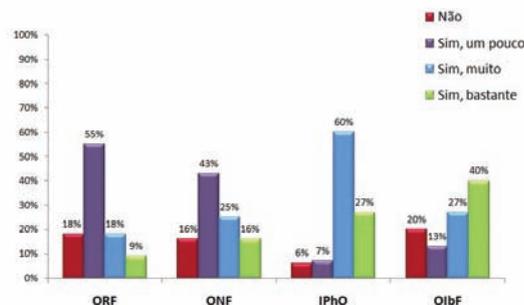


Fig. 10 - Resultado das respostas dos alunos sobre o aumento do interesse pela Física após a participação nas Olimpíadas.

4. Conclusões

A presente investigação assume-se como um primeiro olhar para os problemas no ensino da Física, visto através de uma população especialmente interessada e motivada - os professores e alunos que participam nas Olimpíadas de Física.

Os participantes inquiridos valorizaram as aulas experimentais e reconheceram-lhes vantagens para o processo ensino-aprendizagem. Algumas dificuldades identificadas pelos professores na prática do ensino experimental, sobretudo as faltas de tempo, material e de formação contínua adequada, são corroboradas por outros estudos [26-30], e são problemas crónicos do ensino das Ciências em Portugal.

As provas olímpicas exigem que os alunos tenham um leque diversificado de competências conceptuais e operacionais. Possivelmente as segundas estão pouco desenvolvidas porque as atividades experimentais nas escolas são realizadas sempre em grupo (sem garantia que todos os alunos coloquem as “mãos-na-massa”), com guiões detalhados, contando com a ajuda dos professores. O modelo de atividade experimental

olímpica faz uso de materiais simples e de baixo custo, e as temáticas estão enquadradas nos programas da disciplina de Ciências Físico-Químicas [10]. Mas, no escalão B, as atividades experimentais são realizadas individualmente e os procedimentos a realizar não são, por vezes, apresentados de forma explícita, obrigando o aluno a tomar decisões quanto à estratégia de recolha e análise dos dados. Esta será uma das razões pelas quais os alunos e os professores auscultados avaliaram as provas experimentais como difíceis ou muito difíceis.

Para alcançar o patamar Olímpico Internacional os alunos têm de superar várias provas e os nossos representantes na IPhO e na OlbF mostram, em geral, um percurso escolar ímpar com classificações muito elevadas no Ensino Secundário. Se estes bons alunos apresentam dificuldades na componente experimental, será de supor que o problema afetará também, possivelmente em maior medida, os restantes alunos da comunidade escolar. Neste sentido, as Olimpíadas de Física podem contribuir para identificar problemas e assim ajudar a melhorar o ensino experimental nas escolas portuguesas.

Referências

1. Competição de Ciência - Intel STS (<https://student.societyforscience.org/regeneron-sts>)
2. V. Berinde, "Romania: the Native Country of International Mathematics Olympiads: a Brief History of Romanian Mathematical Society", Baia Mare (2004)
3. W. Gorzkowski, "International Physics Competitions: International Physics Olympiads and First Step to Nobel Prize in Physics", Warszawa (1999)
4. M. Fiolhais, "A XXIV Olimpíada Internacional da Física", *Gazeta de Física* Nº1, Volume 17, p.20 (1994)
5. International Physics Olympiads, "Statutes" (<http://www.ipho.org/statutes.html>)
6. International Physics Olympiads, "Syllabus" (<http://www.ipho.org/syllabus.html>)
7. Sociedade Portuguesa da Física, "Relatório do Conselho Diretivo da SPF - Triénio 1990-1992", *Gazeta de Física* Nº1, Volume 16 (1993)
8. Olimpíadas Ibero-americanas, "Estatutos" (<http://olimpiadas.spf.pt/oibf2006/estatutos.shtml>)
9. Sociedade Portuguesa da Física, "Noticiário SPF - Olimpíadas de Física", *Gazeta de Física* Nº3, Volume 8, p.118 (1985)
10. Olimpíadas Portuguesas de Física - regulamento (<http://olimpiadas.spf.pt/regulamento.html>)
11. E.F. Redish, J.M. Saul e R.N. Steinberg, "Student expectations in introductory physics", *American Association of Physics Teachers* Nº3, Volume 66, p.212 (1998)
12. Escola na Roménia (site em romeno) (<http://liceu.ichb.ro/>)
13. Escola no Canadá "POPTOR" (<https://www.physics.utoronto.ca/physics-at-uoft/outreach/physics-olympiad-training-in-toronto-poptor-february-2016/physics-olympiad-training-in-toronto-poptor/?searchterm=POPTOR>)
14. Escola *Quark!* - Escola de Física para jovens (<http://quark.fis.uc.pt/>)
15. R. O'Kennedy, M. Burke, P. Kampen, P. James, M. Cotter, W. Browne, C. O'Fagain e E. McGlynn, "The First EU Science Olympiad (EUSO): a model for science education", *Journal of Biological Education* Nº2, Volume 39, p.58 (2005)
16. Z. Rajkovits e L. Markovich, "The influence of international competitions on the everyday physics teaching", *Physics Competitions* Nº1, Volume 6, p.64 (2004)
17. H. Jordens e L. Mathelitsch, "Physics competitions", *European Journal of Physics* Nº4, Volume 32, p.1 (2011)
18. G. Tibell "Student's skills developed by participation in International Physics Competitions" (<https://web.phys.ksu.edu/icpe/publications/teach2/Tibell.pdf>)

19. W. Gorzkowski, "International physics Olympiads (IPhO): Their history, structure and future", *Association of Asia Pacific Physical Societies - Bulletin* Nº3, Volume 17, p.2 (2007)
20. Programa de Física e Química dos 10º e 11º Anos (http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documetos_Disciplinas_novo/Curso_Ciencias_Tecnologias/Fisica_Quimica_A-programa_fqa_10_11.pdf)
21. F. Nogueira, "Uma participação (quase) brilhante na XV OlbF", *Gazeta de Física* Nº 3/4, Volume 33, p. 35 (2010)
22. F. Oliveira, Tese de Doutoramento "Olimpíadas de Física, o gosto pelo desafio. Um contributo para o ensino experimental da Física.", Universidade de Coimbra, Coimbra (2018)
23. Programa de Modernização do Parque Escolar Destinado ao Ensino Secundário (<https://www.parque-escolar.pt/pt/programa/objetivos.aspx>)
24. P. Mendes, "Será que a carga horária de Físico-Química influencia os estudantes no seu gosto pela Física?", *Gazeta de Física* Nº 2, Volume 40, p. 328 (2017)
25. Olimpíadas de Física (<https://olimpiadas.spf.pt/regionais/regionais.shtml>)
26. A. Cachapuz, I. Malaquias, I. P. Martins, F. Thomaz, N. Vasconcelos, "O trabalho experimental nas aulas de Física e Química: uma perspectiva nacional", *Gazeta de Física* Nº 2, Volume 12, p. 65 (1989)
27. A. Martins, I. Malaquias, A. Campo, D. Martins et al., "Livro Branco da Física e da Química - Diagnóstico 2000 - Recomendações 2002", Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa (2002)
28. C. Silva, Tese de Doutoramento "A investigação didáctica e o trabalho laboratorial: um estudo sobre as percepções e práticas de professores de Física de 10º ano de escolaridade", Universidade do Minho, Braga (2009)
29. A. Mota, Tese de Doutoramento "Ensaio prático do movimento Core Knowledge no ensino da Física em Portugal", Universidade do Porto, Porto (2011)
30. J. Rebuge, Tese de Mestrado "O Trabalho Experimental nas aulas de Física e Química: concepções e práticas dos professores nas Escolas Secundárias de São Miguel-Açores", Universidade dos Açores, Ponta Delgada, (2011)



Filipa Oliveira Licenciada em Física (ramo educacional), Mestre em Ensino da Física e da Química e doutorada em Ensino das Ciências, ramo de Ensino da Física pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Desde a finalização da licenciatura, em 2006, sempre trabalhou na área da Comunicação de Ciência.



José António Paixão Doutorado em Física da Matéria Condensada (1994), Professor Catedrático do Departamento de Física da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Vice-Presidente da SPF, Diretor do *Quark!*-Escola de Física para Jovens da UC e Coordenador da IPhO'2018.

Medir g numa queda livre: a experiência em sala de aula

Ana Tavares Sousa¹, Rui Agostinho²

¹ Escola Secundária Stuart Carvalhais - Agrupamento de Escolas de Massamá
anatsousa@hotmail.com

² Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
rui.agostinho@ciencias.ulisboa.pt

Resumo

Construiu-se uma montagem e desenvolveu-se um protocolo, para a determinação do valor da aceleração gravítica terrestre, a partir do aumento de velocidade de um corpo em queda livre vertical [1,2], que permite obter resultados consistentes, reproduzíveis e com uma ótima exatidão. Esta montagem soluciona os problemas dos erros experimentais habitualmente existentes nas montagens mais utilizadas. A montagem e o protocolo foram testados ao longo de dois anos letivos, com 10 turmas de 11º ano, do curso de Ciências e Tecnologias do Ensino Secundário, num total de 74 grupos de trabalho, envolvendo 252 alunos e 10 professores. Os alunos manusearam facilmente o equipamento e sensibilizaram-se para a necessidade de procedimentos preparatórios, de modo a minimizar os erros experimentais. A rapidez do procedimento experimental pelos alunos – alinhamentos da montagem e aquisição de dados – permitiu a recolha de uma quantidade de medições maior do que é usual em aulas experimentais. Tal aumentou a precisão e a exatidão do valor de g obtido e permitiu mais tempo para a discussão final do trabalho.

O valor médio obtido pelos grupos é $g = (9,835 \pm 0,005) \text{ m s}^{-2}$, com um desvio padrão $\sigma = 0,043 \text{ m s}^{-2}$, comprovando-se também a sua independência da massa.

Palavras-chave: queda livre, aceleração gravítica, montagem experimental de física, física laboratorial.

1 - Introdução

No trabalho aqui apresentado faz-se a determinação do valor da aceleração gravítica terrestre, g , a partir do aumento de velocidade na queda livre vertical [1,2], dum corpo e verifica-se que este valor é independente da massa. Esta é uma das atividades obrigatórias do currículo de Física e Química A, 11º ano [3].

Para a realização desta atividade muitas escolas usam montagens que desenvolvem ou são sugeridas nos manuais, obtendo-se em

geral resultados pouco satisfatórios [4,5,6,7,8,9]. Para obviar esta situação, construiu-se uma montagem e elaborou-se um protocolo (apresentado no final deste artigo), que é de fácil utilização em sala de aula e com o qual se conseguem resultados consistentes reproduzíveis e com uma melhor exatidão quando comparados com os outros métodos, largando-se a esfera apenas 11 vezes e sem rejeição de resultados, demorando-se em média 5 minutos.

Esta montagem e o protocolo foram utilizados por 10 professores em turmas de 11º ano do curso de Ciências e Tecnologias do Ensino Secundário. No ano letivo de 2016/17 foi usado em 5 turmas, num total de 40 grupos de trabalho envolvendo 131 alunos; no ano letivo de 2017/18 usou-se em 34 grupos num total de 121 alunos, de outras 5 turmas. No total o conjunto montagem e protocolo foi testado com 252 estudantes, em 74 grupos, ao longo de dois anos letivos.

Deixa-se aqui uma descrição do trabalho realizado, como ferramenta de partida para execução da atividade experimental (designada por Queda livre: força gravítica e aceleração da gravidade, no currículo já referido), que pode ser ajustada às condições e necessidades de cada escola.

2 - A montagem experimental

A montagem, figura 1, consiste na colocação de duas fotocélulas num suporte universal e de um eletroímã, alinhado verticalmente com as fotocélulas. Uma fonte de tensão DC variável controla o eletroímã, onde são colocadas as esferas de aço usadas como corpo em queda [1,2]. As fotocélulas são da PASCO e estão ligadas a uma interface Science Workshop 750, sendo a aquisição de dados feita com o programa DataStudio.

O eletroímã é um cilindro com um orifício no centro ao longo do eixo, que permite a passagem de um fio-de-prumo (para ajustar a verticalidade) e também a colocação correta da esfera na base inferior, de modo a minimizar desvios à verticalidade da trajetória, quando largada (figura 3 do protocolo).



Fig. 1 - Montagem para determinação do g a partir da queda vertical de uma esfera.

A fonte de tensão faz passar uma corrente elétrica na bobine ($\approx 0,45$ A), criando um campo magnético que segura a esfera. Desligando a fonte de tensão o campo magnético anula-se e a esfera cai.

Quando a esfera cruza cada feixe luminoso das fotocélulas o DataStudio regista o tempo de passagem em cada diâmetro D (t_D) e o instante de passagem em cada fotocélula t_{01} e t_{02} e (instante médio entre a esfera tocar o feixe luminoso e sair dele).

Calcula-se a velocidade média de passagem da esfera em cada feixe luminoso e a aceleração gravítica, pelas equações (1) e (2), respetivamente, em que $v_2 - v_1$ é a diferença de velocidades de passagem da esfera nas duas fotocélulas e Δt o tempo do percurso entre as duas fotocélulas ($\Delta t = t_{02} - t_{01}$).

$$v_i = \frac{D}{t_{Di}}; \quad i = 1 \text{ e } 2 \quad (1)$$

$$g = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \quad (2)$$

Note-se que a velocidade média considerada é numericamente igual à velocidade instantânea da esfera, no instante t_0 (definido acima). Tal demonstra-se a partir das leis do movimento. Pode-se assim usar a designação simples de “velocidade” para o valor obtido pela equação (1).

Os desalinhamentos tanto horizontais como verticais, produzem tempos de passagem pelo feixe que não correspondem ao diâmetro da esfera. Para ser medido o tempo de passagem t_D do diâmetro D da esfera, a trajetória desta tem de ser perpendicular ao feixe de luz e intercutá-lo em todo o seu diâmetro. A horizontalidade é verificada com um nível de bolha em cima das fotocélulas (figura 2 do protocolo). Se

tal não se verificar, o espaço percorrido pela esfera ao atravessar o feixe será maior do que o seu diâmetro D , medindo-se por isso um tempo de passagem t_D maior que o correto, o que conduz ao cálculo de um valor de velocidade por defeito a partir da equação 1, que usa sempre o valor D [2]. Para que o diâmetro da esfera intercete o feixe faz-se o alinhamento vertical. Se em vez do diâmetro da esfera passar apenas uma corda desta pelo feixe, os tempos de passagem registados são menores, obtendo-se valores de v por excesso [2].

3. A execução experimental e os resultados

Iniciou-se a aula explicando aos alunos o funcionamento da montagem, realçando as consequências dos desalinhamentos (verticalidade e horizontalidade) no valor final de g . A reação dos alunos, na execução do trabalho, mostrou que interiorizaram a importância de fazer os alinhamentos para minimizar os erros experimentais. Seguindo o protocolo, manusearam facilmente o equipamento, demorando cerca de 10 minutos a fazer os alinhamentos. O tempo de aquisição de dados, para largar a esfera 11 vezes, é em média de 5 minutos. Numa mesma aula, foram usadas esferas de três massas diferentes, mas cada grupo usou uma só esfera. No final analisaram-se os resultados obtidos por todos os grupos. Numa aula de 135 minutos e com uma só montagem disponível (caso da escola em questão), o curto tempo de execução da experiência, permite que quatro grupos realizem os alinhamentos e largadas de uma esfera, tratem os seus dados, elaborem um relatório do trabalho e se faça a discussão conjunta dos resultados para esferas com massas diferentes. A figura 2 exemplifica uma aquisição de dados. Salienta-se a boa reprodutibilidade nos tempos de passagem da esfera pelo feixe de luz. Tal foi observado em todos os ensaios em que os alunos seguiram o protocolo com cuidado, nos dois anos letivos em que o trabalho foi realizado.

ID1 Run #1		ID2 Run #1	
Tempo (s)	Tempo decorrido (s)	Tempo (s)	Tempo decorrido (s)
7,9904	0,0184	8,0538	0,0139
31,4090	0,0184	31,4722	0,0139
42,1972	0,0183	42,2605	0,0139
48,7878	0,0183	48,8512	0,0139
52,9383	0,0183	53,0016	0,0139
57,1735	0,0183	57,2389	0,0139
63,8595	0,0184	63,9227	0,0139
68,5419	0,0184	68,6052	0,0139
73,4865	0,0184	73,5498	0,0139
80,3400	0,0183	80,4034	0,0139
85,4835	0,0183	85,5269	0,0139
92,2044	0,0184	92,2877	0,0139
98,4941	0,0183	98,5575	0,0139
108,1433	0,0183	108,2085	0,0139
110,4887	0,0184	110,5521	0,0139
116,5504	0,0183	116,6136	0,0139
122,8212	0,0183	122,8844	0,0139
128,0618	0,0183	128,1250	0,0139
135,1137	0,0183	135,1789	0,0139

Fig. 2 - Imagem de um conjunto de aquisição de dados, no lançamento de uma esfera.

Apresentam-se nas tabelas 1 e 2 exemplos da aquisição de dados e do seu tratamento, obtidos por dois grupos de alunos, com diferentes níveis de cuidado nos procedimentos prévios de alinhamento e na colocação da esfera no orifício do eletroímã: grupo 1 e grupo 2. É fácil verificar que os

valores obtidos pelo grupo 1 correspondem a experiências em que os procedimentos prévios foram bem executados, enquanto que os registados pelo grupo 2 se referem a uma montagem mal alinhada ou em que a esfera não estava sempre centrada no eletroímã. As tabelas transcrevem as medições diretas, obtidas com o programa DataStudio: tempos de queda desde a largada da esfera até ao instante em que passa pelo feixe de luz da primeira fotocélula, t_{01} , e da segunda fotocélula, t_{02} ; o tempo de interrupção do feixe de luz da primeira fotocélula, t_{D1} , e da segunda, t_{D2} . Observem-se as diferenças de reprodutibilidade em cada grupo. Os alunos calcularam o tempo de queda da esfera entre as duas fotocélulas, Δt , as velocidades de passagens da esfera nas fotocélulas, v_1 e v_2 e o valor de g , pelas equações (1) e (2).

TABELA 1 – Valores experimentais obtidos pelo grupo 1 ($D = 34,94$ mm)

$t_{01} \pm 10^{-4}$ (s)	$t_{02} \pm 10^{-4}$ (s)	$t_{D1} \pm 10^{-4}$ (s)	$t_{D2} \pm 10^{-4}$ (s)	Δt (s)	v_1 (m s ⁻¹)	v_2 (m s ⁻¹)	g (m s ⁻²)
4,4435	0,0386	4,5888	0,0150	0,1453	0,9052	2,3293	9,8015
17,7253	0,0386	17,8705	0,0150	0,1452	0,9052	2,3293	9,8082
26,3240	0,0387	26,4693	0,0150	0,1453	0,9028	2,3293	9,8176
50,8349	0,0386	50,9802	0,0150	0,1453	0,9052	2,3293	9,8015
62,8435	0,0386	62,9887	0,0150	0,1452	0,9052	2,3293	9,8082
73,1265	0,0386	73,2718	0,0150	0,1453	0,9052	2,3293	9,8015
97,7833	0,0386	97,9285	0,0150	0,1452	0,9052	2,3293	9,8082
117,3028	0,0387	117,448	0,0150	0,1452	0,9028	2,3293	9,8243
129,9165	0,0386	130,0617	0,0150	0,1452	0,9052	2,3293	9,8082

TABELA 2 – Valores experimentais obtidos pelo grupo 2 ($D = 34,94$ mm)

$t_{01} \pm 10^{-4}$ (s)	$t_{02} \pm 10^{-4}$ (s)	$t_{D1} \pm 10^{-4}$ (s)	$t_{D2} \pm 10^{-4}$ (s)	Δt (s)	v_1 (m s ⁻¹)	v_2 (m s ⁻¹)	g (m s ⁻²)
2,4944	0,0394	2,6597	0,0139	0,1653	0,8868	2,5137	9,8419
20,7439	0,0382	20,9093	0,0136	0,1654	0,9147	2,5691	10,003
31,5763	0,0392	31,7417	0,0138	0,1654	0,8913	2,5319	9,9187
41,0894	0,0394	41,2547	0,0139	0,1653	0,8868	2,5137	9,8419
48,9117	0,0394	49,0771	0,0138	0,1654	0,8868	2,5319	9,9461
57,2862	0,0382	57,4515	0,0135	0,1653	0,9147	2,5881	10,124
64,6055	0,0394	64,7709	0,0138	0,1654	0,8868	2,5319	9,9461
73,2950	0,0394	73,4605	0,0139	0,1655	0,8868	2,5137	9,8300
83,1216	0,0385	83,2869	0,0137	0,1653	0,9075	2,5504	9,9385
93,0992	0,0387	93,2647	0,0137	0,1655	0,9028	2,5504	9,9549
102,0287	0,0394	102,1942	0,0139	0,1655	0,8868	2,5137	9,8300

Nota: as tabelas contêm os valores obtidos diretamente na folha do DataStudio e no Excel foram arredondados ao número de algarismos significativos mais um

4. Análise dos resultados

Na figura 3 apresenta-se a distribuição dos valores médios de g obtidos por 67 grupos de alunos, nos dois anos letivos. A falta de sete resultados deve-se ao lapso de não terem sido gravados os ficheiros finais. Os intervalos inscritos na figura são abertos à esquerda e fechados à direita. Cada valor de g é uma média de 11 largadas com a mesma esfera, exceto pouquíssimos casos com 9 largadas. Foram usadas esferas de três diâmetros e massas diferentes. Verifica-se que há uma pequena tendência para o valor de g ser obtido por excesso sendo o valor médio dos 67 ensaios $g = (9,835 \pm 0,005) \text{ m s}^{-2}$.

Na Tabela 3 apresentam-se os valores médios de g obtidos para cada massa e a respetiva incerteza do valor médio ($\sigma_g = \sigma/\sqrt{N}$), no conjunto dos dois anos letivos. Esta análise mostra que se obtiveram melhores resultados com a esfera

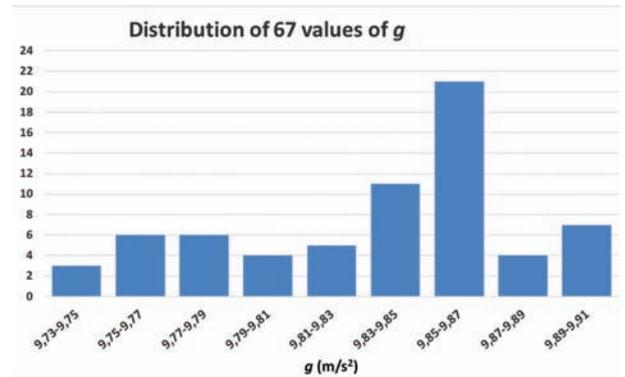


Fig. 3 - Histograma dos valores médios de g obtidos nos dois anos letivos.

de 25 mm de diâmetro, a de menor massa.

Nesta experiência há dois efeitos a considerar e que são devidos ao ar: a impulsão, que resulta numa diminuição da aceleração em $g \frac{\rho_{ar}}{\rho_{aço}} = 0,0015 \text{ m s}^{-2}$, e a aceleração da resistência aerodinâmica que aumenta durante a queda, dada por $\frac{3}{4} C \frac{\rho_{ar} v^2}{\rho_{aço} D}$ [2]. O coeficiente de arrasto é $C \approx 0,5$ para uma esfera a baixa velocidade (número de Reynolds $\leq 10^5$). Para a esfera de aço de 25 mm de diâmetro e para as alturas de queda utilizadas (≤ 30 cm) a contribuição destes dois efeitos resulta numa aceleração média de $9,792 \text{ m s}^{-2}$ durante o movimento, valor que se desvia apenas de $1 \sigma_g$ (incerteza da média) do valor $9,782$ obtido (Tabela 3). Este pequeno erro (0,1%) representa um resultado experimental que consideramos muito bom, em sala de aula.

TABELA 3 – Valores médios da aceleração em função da massa

$D \pm 0,02$ (mm)	$m \pm 0,01$ (g)	N (valores)	\bar{g} (m s ⁻²)	σ_g (m s ⁻²)
25,12	67,13	21	9,782	0,010
29,98	110,20	21	9,867	0,010
34,94	174,90	25	9,852	0,009

Para a esfera de aço de 34,94 mm de diâmetro nesta montagem o valor médio da aceleração real do movimento é de $9,794 \text{ m s}^{-2}$, valor que corresponde a um desvio de $1,3 \sigma$ (incerteza numa medição) em relação aos 9,852 aqui obtidos (Tabela 3). Este erro de $+0,058 \text{ m s}^{-2}$ (0,6%) pode estar relacionado com a amplitude de vibração da haste que suporta o eletroímã e as fotocélulas: a vibração que ocorre quando a esfera se desprende do eletroímã origina um ligeiro desalinhamento na verticalidade. Isto produz tempos menores na interrupção do feixe das fotocélulas (t_D), calculando-se velocidades maiores pela equação 1. Como a célula inferior é mais sensível a este problema obtêm-se valores de g por excesso [1,2]. Esta amplitude será menor para a esfera de menor massa. Uma forma de minimizar

este problema é encurtar a haste, o que será feito futuramente.

5. Conclusão

A montagem e o protocolo testados permitem uma fácil e rápida aquisição de dados para o cálculo de g , com uma grande reprodutibilidade (observar colunas de t_{D1} e t_{D2} na Tabela 1 e figura 2).

Esta montagem permite ao professor avaliar a qualidade do desempenho dos alunos no manuseamento dos materiais apenas a partir dos valores experimentais obtidos; numa largada com a esfera mal colocada no eletroímã ou com uma fotocélula não horizontal, observam-se tempos de passagem t_{D1} e t_{D2} diferentes dos restantes do conjunto (Tabela 2).

A atividade motivou os alunos para o trabalho experimental e de investigação. Os resultados das avaliações sobre a atividade experimental foram bons; em trabalhos posteriores os alunos evidenciaram preocupação em garantir as condições requeridas para a medição das grandezas com um mínimo de erro (pedindo nível de bolha, transferidor, esquadro, quando estes materiais eram necessários, mas não eram fornecidos). O nível da discussão de resultados em geral e da resolução de questões sobre queda livre em particular, também melhorou.

Este trabalho permitiu ainda consolidar nos alunos conceitos e práticas fundamentais no trabalho experimental, tais como, planificar quais as grandezas que se devem medir e em que condições, qual a sensibilidade e o alcance dos instrumentos de medição, que erros sistemáticos e aleatórios ocorrem, qual a incerteza associada às medições e qual o número de algarismos significativos da medição, como fazer o tratamento estatístico dos resultados (cálculo do valor mais provável da grandeza medida, da incerteza absoluta, do erro percentual).

É ainda de realçar que esta montagem pode ser transportada facilmente e praticamente não necessita de manutenção; uma vez feitos os alinhamentos, estes mantêm-se.

Em sùmula, a montagem e o protocolo apresentados permitem alcançar os objetivos protagonizados no currículo de Física e Química A, do Ensino Secundário, contribuindo para o desenvolvimento das competências dos alunos e motivando-os para o trabalho experimental.

Agradecimentos

Agradecemos aos alunos das turmas 11° A, B, C, D e E, 2016/17 e A, B, C, E e F, 2017/18, do curso de Ciências e Tecnologias, da Escola Secundária Stuart Carvalhais e às respetivas professoras, Palmira Ribeiro, Celina Tavares, Maria Manuel Rocha, Lurdes Vaz, José Manuel Coreia, Isabel Trigueiros, Maria José Faria, Luísa Barbosa, Olga Frois, pela realização desta atividade. A autora foi a professora do 11° C, 2017/18.

Referências

1. Agostinho, Rui e Sousa, T. Ana, *Como medir sempre $9,81 \pm 0,05 \text{ m/s}^2$ na queda duma esfera*, 26º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, 20º Conferência Nacional de Física, Braga, Univ. Minho, 2016 https://www.researchgate.net/publication/320331546_Medir_975g990ms2_numa_Queda_Livre_em_Sala_de_Aula
2. Agostinho, Rui, Sousa, Ana Tavares, *Medir $g = 9,83 \pm 0,02 \text{ m/s}^2$ na queda de uma esfera*, *Gazeta de Física*, 40 nº2, 23-27, 2017
3. Fiolhais, Carlos et al, Programa de Física e Química A, 10º e 11º anos - Componente de Física, Lisboa, Ministério da Educação e Ciência, 2014
4. Maciel, Noémia et al, *Eu e a Física 11*, Porto Editora, 2016
5. Caldeira Helena et al, *Há Física entre nós, 11º ano*, Porto Editora, 2016
6. Correia, Maria do Rosário, et al, *+ Física 11*, Santillana, 2016
7. Ventura, Graça et al, *11F*, Texto editora, 2016
8. Oliveira, Agostinho, et al, *Física 11*, Raiz editora, 2016
9. Rodrigues, Carla, et al, *Física 11*, Areal editores, 2016

Protocolo

Física e Química A – 11º ano, Física, Unidade 1
AL 1.1 Queda livre

Esta atividade vai ser realizada com a montagem ilustrada na figura 1.

Tem como objetivo determinar o valor da aceleração gravítica terrestre e verificar se esta depende ou não da massa do corpo em queda.

São usadas esferas de massas e diâmetros diferentes que caem verticalmente por ação do seu peso.

$m \pm 0,01 \text{ g}$	67,13	110,20	174,90
$D \pm 0,02 \text{ mm}$	25,12	29,98	34,94



Fig. 1 - Montagem experimental

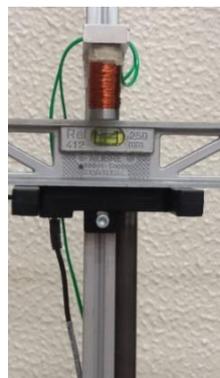


Fig. 2a)



Fig. 2b)

Procedimento

1. Ligar a célula fotoelétrica superior ao canal 1 e a célula fotoelétrica inferior ao canal 2 da interface.
2. Alinhamento horizontal:
 - coloque o nível de bolha por cima de cada célula fotoelétrica e ajuste a sua posição (movendo ligeiramente a célula fotoelétrica com a mão) de modo a que fique horizontal. (figura 2).
3. Alinhamento vertical:
 - coloque o fio-de-prumo fazendo-o passar pelo orifício do eletroímã (ver figura 3 a) e b));

- com o nível de bolha verifique a horizontalidade do suporte do eletroímã (figura 3a));
- deixe o fio-de-prumo parar; deve ver o reflexo dos LEDs indicativos da interrupção do feixe de luz no papel atrás das células fotoelétricas. Se tal não acontecer ajuste a horizontalidade do suporte do eletroímã, movendo-o ligeiramente com a mão.

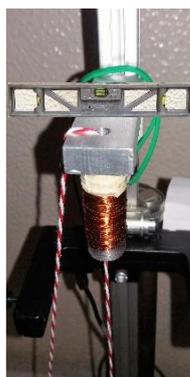


Fig. 3a)



Fig. 3b)

4. Inicie no programa DataStudio o experimento “queda livre” ou utilize o atalho existente na pasta “queda da esfera” e abra o ficheiro “queda da esfera branco”. (ver figura 4)

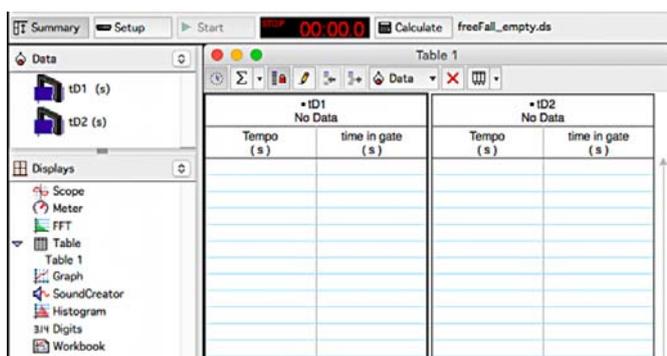


Fig. 4 - ficheiro em branco “queda livre”

5. Ligue a fonte de tensão:
 - a) Coloque o botão de corrente em 0 A e o de tensão no máximo;
 - b) Ligue a fonte de tensão no interruptor;
 - c) Aumente a corrente até $I=0,5$ A (a tensão ficará assim em $U \approx 4,5$ V).
6. Coloque a esfera por baixo no eletroímã; deve sentir a esfera prender-se ao orifício central deste. (Figura 5). Se tal não acontecer a esfera move-se para um dos lados e não cai alinhada com as fotocélulas, produzindo maus resultados.
7. Inicie a aquisição de dados no DataStudio (iniciar). Mantenha a aquisição ligada (NÃO FAÇA STOP)
8. Desligue o interruptor da fonte de tensão para a esfera cair.
9. Volte a ligar a fonte de tensão e a colocar a esfera no eletroímã, sem interromper o feixe de luz e volte a desligar o interruptor da fonte de tensão, para ela cair.
10. Repita o ponto 9 pelo menos 9 vezes, de modo a fazer no total 11 medições.



Fig. 5

11. Para terminar a aquisição de dados – faça stop no DataStudio.

NOTA: Os valores dos tempos registados pelo DataStudio devem ser semelhantes em todas as largadas da esfera.

Tratamento de resultados

1. Calcule o valor das velocidades de passagem da esfera pelas células fotoelétricas 1 e 2 (usando os valores registados nas colunas “time in gate” pelo DataStudio - t_D):

$$v = \frac{D}{t_D}$$

2. Calcule Δt , fazendo a diferença entre a 3ª e a 1ª coluna do registo do DataStudio (tempo passagem da esfera entre as duas células fotoelétricas).

3. Calcule g para cada lançamento:

$$g = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

e determine o valor mais provável de g .

4. Determine a percentagem de erro do valor de g obtido. Considere o valor de $9,80 \text{ m s}^{-2}$ para $g_{\text{referência}}$.

5. Compare o valor experimental de g obtido para esferas de massas diferentes e conclua se esta grandeza é ou não dependente da massa do corpo.



Ana Tavares Sousa é doutorada em Química pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, tendo feito investigação experimental na área da Química-Física, num grupo de Termodinâmica e Propriedades de Transporte. Há bastantes anos que leciona Física e Química A no

Ensino Secundário. Atualmente interessa-se pela didática da Física e da Química experimental e pela sua divulgação. Tem desenvolvido equipamento e protocolos experimentais para o ensino da Física e da Química de Ciência.



Rui Agostinho é doutorado em Astronomia e Astrofísica pela Universidade da Carolina do Norte em Chapel Hill, EUA, É Professor Auxiliar na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, onde se licenciou em Física. É investigador do Instituto de Astrofísica e Ci-

ências do Espaço na área da Astronomia Galáctica. Há muito tempo que leciona e desenvolve atividades ligadas com a didática e as metodologias de ensino da Física e Astrofísica.

A dualidade ciência-tecnologia

Carlos Herdeiro

Na segunda guerra mundial os britânicos aperfeiçoaram o desenvolvimento do radar para defenderem as suas ilhas da invasão Nazi. Consideráveis recursos foram usados para este propósito. Um dos homens envolvido foi Martin Ryle, à data de 1939 um jovem licenciado em física que tinha como hobby o rádio amadorismo. Depois da guerra, Ryle, agastado pelo desperdício a que o esforço bélico conduz, decidiu devotar-se inteiramente à ciência pura. A sua formação levou-o a desenvolver a área da rádio astronomia na Universidade de Cambridge, criando, nas décadas seguintes, um grupo de investigação com instrumentos e técnicas cada vez mais sofisticadas para observar o Universo na banda electromagnética do rádio. Curiosamente, nos primeiros anos do pós-guerra, em virtude dos poucos recursos disponíveis, o equipamento desenvolvido usou abundantemente os despojos de guerra tecnológicos trazidos da Alemanha Nazi, por exemplo cabo coaxial de excelente qualidade.

Um dos jovens que se juntou ao grupo de Ryle foi Anthony Hewish. Os esforços de Ryle e Hewish no desenvolvimento da rádio astronomia foram recompensados em 1967, quando, seguindo as instruções de Hewish para monitorizar o céu procurando fontes rádio, Jocelyn Bell Burnell descobriu o primeiro pulsar - termo cunhado em 1968, há precisamente 50 anos. Esta fonte rádio foi interpretada pouco tempo depois como uma estrela de neutrões em rotação. Como faróis cósmicos, pulsares emitem radiação electromagnética em direcções desalinhas com o seu eixo de rotação, observando-se um sinal periódico devido à rotação do pulsar. Por esta descoberta, Ryle e Hewish (mas não Burnell) foram galardoados com o Nobel da física em 1974.

Nesse mesmo ano, um sistema binário de duas estrelas de neutrões, em que uma é vista como pulsar, foi descoberto por Joseph Taylor e Russell Hulse usando as mesmas técnicas de rádio astronomia. A observação deste pulsar permitiu detectar o decaimento orbital do sistema binário: à medida que orbitam em torno uma da outra, as duas estrelas aproximam-se progressivamente (muito ligeiramente) uma da outra, tornando as órbitas mais curtas. Este efeito tinha sido previsto como uma consequência da teoria da relatividade geral, que prevê uma perda de energia do sistema binário por emissão de ondas gravitacionais. A sua observação encerrou de uma vez por todas a discussão sobre a realidade física destas ondas, previstas por Albert Einstein em 1916, mas alvo de controvérsia científica desde então. A descoberta de Hulse e Taylor foi premiada com o Nobel da física em 1993, precisamente por ter permitido novos testes (e confirmações) da teoria da relatividade geral. Mas

foi também fundamental para justificar a proposta de construir um ambicioso detetor para observar diretamente as ondas gravitacionais, cuja existência era inferida apenas indiretamente do decaimento orbital. Este detetor é o Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory (LIGO), cuja construção começou em 1994.

Foi amplamente noticiado em 2016, mais de quatro décadas após ter sido proposto e mais de duas décadas após o início da sua construção que as primeiras ondas gravitacionais foram detetadas em Setembro 2015, pelo LIGO, resultado da colisão de dois buracos negros (um evento denominado GW150914). O que talvez seja menos sabido, é que a tecnologia que foi desenvolvida para construir o LIGO, tem um considerável impacto na óptica, em particular nos lasers, na geodesia, na criogenia, na ciência de materiais, entre outras áreas científicas, e já impacta também na indústria, em aplicações como sonares e telemóveis.

Esta cadeia de eventos ilustra com autoridade o que poderemos denominar como a “dualidade” entre ciência e tecnologia. A ciência básica (electromagnetismo) está na base do radar, cujo aperfeiçoamento para um fim objetivo (a guerra) abriu as portas a instrumentos (rádio telescópios) que permitiram aprofundar o conhecimento de ciência básica (estrelas de neutrões, ondas gravitacionais), que por sua vez justifica a construção de novos instrumentos mais complexos e revolucionários (LIGO), que necessariamente impactam na tecnologia que usamos. Há um entrelaçamento entre a necessidade, quer de saber quer de fazer, e o engenho; juntos formam uma pedra basilar do progresso humano. Requerer que toda a ciência esteja à partida comprometida com aplicações é como cortar uma perna, na expectativa de correr mais depressa.



Parte do Cambridge “Interplanetary Scintillation Array”, onde foi detetado o primeiro pulsar.

O Golo de Ronaldo

Constança Providência

Material

- Copo cheio de água
- Bacia
- Duas folhas de papel e fita-cola
- 2-3 metros de linha de coser
- Duas cerejas com pé ou dois balões pendurados por um fio

O efeito de Magnus

Possivelmente observaste que o terceiro golo que o Ronaldo marcou no jogo do mundial contra Espanha foi um pouco estranho. A bola parecia enfeitçada. O que realmente se passou com a bola?

A física explica facilmente este efeito, e é frequente ser aplicado em jogos de bola como o futebol, o ténis, o ping pong ou o bilhar. Vamos realizar uma série de experiências que te vão ajudar a perceber como funciona o golo estranho. Para isso vais também descobrir algumas propriedades do ar, em particular, do ar em movimento.

O ar exerce uma força sobre todos os corpos em que toca. Para o confirmares faz esta experiência muito fácil. Em cima de uma bacia, enche um copo com água e cobre-o com um pedaço de papel maior que a boca do copo. Segura o papel sobre o copo com uma mão e, num movimento rápido, vira o copo com a boca para baixo. Continua a segurar o copo nesta posição mas retira a mão que segura o papel. O que se passa?

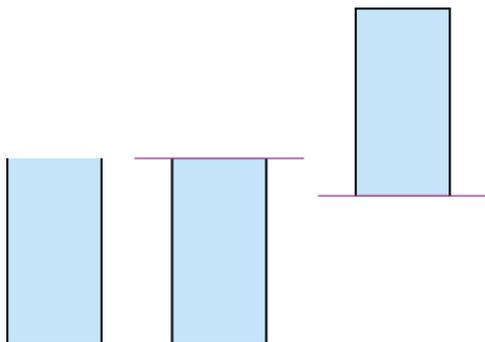


Fig. 1

A água não cai! O papel mantém-se agarrado à boca do copo e segura a água. É o ar que exerce uma força sobre a folha de papel e a impede de cair.

O físico suíço Daniel Bernoulli, que viveu no séc. XVIII, mostrou que quando um fluido está em movimento, pode ser um líquido como a água ou um gás como o ar, a força que exerce sobre os objetos depende da sua velocidade: quanto maior a velocidade do fluido, i.e. quanto mais depressa se desloca, menor a força que exerce. Podes confirmar este resultado fazendo a seguinte experiência: segura duas cerejas, ou duas bolas ou balões pendurados por um fio, um em cada mão, mantendo-os um ao lado do outro a uma distância de 2-3 cm, como indicado na Figura 2a). Sopra para o espaço entre ambos. O que acontece?

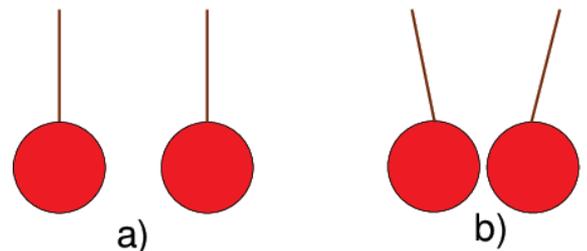


Fig. 2

As duas cerejas (bolas) aproximam-se! Poderíamos pensar que o sopro as iria separar mas enganámo-nos. Na verdade, quando soprarmos o ar que passa entre as cerejas move-se mais rapidamente do que o ar que está em contacto com o lado oposto das cerejas. Pelo princípio de Bernoulli o ar que passa entre as cerejas exerce uma força menor que o ar parado em contacto com o lado de fora das cerejas, e as cerejas são empurradas uma em direção à outra.

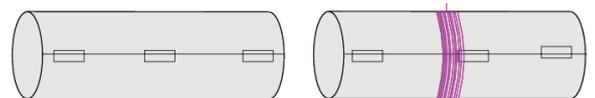


Fig. 3

Agora já vais perceber o golo do Ronaldo. Pega numa folha A4 e faz um rolo com cerca de 6 cm de diâmetro, enrolando pelo lado menor e colando com um pouco de fita-cola de modo que o rolo não se

desfaça (vê a Figura 3). Põe-te em cima de uma cadeira e larga o rolo: ele cai na vertical devido à força da gravidade, vê a Figura 4a).

Agora pega numa linha com cerca de três metros de comprimento e enrola-a em torno do centro do rolo, como na Figura 3. Põe-te novamente em cima de uma cadeira, e larga o rolo segurando pela ponta da linha. Será que desta vez o rolo também cai na vertical?

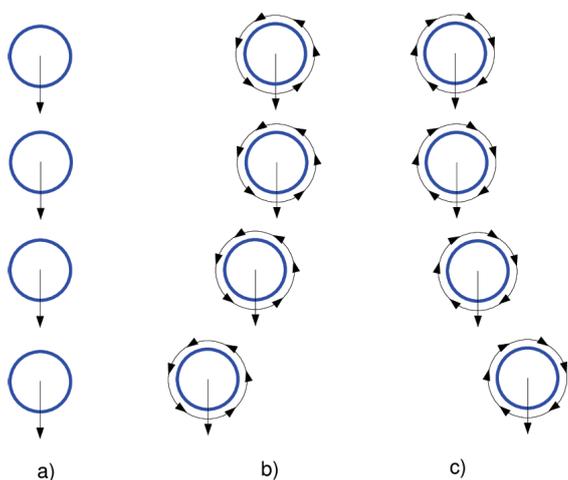


Fig. 4

Não! Desvia-se para o lado, tal como a bola que o Ronaldo chutou! Podes enrolar o fio no sentido contrário, e largar de novo: desta vez o rolo desvia-se para o lado oposto, conforme se mostra na Figura 4b) e 4c). Sim, o Ronaldo tem de saber bem em que sentido deve colocar a bola a girar para conseguir o efeito que quer! Consegues fazer o mesmo que o Ronaldo? Experimenta!

E como explicamos o efeito? O princípio de Bernoulli ajuda-nos. O rolo, ao mesmo tempo que cai, gira em torno de si próprio. Na Figura 4 representamos esse movimento de rotação por uma linha fina preta com setas a indicar o sentido do movimento. Se olhares para um dos rolos vês que a seta que indica o sentido de rotação de um dos lados aponta no sentido do movimento de queda do rolo e do outro lado no sentido oposto. Do lado em que os sentidos são iguais o ar move-se mais depressa e exerce uma força menor: o rolo vai desviar-se para esse lado durante o movimento. Assim, se o Ronaldo estiver virado para a baliza e quiser fazer entrar a bola no canto direito terá que pôr a bola a rodar no sentido dos ponteiros do relógio (Figura 5).

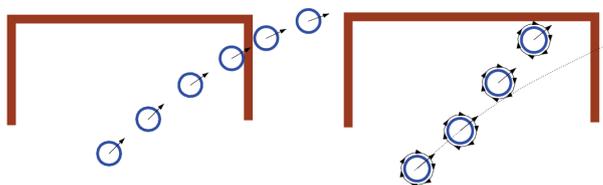


Fig. 5

Na verdade o efeito estranho que o rolo e a bola sentem tem um nome: é o efeito de Magnus, por ter sido o físico alemão Heinrich Gustav Magnus o primeiro a estudá-lo.

Bibliografia

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Magnus_effect

Agradeço à Lucília Brito os seus comentários que sempre tornam estas propostas muito mais claras.

Curiosidade

Porque é que os relógios se atrasam na Europa desde Janeiro?

Luis Melo, IST

Os relógios que usam a frequência da rede eléctrica para contar o tempo (como, por exemplo, os típicos relógios-rádios de mesa-de-cabeceira ou os fornos de microondas) atrasaram cerca de 6 minutos desde Janeiro deste ano. Este atraso deve-se a um ligeiro desvio desta frequência, que entretanto terá sido corrigido.

A rede eléctrica que alimenta as nossas tomadas inverte a polaridade 100 vezes por segundo -50 vezes de “-” para “+”, 50 vezes de “+” para “-”, passando pelas mesmas condições exactamente 50 vezes por segundo, ou seja com uma frequência de 50Hz. Desde Janeiro que esta frequência foi em média 49.996Hz, o que equivale a dizer que 50 “contagens” correspondiam na realidade a um pouco mais de 1 segundo, mas os relógios achavam que só tinha passado 1 segundo exacto. A solução é acertar os relógios de vez em quando (o que é sempre aconselhável).

O desvio na frequência da rede deveu-se a um desentendimento entre os operadores das redes da Sérvia e do Kosovo, cujo efeito se propagou a toda a Europa continental.



Em 2018 a EPS - Sociedade Europeia de Física está a fazer 50 anos. Nesse âmbito, a cerimónia oficial de comemoração do 50º aniversário será realizada no dia 28 de setembro,

na Universidade de Genebra, na Suíça. Para mais informações sobre o evento consultar www.eps50.org.

Lançamento de Balão Estratosférico no Planetário - Casa da Ciência em Braga

Carlos Lima e João Vieira, PCCB

Diogo Henriques, Duarte Afonso e Dário Silva, BALUA

No passado dia 1 de junho (Dia da Criança), o Planetário – Casa da Ciência de Braga realizou o lançamento de um balão para a estratosfera, o qual atingiu altitudes próximas dos 30 000 m.

Além de diversos sensores e câmaras para captação de imagem, a bordo foram transportadas centenas de mensagens de saudação, elaboradas pelos alunos das escolas primárias que visitaram o Planetário – Casa da Ciência de Braga (PCCB, <http://www.casacienciabraga.org/>) neste dia, as quais foram recuperadas depois de uma viagem fantástica e devolvidas aos seus autores.

Nos vários meses que antecederam este lançamento, além dos pormenores relativos à logística e tecnologia utilizada, foi necessário obter autorizações das autoridades (Força Aérea Portuguesa e Agência Nacional de Aviação Civil).

O balão foi seguido no solo por uma equipa do PCCB (www.casacienciabraga.org) e do projeto BALUA (<http://balua.org/>) e após o rebentamento (próximo do limite superior da estratosfera) foi recuperado nas vizinhanças de Barcelos (após o balão ter sobrevoado Guimarães, Póvoa do Lanhoso, Barcelos, Apúlia, o atlântico e aterrando em Barcelos, dadas as fortes correntes de ar que se fizeram sentir).

A recuperação das câmaras lançadas em conjunto com o balão permitiu a recolha de centenas de imagens e vídeos de elevada qualidade, das quais partilhamos a seguinte seleção.



TABELA DE PUBLICIDADE 2018



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



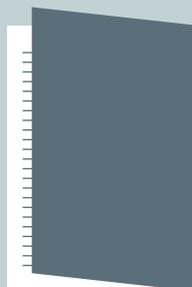
A) verso da capa



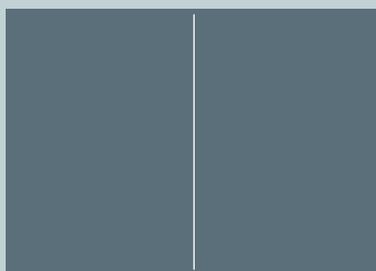
B) destacável/folha



C) verso da contracapa



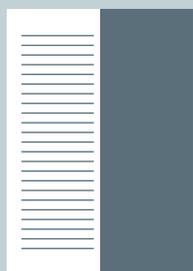
D) contracapa



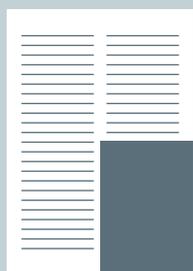
E) página dupla



F) página inteira

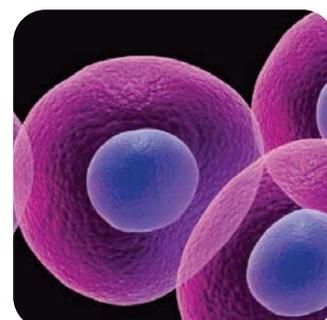
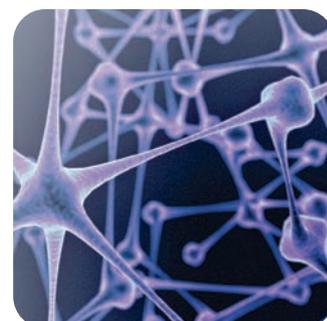
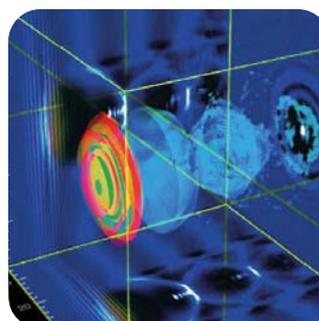
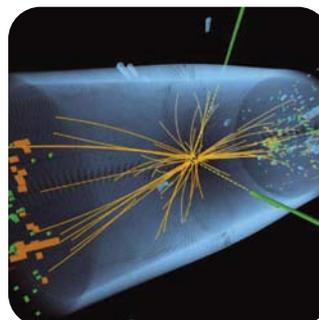


G)
coluna ou
½ página



H)
¼ 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	



Aos preços da tabela acresce o IVA à taxa em vigor

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

Tiragem anual 2018:
3000 exemplares

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

21ª Conferência Nacional de Física

28º Encontro Ibérico para o Ensino da Física

Física 2018

Transições de Fase Topológicas

por **Jonh M. Kosterlitz**, prémio Nobel 2016

Ondas Gravitacionais

Física Nuclear no dia a dia

Ensino e História da Física

Física Médica

Óptica, Lasers e Plasmas

Geofísica, Oceanografia e Meteorologia

*30 de Agosto a
1 de Setembro*



Covilhã: Faculdade de Ciências da Saúde

Mais informações: <http://eventos.spf.pt/FISICA2018>