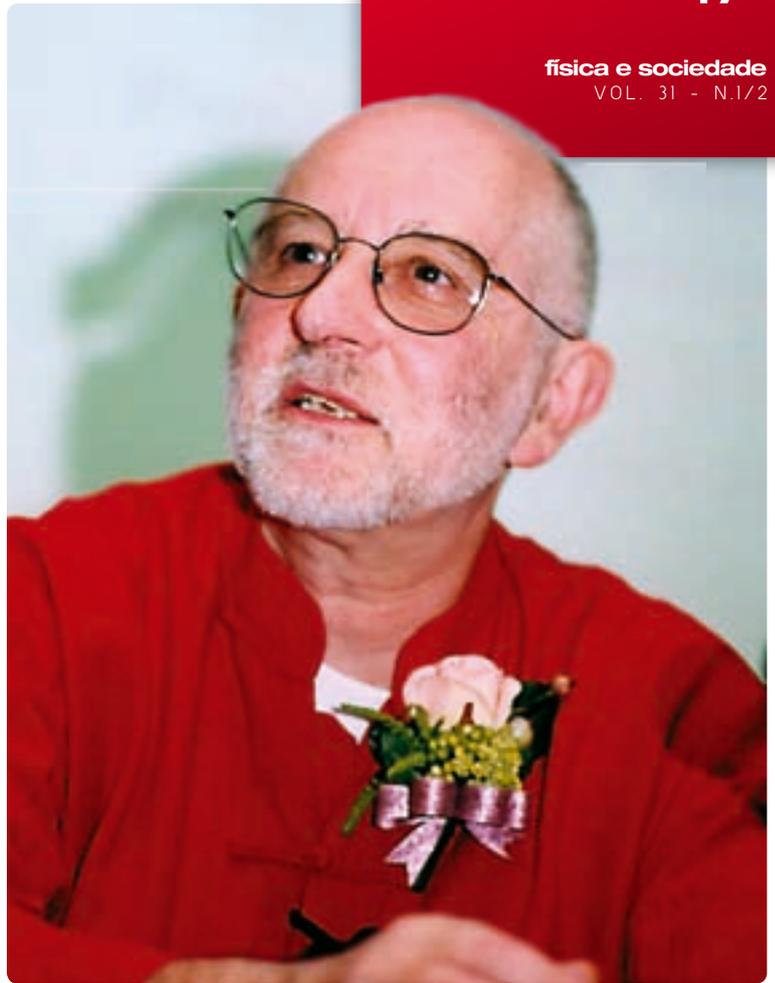


# Divagações nocturnas de um físico teórico

Este texto foi escrito no ano 2000 para comemorar o 75º aniversário de John Ziman, mas é inédito até hoje. Esta versão sofreu uma pequena actualização.

**Michael Berry**  
(Tradução: Ana Sampaio)



**DURANTE MAIS DE QUARENTA ANOS, TIVE O PRIVILÉGIO DE FAZER FÍSICA COM GRANDE PRAZER E ENTUSIASMO, O QUE SE FICOU A DEVER, EM GRANDE MEDIDA, À PROTECÇÃO E ORIENTAÇÃO QUE RECEBI DA PARTE DE JOHN ZIMAN, NOS PRIMEIROS ANOS QUE PASSEI EM BRISTOL.**

Nunca trabalhámos na mesma física e aquilo que eu fazia na altura foi durante muito tempo pouco valorizado, de maneira que continua a ser um mistério para mim como é que ele conseguiu adivinhar que eu poderia ter uma centelha de inteligência e porque é que resolveu proteger essa centelha de ventos potencialmente adversos, de modo a que pudesse vir a transformar-se numa chama.

Atento como estava à transformação do John de físico em alguém que procura elucidar uma rede complexa de interacções sociais relacionadas com a ciência, não pude deixar de notar uma outra transmutação. Aqueles que, na prática, administram

a ciência mudaram também: de pessoas que consideravam ser seu dever servir os nossos interesses, transformaram-se em membros de uma profissão coerente e nem sempre solidária com aquilo que fazemos. Esta evolução tem aspectos funestos e o meu objectivo neste artigo é chamar a vossa atenção para alguns desses aspectos.

Na década de 1950, havia um *cartoon* que mostrava um grupo de raparigas numa praia. Ignorando um latagão de músculos imponentes, as curvilíneas meninas nos seus biquínis juntavam-se, muito entusiasmadas, em volta de um lingrinhas de óculos grossos, que lia um livro de física nuclear. Os estereótipos que nos chegam deste passado já distante são um pouco constrangedores: as mulheres como objectos decorativos, os homens musculados como

**Michael Berry** é professor no Departamento de Física da Universidade de Bristol, UK, ( H. H. Wills Physics Laboratory, Tyndall Avenue, Bristol BS8 1TL) onde tem estado mais tempo do que noutro lugar qualquer. Michael Berry interessa-se pelas conexões assintóticas entre as teorias físicas (e.g. entre a física clássica e a física quântica, entre os raios e as ondas, ...) e os aspectos geométricos associados a singularidades (vórtices acústicos, ópticos,... ). Visite [http://www.phy.bris.ac.uk/people/berry\\_mv/index.html](http://www.phy.bris.ac.uk/people/berry_mv/index.html) .



Exemplo de um anúncio americano dos anos 50.

epítome da estupidez, os óculos como símbolo de uma intelectualidade bacoca, a física nuclear como via para a satisfação sexual... Chamo a vossa particular atenção para a imagem da ciência como uma actividade digna de admiração pelo poder que representa e que confere. A promessa de energia barata e ilimitada, por um lado, e a realidade da bomba atômica, por outro, levavam a crer que a física nuclear transformaria as nossas vidas da mesma forma que a electricidade e o magnetismo o tinham feito (e o fazem ainda). Como todos sabemos, neste capítulo, nem todos os temores nem todas as esperanças se realizaram.

As reacções modernas são mais complexas, mas incluem uma corrente de repulsa instintiva contra a ciência como algo ameaçador. Esta corrente em particular não é nova - Isaiah Berlin<sup>1</sup> documentou uma corrente semelhante na reacção romântica do final do século XVIII contra a ciência, resumida na frase de Hamann: «A árvore do conhecimento destruiu a árvore da vida». Já dos nossos dias, citaria Bryan Appleyard<sup>2</sup>, que em criança ficava espantado com a capacidade demonstrada pelo pai de calcular o volume de água de um depósito, mas pressentia «alguma coisa de funesto nesse saber», e Fay Weldon<sup>3</sup>: «Todos nós fizemos ciência na escola. E todos sabemos que quando as nossas experiências não corriam “bem” eram simplesmente menosprezadas, ignoradas. Os cientistas não conseguem lidar com a ideia de um universo variável. Nós conseguimos.»

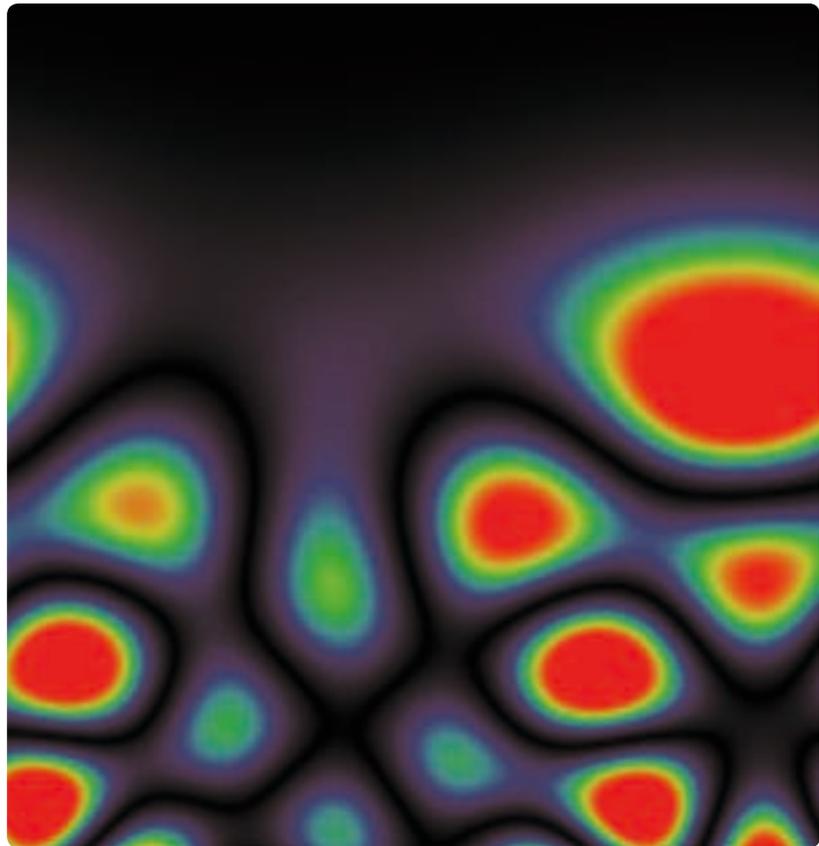
Evidentemente, isto é uma tolice, mas a verdade é que nem Appleyard nem Weldon são tolos: o que os leva a dizer tais coisas é, pelo menos em parte, uma reacção compreensível contra um certo tipo de divulgação da ciência a que o primeiro chama a «grosseira arrogância anistórica» a pretensas teorias de tudo.

Já não deveria ser necessário ter de defender aquilo que é bom na ciência, aquilo que faz com que valha a pena continuar a fazer ciência, mas nestes tempos pós-modernos (ou serão pós-pós-modernos?) ainda é verdade que:

- a ciência é uma das poucas actividades que estabelecem ligações entre pessoas, nações, culturas, religiões – um pouco à semelhança do desporto, mas com a diferença essencial de que aqui a cooperação, mais do que a competição, é uma componente muito forte. Em ciência, falamos normalmente dos nossos colegas estrangeiros e não dos nossos adversários estrangeiros. As fronteiras nacionais são irrelevantes: é-me indiferente, e muitas vezes desconheço, a nacionalidade daqueles cujo trabalho se relaciona com o meu. Este é um bom antídoto contra a emergência de novos nacionalismos. (Para evitar mal-entendidos, sublinho que me refiro à atitude da maior parte dos cientistas e não dos jornalistas ou dos conselhos de investigação, que por ignorância ou maldade deliberada, colocam uma ênfase excessiva nos aspectos competitivos e nacionais da ciência);
- a ciência é um modelo de análise racional e civilizada da discordância, em grande medida desprovida de rancores e efectuada de uma forma que conduz ao progresso. É também um bom antídoto contra os fundamentalismos, que estão agora em crescendo um pouco por todo o mundo;
- a ciência estabelece ligações estimulantes e mágicas entre coisas muito diferentes. Esta observação contraria uma das críticas mais comuns que nos fazem: a de que através da desagregação reducionista do mundo nas suas componentes, que são depois estudadas separadamente, perdemos o sentido do conjunto. Uma das minhas ligações favoritas começa com a pergunta: porque é que a matéria é dura? Se os átomos consistem sobretudo em espaço vazio, porque é que a matéria não se comprime, com todos os electrões a passarem para os estados mais baixos de energia quântica, perto do núcleo? Porque o princípio da exclusão de Pauli afirma que, num átomo, dois electrões não podem ocupar o mesmo estado quântico simultaneamente. E de onde vem isso? Poderá ter origem numa propriedade da rotação no espaço tridimensional<sup>4</sup>: se pegar num copo de vinho e o rodar completamente duas vezes (ou seja,  $720^\circ$ ), verificará no final desta contorção que o seu braço não está torcido (não funciona com

uma única volta). Eu considero esta ligação “dois em nenhum”, esta associação completamente inesperada entre dureza microscópica e geometria<sup>5</sup>, uma coisa miraculosa;

- e, descendo agora do sublime para o mundano, a ciência traz-nos também benefícios económicos. Algumas pessoas, de vistas curtas, chamam a isso “o mundo real”. Há relatórios<sup>6</sup> sobre indústrias baseadas na física que revelam como elas são lucrativas, quando comparadas com outro tipo de indústrias. Não vou fazer aqui uma descrição pormenorizada, mas posso dar-vos um pequeno exemplo da minha própria experiência, que ilustra as formas surpreendentes que esses benefícios podem assumir. Num dos seus belos filmes, David Attenborough mostra insectos a flutuar num lago que brilha à luz do sol e chama a atenção para as suas curiosas sombras: ao contrário das sombras que nos são mais familiares, estas sombras submarinas têm orlas brilhantes. A razão para isso é que a tensão superficial curva a água perto da zona onde os insectos flutuam e a luz é focada com grande nitidez por estas superfícies curvas. Esta descoberta levou à elaboração de um estudo sistemático<sup>7</sup> sobre as sombras brilhantes, incluindo aquelas que são provocadas nos leitos dos rios por pequenos remoinhos na superfície. Neste tipo de sombras, a luz foca-se em anel. Ora, isto passou-se em 1983. Michael Gorman, um físico de Houston, interessou-se pelo artigo e resolveu fabricar uma lente de plástico com uma forma pouco habitual, com o objectivo de reproduzir os remoinhos com o seu foco em anel. Foi para mim uma surpresa quando ele me anunciou que tinha patenteado este dispositivo, na esperança de poder vir a lucrar alguma coisa com ele. Por exemplo, os cirurgiões que fazem angioplastias estavam interessados em fazer passar um laser potente através de uma versão muito reduzida desta lente, colocada na extremidade de uma fibra óptica, de modo a conseguirem desbloquear artérias por meio do foco em anel. (Nesta altura da minha vida, esta aplicação ficou-me no coração...) Apesar das transformações económicas provocadas pela ciência aplicada, continua a ser verdade que nenhum de nós faz ciência fundamental por dinheiro. (Por “fundamental”, entendo aquilo que é pejorativamente designado por investigação motivada pela curiosidade – suponho que por contraposição à variedade motivada pela cupidez...) Alguns cientistas podem estar mais virados para o negócio, mas essa é sempre uma componente relativamente menor das suas motivações. Eu, por mim, sinto-me sempre imensamente surpreendido e grato por viver numa sociedade tão civilizada que me paga para perseguir estas minhas obsessões em completa liberdade. A verdade é que o apoio à ciência não é senão um frágil milagre: não podemos esperar que aqueles que não são cientistas



Caos quântico em queda: A intensidade de ondas aleatórias é contrariada por uma força constante; as linhas a preto são linhas nodais (linhas onde a intensidade se anula).

compreendam automaticamente por que razão ele deve ser mantido. A ciência não é uma actividade natural para a maior parte das pessoas. Não seria fácil para mim ter de defender a manutenção do apoio que recebo perante uma mãe sozinha e desempregada ou alguém da nossa nova classe dos sem-abrigo.

Durante todo este tempo em que me dediquei à ciência, o meu sindicato, a Association of University Teachers (agora University and College Union), sempre fez grande pressão para conseguir obter melhores salários e eu, evidentemente, beneficieei do seu êxito nesta matéria. No entanto, é difícil para mim apoiar estas reivindicações salariais de consciência tranquila, porque me parece que elas se baseiam na aplicação tendenciosa de relatividades. Os argumentos são frequentemente os seguintes: o meu salário diminuiu em relação aos trabalhadores da profissão A ou é muito inferior àquele que receberia no país B e, por esse motivo, eu deveria ganhar mais. Porém, ninguém argumenta que isto significa que os trabalhadores A ganham demasiado, nem ninguém faz notar que existe um país C onde os cientistas ganham muito menos do que nós, ou usa tais argumentos para concluir que afinal ganhamos demasiado. Parece que não há maneira de determinar o valor absoluto dos sonhadores (nem na verdade de quem quer que seja). Assumamos, contudo, que esse valor é maior do que zero – ou seja, que a ciência fundamental, feita sem pensar nas suas eventuais aplicações, vale efectivamente a pena. Mesmo a pequena ciência custa dinheiro – não muito, mas as quantias são grandes quando comparadas com aquilo

que cada cientista individualmente poderia pagar do seu próprio bolso. No sistema universitário tradicional (quero com isto dizer, evidentemente, aquele que conheço desde sempre), os pequenos projectos eram frequentemente financiados com o dinheiro dos departamentos respectivos, o que era possível porque tínhamos aquilo a que se chamava “laboratórios bem equipados”. Ora, isso já não existe. O dinheiro de que os departamentos dispõem para investigação tem vindo a ser sucessivamente reduzido. Nunca foi muito, mas agora batemos mesmo no fundo. Por isso, se alguém tiver uma ideia brilhante e diferente e quiser deixar tudo para se dedicar a ela, terá de ser um teórico (podemos mudar de rumo rapidamente) ou então terá de ver o seu projecto aprovado pelas agências financiadoras. Esta última alternativa demora o seu tempo, destruindo assim a flexibilidade que o velho sistema permitia.

Apesar destes aspectos negativos, a situação não é completamente desoladora. Há quem afirme (por exemplo, a organização *Save British Science*, cujas opiniões eu normalmente partilho) que, hoje em dia, as instituições que financiam a investigação favorecem os projectos “seguros” com um calendário bem definido e resultados garantidos, em detrimento de propostas mais arriscadas. É verdade que os formulários de candidatura a financiamento de projectos, com as suas exigências de “cronologias” e de “resultados tangíveis” reforçam esta perspectiva. Devo, porém, dizer que a minha experiência nesta matéria (reconhecidamente limitada) é diferente. Nunca utilizei o risco como argumento contra um projecto e nunca ouvi alguém fazê-lo nas comissões de financiamento em que participei. E nenhum dos meus próprios projectos mais especulativos foi alguma vez rejeitado por esta razão. As pessoas conseguem ser mais sensatas do que os sistemas com que trabalham. Há uma malfadada tendência nas nossas universidades (e até mesmo em todas as outras profissões) para uma maior burocracia. Não se passa uma semana em que o presidente do meu departamento não receba um pedido de “informação” complexamente quantificada, sem que seja claro quem é o destinatário e para que efeito servirá tal informação. Ele bem tenta proteger-nos – a nós, soldados rasos – destes pedidos, mas inevitavelmente alguns acabam por chegar até nós. Quantos artigos publicámos no ano anterior? Classifiquem-nos em doze categorias – sim, doze! Quais são os melhores? Como é que poderemos reduzir o nosso grupo para caber num espaço 25% menor, já que a fórmula do conselho directivo ou da reitoria\* mostra que temos espaço demais? Quanto tempo gastamos em investigação? E em actividades pedagógicas? E administrativas? Um cientista com uma longa carreira naquele que foi o *Royal Signals and Radar Establishment*, em Malvern, disse-me que a administração exigia que o seu dia de trabalho fosse dividido em unidades de seis minutos. À primeira tentativa, descobriu-se que 25% das entradas laboriosamente recolhidas tinham sido mal digitadas e ao fim de dois meses ainda não havia nenhuma publicação fiável dos resultados. Será que quem faz estas perguntas ignora que muitas das nossas melhores ideias surgem inesperadamente, quando estamos frente aos alunos, ou no chuveiro ou a preencher questionários idiotas?

Nos últimos anos, as universidades aceitaram a imposição de várias novas camadas de burocracia. Uma delas é a Avaliação da Investigação (resisto a acrescentar a palavra “Exercício” que, oscilando entre a justificação e a ironia, sugere que a actividade é apenas um treino para qualquer coisa). Outra é a recente Avaliação da Qualidade do Ensino (TQA – *Teaching Quality Assessment*), em que “forças de intervenção” de avaliadores exigem a preparação de várias caixas cheias de papelada, para o caso de virem a ser necessárias durante os poucos dias que demorará a sua visita. Aqueles que conduzem estas investigações são nossos colegas, gente bem-educada, bem-intencionada, respeitável, por vezes até notável. Todavia, vejo pouco ou nenhum benefício na sua actividade e consigo descortinar muitos prejuízos. O vice-presidente de um departamento de matemática teve de se reformar mais cedo, devido a um esgotamento provocado pelas exigências das TQA. Em muitos departamentos, o planeamento da investigação degenerou em estratégias de curto prazo, destinadas a “fazer boa figura” na avaliação seguinte. O que é imperdoável é que isso contaminou os níveis mais altos da academia com a noção de que o objectivo da actividade intelectual é obter pontuações elevadas em testes – uma medida trivial utilizada em concursos televisivos para avaliar a capacidade intelectual, essa mesma “examineite” que qualquer professor sério olha com desdém quando se encontra entre os seus alunos. Felizmente, vozes sensatas<sup>8</sup> começam já a defender a redução radical destas duas avaliações.

Quando William Waldegrave era ministro da ciência, queixei-me a ele desta crescente burocratização das avaliações. Julgo que ele compreendeu o que eu queria dizer, mas a sua resposta foi pouco convincente: «É o espírito da época: tudo tem de ser medido.» Eles – isto é, os nossos algozes – acham que este tipo de avaliação é não só democrático – porque é uma forma de prestar contas aos contribuintes – mas também científico – porque é feito com números. Dei-lhe então um exemplo delicioso – uma obra-prima de falsa quantificação – de até que ponto tudo isto pode ser ridículo na prática. É retirado de um relatório anual do *National Physical Laboratory*<sup>7,9</sup>, da secção chamada “Metas de Desempenho”. A meta número três era “Marcos de Investigação”. Tudo tem de ser definido e assim temos: «Definição circunstanciada da medida: os marcos de investigação são aqueles que são acordados com o cliente.» Não estou a brincar. O objectivo era 0,49 marcos de investigação por cientista por ano, a ser aumentado em 3% para cada cientista ao longo de um período de quatro anos. No primeiro ano, obtiveram-se 0,48 marcos de investigação. Falharam por pouco; têm de melhorar. No segundo ano, porém, o valor tinha aumentado para 0,79. E aqui é que a coisa descamba: «O facto

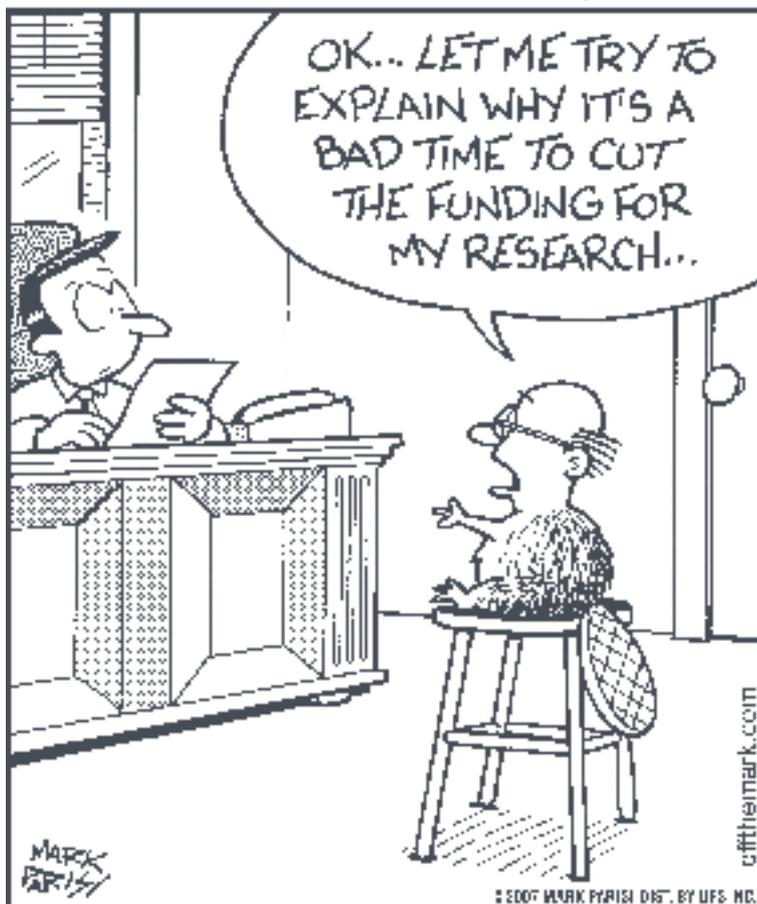
de esta meta ter sido confortavelmente atingida, embora aprazível, indica provavelmente a natureza insatisfatória desta medida. Será, pois, estabelecida uma meta revista...» Nos anos seguintes, o número de marcos aumentou até que<sup>10</sup>: «...O NPL está a utilizar cada vez mais técnicas de gestão de projecto que incentivam a decomposição dos programas em módulos e nas quais a medição do sucesso através de marcos é *ainda mais significativa* do que na altura em que a meta foi estabelecida.» [o itálico é meu]. Suponho que se tenha gasto dinheiro a pagar a alguém para produzir isto. O problema é que não é só um disparate, é também desonesto. Se ainda tem dúvidas, tente imaginar um relatório de uma organização que diga o seguinte: «No ano passado, não conseguimos cumprir nenhuma das nossas metas.» É evidente que isso nunca poderia acontecer. Tudo isto nos traz reminiscências pouco simpáticas dos velhos planos quinquenais soviéticos, abrilhantados com um verniz de agência de publicidade moderna: ninguém pode falhar, mas também, num toque muito britânico, ninguém deve ter muito sucesso.

O ministro ouviu-me em silêncio, mas pareceu-me um pouco desconfortável. Uma semana mais tarde, descobri porquê: ele tinha acabado de conferir ao NPL o prémio da Price Waterhouse desse ano para o melhor relatório anual!

Para muitos dos meus colegas, tudo isto equivale a uma verdadeira perseguição. E pode ser-nos fatal. Para ser bem-sucedida, a investigação fundamental implica uma grande concentração, sem distrações, durante longos períodos. Quando perguntaram a Newton como é que ele conseguia penetrar tão profundamente nos problemas fundamentais, ele respondeu: «pensando neles continuamente». Mesmo aqueles de nós que fazem investigação a tempo inteiro sabem como é fácil o tempo dedicado em exclusivo ao pensamento ser marginalizado. Existe sempre um grande número de outros pedidos legítimos para avaliar artigos e pessoas, participar em conferências, etc. Claro que todos nós desenvolvemos estratégias defensivas - directamente para o lixo, sem sequer ser lido, vai tudo o que vem do grupo de ligação da universidade à indústria, toda a papelada da UE, etc.

Esta degradação potencial e real do trabalho de muitos cientistas parece ser o resultado não intencional de um cocktail ideológico cujos ingredientes são *responsabilidade*, *mensurabilidade* e um *modelo empresarial* de eficiência.

É difícil questionar a ideia de que, se estamos a gastar dinheiros públicos, temos de saber justificar aquilo que fazemos com eles. E a “responsabilidade” é um *mantra*, que se dissemina por toda a vida nacional. Só o facto de se mencionar a palavra parece que torna impossível contrapor o que quer que seja. Mas não é justo que, através de uma espécie de princípio da incerteza de Heisenberg, a



Ok...Deixe-me tentar explicar porque é a má altura para cortar o financiamento ao meu projecto de investigação...

justificação interfira com o próprio processo de investigação – e a “constante de Planck” para a ciência (assim como para quase todos os tipos de actividade criativa) é muito grande. E a verdade é que existe efectivamente uma resposta para os “responsabilistas”, uma única palavra actualmente pouco em voga: confiança.

A nova “ciência” da medição objectiva dos resultados da investigação parece basear-se na esperança de conseguir ser tão precisa como a cristalografia ou a ressonância magnética nuclear. Eu duvido muito de que assim seja e, de qualquer modo, não vejo como poderá substituir a intuição no que se refere à promessa que um jovem cientista ou uma nova ideia representam. A avaliação quantitativa da investigação é uma nova profissão em fase de rápido crescimento; irá provavelmente estabilizar, mas numa dimensão suficientemente grande para ainda causar perturbação. Na escala da respeitabilidade intelectual, supera provavelmente a astrologia, mas a grafologia e a detecção de mentiras mecanizada não andam muito longe. Com os elementos mensuráveis (citações, factores de impacto, índices H...) surge uma falsa aparência de precisão, acompanhada de um vocabulário de evocações vazias: as diferentes universidades têm “declarações de missão” quase idênticas, declarando o seu “compromisso” com a “excelência” e a “qualidade”.

O pior de tudo é o paradigma da eficiência empresarial. Estou certo de que este é um ódio de estimação de muitos

professores universitários. Uma das suas manifestações é que somos avaliados pela quantidade de dinheiro que trazemos para a universidade sob a forma de financiamento a projectos, etc. Esta imagem distorcida das universidades como empresas envenena as relações entre as administrações e os professores. Antigamente, as administrações eram pequenas, na sua maior parte invisíveis e, pelo menos na minha experiência, estavam sempre dispostas a ajudar quando era preciso. Enquanto indivíduos, os administradores das universidades continuam a tentar ajudar-nos, mas começam a olhar-nos de um modo diferente. Os professores que não atraem (ou que nem sequer procuram) financiamento externo são cada vez mais olhados como um encargo para os outros – muito embora, como todos nós sabemos, eles possam desempenhar um papel muito importante na vida de um departamento. Num destes dias, uma antiga funcionária da minha universidade teve um pequeno deslize e referiu-se àqueles que servia como os seus “clientes”. Para os administradores, deixámos de pertencer a departamentos: a física é um “centro de custos”. Serei eu o único a considerar que esta imagem é repugnante e reflecte uma incompreensão grotesca em relação à natureza e ao significado da nossa actividade? As universidades não são empresas. Quando tentamos agir como empresas, o sucesso normalmente não é grande: na minha universidade, houve várias tentativas frustradas e dispendiosas de obter lucros. Efectivamente, o objectivo de uma universidade ou de um departamento não deve ser fazer negócio. Num departamento de física, não somos pagos para “produzir” lucros (sob a forma de financiamentos ou de patrocínios), mas sim física.

Para que não haja confusões, devo dizer que não coloco quaisquer objecções ao facto de os cientistas, ou quem quer que seja, enriquecerem devido aos seus esforços intelectuais ou empresariais. Também sou favorável a uma ligação mais estreita entre as universidades e as empresas: a colaboração entre a Universidade de Bristol e o *Hewlett-Packard's Basic Research Institute for Mathematical Sciences* (infelizmente curta) foi admirada em todo o mundo e deu magníficos frutos intelectuais. A comercialização só se torna chocante quando nos é imposta, quando nos dizem que «A excelência científica por si só não é suficiente», que deveríamos velar pela «difusão da cultura empresarial na universidade» e que, mesmo que sejamos um fracasso a fazer dinheiro, podemos pelo menos fingir: «se a universidade conseguir apresentar aquilo que já faz numa linguagem empresarial, isso será benéfico para ela.»<sup>11</sup>

Não quero parecer exagerado. Continua a ser um extraordinário privilégio fazer ciência na Grã-Bretanha.

É fácil para nós cobiçarmos a galinha do vizinho, especialmente a galinha do outro lado do Atlântico, mas a minha experiência da situação americana, que dada a sua variedade é difícil de resumir, é a de que eles sofrem de muitos dos mesmos problemas (parece que as modas de gestão são adoptadas aqui, exactamente depois de se provar que fracassaram lá). Há também uma pequena fuga em sentido inverso de cérebros distintos, que poderá vir um dia a ultrapassar a fuga convencional. Um sinal de optimismo neste aspecto é a nomeação (embora titubeante e esporádica) de ministros responsáveis pela ciência. Habitualmente, têm pouco ou nenhum conhecimento directo sobre aquilo que fazemos, mas é assim que as coisas funcionam aqui na Grã-Bretanha: escolhe-se um amador. No entanto, pelo menos um ministro mostrou muito bom senso naquilo que escreveu sobre os objectivos fundamentais da ciência. Espero que algum político tenha a coragem e a visão de inverter as futilidades que nos estão a ser impostas – fúteis, porque as reorganizações recorrentes, que se seguem umas às outras mais rapidamente do que o tempo de resposta do sistema académico, só podem resultar na exaustão da inovação.

Finalmente, uma ideia fora de moda para aborrecer todos aqueles que querem continuar a “reformatar” as nossas instituições de ensino superior. Foi inspirada por uma biografia<sup>12</sup> do matemático Ramanujan. Quando estava no auge da sua actividade criativa, Ramanujan não tinha emprego. Segundo um amigo que o ajudou a arranjar trabalho na capitania do porto de Madras, aquilo de que ele precisava era de um trabalho sem muitas obrigações, que lhe permitisse ter muito tempo livre. O biógrafo sublinha que ele utilizava a expressão num sentido diferente daquele que nós utilizamos hoje. Para nós, implica uma coisa trivial: “liberdade para” não trabalhar. Naquele tempo, porém, tinha uma conotação positiva de “liberdade para”, no caso dele, criar matemática. É tempo livre neste sentido que temos de exigir, e depois preservar, nas nossas universidades.

Nota acrescentada, 2008: Para obter uma biografia de John Ziman, consulte<sup>13</sup>.

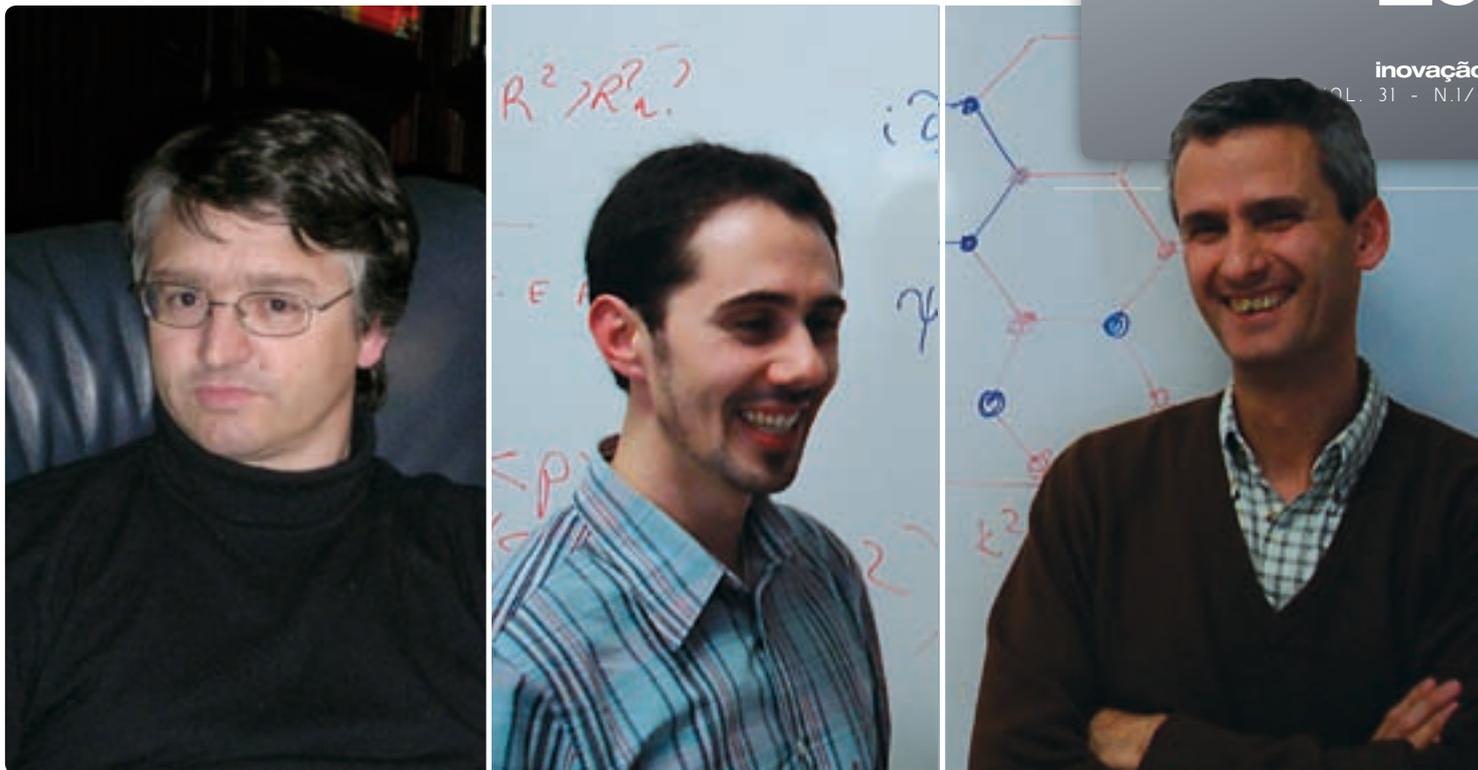
A Gazeta de Física agradece a Jorge Romão ter chamado a atenção para este texto. Agradece também a Margaria Tello de Gama a revisão da versão portuguesa.

#### Referências

1. Berlin, I., *The crooked timber of humanity: chapters in the history of ideas* (John Murray, Londres, 1990).
2. Appleyard, B., *Understanding the present: science and the soul of modern man* (Picador, Londres, 1992).
3. Weldon, F., “Thoughts we dare not speak aloud”, *Daily Telegraph*, Londres, 2 de Dezembro de 1991, p. 14.
4. Hartung, R.W., “Pauli principle in Euclidean geometry”, *Amer.J.Phys.* 1979, 47: 900-910.

5. Berry, M.V., Robbins, J.M., “Indistinguishability for quantum particles: spin, statistics and the geometric phase”, *Proc. R. Soc.A.* 1997, 453: 1771-1790.
6. Campbell, P., “PBIs Lauded”, *Physics World* 1991, 5, p. 7.
7. Berry, M.V., Hajnal, J.V., “The shadows of floating objects and dissipating vortices”, *Optica Acta* 1983, 30: 23-40.
8. Cox, D., Halsey, A.H., “Simple but radical, we think these changes would help”, *The Guardian*, Londres, 16 de Julho de 1999.

9. NPL, *National Physical Laboratory Annual Report and Accounts 1991-1992*.
10. NPL, *National Physical Laboratory Annual Report and Accounts 1994-1995*.
11. *Bristol University Newsletter*, 22 de Abril de 1999, p. 2.
12. Kanigel, R., *The man who knew infinity: a life of the genius Ramanujan* (Scribner's, Londres e Sydney, 1991).
13. Berry, M.V. e Nye, J.F., “John Michael Ziman”, *Biographical Memoirs of the Royal Society*, 52, 479-491.



# Grafeno: a base de uma nova electrónica?

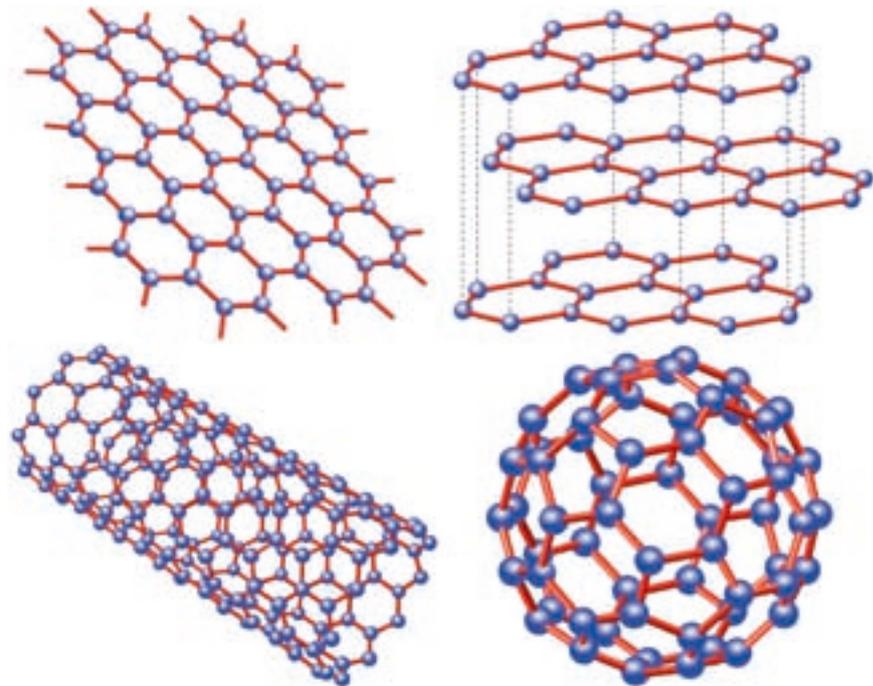
Carlos Herdeiro

**O GRAFENO É O MAIS FINO FRAGMENTO DE GRAFITE QUE É POSSÍVEL PRODUIR: UM ÚNICO PLANO DE ÁTOMOS DE CARBONO. EM 2004 UM GRUPO DA UNIVERSIDADE DE MANCHESTER PRODUIU, PELA PRIMEIRA VEZ EM LABORATÓRIO, PLANOS DE GRAFENO: UM CRISTAL COMPLETAMENTE BIDIMENSIONAL! ESTUDOS TEÓRICOS POSTERIORES REVELARAM QUE O GRAFENO É UM SEMI-CONDUTOR COM PROPRIEDADES MUITO PROMISSORAS E COM POTENCIAL PARA SE TORNAR A BASE DE UMA NOVA ELECTRÓNICA. FÍSICOS PORTUGUESES ESTÃO NA VANGUARDA DESTES ACONTECIMENTOS.**

A grafite é um empilhamento de planos de átomos de carbono. Enquanto que as ligações entre átomos no mesmo plano são covalentes, os diferentes planos estão fracamente acoplados. Por isso, estes planos podem deslizar entre si, permitindo a escrita. No diamante, que também é formado exclusivamente por átomos de carbono, todas as ligações entre átomos são covalentes, tornando o diamante muito resistente.

A estrutura cristalina da grafite é conhecida há várias décadas. Mas só em 2004 se observou, pela primeira vez, um destes planos de carbono - o grafeno - o que foi conseguido pelo grupo de Andre Geim, da Universidade de Manchester no Reino Unido. Este desenvolvimento estimulou a análise teórica do grafeno que desde logo revelou as suas propriedades não convencionais. Por exemplo, os electrões de condução no grafeno comportam-se como partículas relativistas sem massa, o que contrasta os portadores de carga em materiais convencionais, que são partículas com massa descritas pela Mecânica Quântica não-relativista. Mas uma das mais importantes propriedades do grafeno é ser um semiconductor de hiato nulo.

Semicondutores são materiais onde o espectro contínuo de energias que os electrões podem tomar apresenta um hiato, ou seja, existe um intervalo de energias proibidas. Além disso nos semicondutores apenas as energias abaixo do hiato



estão ocupadas com electrões. Logo o material não conduz a corrente eléctrica, a não ser que haja um campo eléctrico aplicado que permita aos electrões adquirir energia suficiente para ultrapassar o hiato. No grafeno o hiato de energias proibidas é, na prática, nulo, mas existem várias maneiras de introduzir um tal hiato. Uma delas envolve a bicamada de grafeno: usar não uma mas sim um empilhamento de duas camadas acopladas de grafeno. O espectro da bicamada de grafeno também não tem hiato finito, mas basta aplicar um campo eléctrico perpendicularmente à bicamada para imediatamente introduzir um hiato no espectro. Com uma enorme vantagem adicional relativamente a qualquer outro semiconductor: o valor do hiato depende da intensidade do campo aplicado. Surge assim o primeiro semiconductor com hiato variável externamente.

O desenvolvimento da teoria da bicamada de grafeno foi feito por uma colaboração internacional, com nodos nos EUA, Espanha, Reino Unido e Portugal, envolvendo os físicos portugueses Nuno Peres (U. Minho), J. Lopes dos Santos e Eduardo Castro (U. Porto), tendo o material sido preparado e medido no laboratório de Andre Geim. Os resultados foram apresentados na *Physical Review Letters*, uma entre várias publicações da colaboração, neste prestigiado jornal, sobre o grafeno. Note-se que este é um dos tópicos mais “quentes”, actualmente, na física da matéria condensada a nível internacional; no “March Meeting” de 2008 da American Physical Society, que reúne anualmente cerca de 7000 físicos de todo o mundo, o grafeno foi o tópico que acupou a maior percentagem de sessões.

Como nos disse Eduardo Castro, presentemente a terminar a sua tese de doutoramento sobre este assunto, “este novo tipo de semiconductor tem claramente potencial para vir a ser usado em tecnologia comercial. Estamos rodeados de tecnologia onde o papel dos semicondutores é absolutamente central: o transístor e outros componentes electrónicos, essenciais ao processamento digital, onde se inclui o computador; a tecnologia laser, em particular os lasers de estado sólido, como os apontadores que nós usamos nas nossas apresentações; detectores dos mais variados tipos; painéis fotovoltaicos; etc. Este novo

semiconductor baseado na bicamada de grafeno tem duas características que o tornam bastante interessante do ponto de vista das aplicações. Primeiro temos um hiato variável: podemos pensar imediatamente em lasers cujo comprimento de onda da luz emitida pode ser escolhido, ou fotodetectores sintonizáveis. Por outro lado, estamos a falar de um dispositivo que tem a altura de duas folhas atómicas sobrepostas. Para aplicações em electrónica, onde queremos tudo sempre mais pequeno, isto são óptimas notícias. Convém contudo perceber que o grafeno faz agora 3 anos. É muito novo! É difícil dizer se teremos tecnologia comercial baseada em grafeno dentro de 2 anos ou dentro de uma década. Neste momento o maior obstáculo é o método de fabrico das amostras de grafeno que o grupo do Andre Geim usa. Está ainda longe de ser um processo industrial perfeitamente reproduzível.” Sobre o papel que o grafeno poderá vir a desempenhar em aplicações tecnológicas futuras E. Castro diz-nos ainda que “não há dúvida de que a tecnologia baseada no silício semiconductor usado em todos os circuitos integrados atingirá o seu limite dentro de alguns anos. A partir de determinada altura deixará de ser possível (ou economicamente viável) diminuir mais o tamanho de um transístor. O carbono é apontado como forte substituto. De facto, o carbono pertence ao mesmo grupo do silício na Tabela Periódica dos elementos. Não é, portanto, um substituto assim tão inesperado. O próprio germânio, também do mesmo grupo, também tem sido proposto para algumas aplicações. Uma grande vantagem do carbono é o facto de formar nanoestruturas naturalmente: os nanotubos de carbono, e agora o grafeno. No caso particular do grafeno, apesar da sua pequeníssima espessura - 1 átomo - ele é extremamente estável, e tem uma robustez mecânica impressionante. Ainda mais importante é o facto de se comportar, em determinadas circunstâncias, como um óptimo condutor. Há quem pense que o grafeno poderia ser usado para construir todo um circuito completo: desde as pistas aos componentes electrónicos, como o transístor, tudo seria em grafeno. Isto eliminaria as pistas de ouro e resolveria o problema dos contactos. Mas independentemente de o carbono vir ou não a substituir o silício, há uma forte possibilidade de o grafeno ser usado em aplicações nanotecnológicas variadas muito em breve; fontes de luz, sensores de gases, armazenamento de hidrogénio, são alguns exemplos.”

Saiba mais sobre o grafeno e sobre o papel dos físicos portugueses em duas entrevistas com Eduardo Castro e João Lopes dos Santos e no artigo de Nuno Peres, disponíveis na versão electrónica da Gazeta de Física.