

O VOCABULÁRIO DA QUÍMICA NO VIM

ANTÓNIO CRUZ,^A EDUARDA FILIPE^B

Os autores enquadram a recente publicação da versão portuguesa do Vocabulário Internacional de Metrologia Legal (VIM) no contexto evolutivo das suas edições internacionais ao longo de um quarto de século, pondo em destaque as mais recentes introduções de vocábulos dedicados à Química, conseguida com o consenso de oito organizações científicas e de normalização internacionais, nomeadamente as mais representativas do mundo da Química, a IUPAC e a IFCC.

INTRODUÇÃO

Nada mais oportuno e a propósito do que tratar este tema da Química no Vocabulário Internacional da Metrologia (VIM)[1], recentemente editado e, em boa medida, revisto e aumentado, em relação à edição de 1994, devido à necessidade de tratar mais extensa e profundamente a terminologia utilizada no domínio da Química que em edições anteriores não tinha tido oportunidade nem consenso geral.

Um pouco de história do VIM. O VIM foi editado pela primeira vez em 1984 por quatro organizações internacionais: *Bureau* Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), Comité Electrotécnico Internacional (IEC), Organização Internacional de Normalização (ISO) e Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML). A segunda edição foi publicada em 1993, subscrita por 7 organizações a que se juntou agora, na 3ª edição, a Organização para a Cooperação Internacional da Acreditação de Laboratórios (ILAC).

Esta 3ª edição internacional foi produzida, ao longo de 10 anos de trabalho, pelo Grupo de Trabalho 2 do Comité Conjunto para os Guias de Metrologia (JCGM), presidido pelo Director do *Bureau* Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), e constituído pelo BIPM, Comité Electrotécnico Internacional (IEC), Federação Internacional de Química Clínica e Laboratórios Médicos (IFCC), Organização Internacional de Normalização (ISO), União

Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), União Internacional de Física Pura e Aplicada (IUPAP), Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML) e Organização para a Cooperação Internacional da Acreditação de Laboratórios (ILAC).

Como se concluiu anteriormente referido a Química, através das suas organizações mais representativas a nível internacional, IUPAC e IFCC, participa desde a preparação da revisão da 1ª edição de 1983 na elaboração do VIM. Porém, só nesta última edição muita da terminologia química ficou de facto vertida no VIM. A 3ª edição do VIM foi considerada suficientemente importante para ser guindada à categoria de Guia ISO, tendo recebido simbolicamente a designação de Guia nº 99.

É sabido que sempre que se dão novos passos na harmonização de terminologia, tantas vezes utilizada inadequadamente ou de forma equívoca, existem reacções e dificuldades que levam anos a ser superadas. O mesmo aconteceu com a 1ª edição no domínio da Física. Termos houve cuja definição foi precisada para evitar equívocos e outros houve que foram abolidos, acabando por sair do léxico tradicional apenas ao fim de alguns anos, tão arreigado era o seu uso. Apenas para citar um termo a título de exemplo refira-se a “precisão”, termo emblemático e de uso corrente para exprimir a qualidade dos resultados de uma medição. Pois o termo foi abolido no VIM por consenso universal em 1984 por muitas e boas razões. Fundamentalmente, porque “toda a gente o usava e cada um com significado diferente”. Ao ser abolido, em

1984, conseguiu-se desarreigar o seu uso equívoco e não houve desde então necessidade de o utilizar na nossa linguagem técnica metrológica. Essa decisão, recebida com algum cepticismo e reserva de início, foi um sucesso notável e para isso muito contribuíram os técnicos metrológicos, os auditores técnicos, e outros profissionais da qualidade que aderiram ao VIM, reforçando o consenso então obtido entre as 4 organizações internacionais que o subscreveram em 1983, mantendo-o excluído em 1993.

Tal como o eminente químico europeu Paul de Bièvre [2] refere em artigo recente [3], “The consistent use of the recently revised edition of the ... VIM... is a step forward in the direction of achieving this goal”. Objectivo este que ele define como sendo um “unambiguous and consistent concepts and associated terms should govern the description of the results of chemical measurements”.

De facto, desta vez, cabe aos químicos em particular adoptar a terminologia agora consagrada, porque nesta edição se lhe deu atenção de forma mais vasta, devido ao peso de tradições arreigadas. Noutros domínios antes houve idênticas dificuldades e hoje estão resolvidas e os espíritos apaziguados.

O PROCESSO DA NORMALIZAÇÃO

O processo da Normalização é essencialmente de natureza voluntária, seja na sua génese, seja na sua aplicação. As Normas, nacionais ou internacionais, são elaboradas num processo de construção de consenso por equi-

^A Director, Departamento de Metrologia, Instituto Português da Qualidade
^B Directora, Unidade de Metrologia Científica e Aplicada, Laboratório Central de Metrologia, Instituto Português da Qualidade

pas vastas de peritos nos domínios abrangidos e que provém das partes interessadas.

O documento Guia ISO 99, não é portanto imperativo como qualquer outro documento normativo mas, como se refere no Prefácio, “mal seria que... desde logo fosse ignorado”. Daí que, em respeito pelo trabalho de todos, individual e colectivo, de pessoas e organizações, se procure respeitar e se recomende “vivamente a sua atenta utilização por todas as entidades”.

Neste caso, há a realçar que o consenso possível foi obtido, nas suas duas versões francesa e inglesa, e subscrito pelas organizações mais representativas do mundo científico nas diferentes matérias, que são merecedoras da confiança de todos.

Naturalmente, cada um de nós e o autor destas linhas neles se inclui, podemos manter individualmente algumas discordâncias pessoais, por não terem sido aceites a totalidade das contribuições pessoais no processo normativo, mas resta-nos respeitar esse consenso e contribuir para a sua difusão.

O processo de normalização tem as suas várias fases, de elaboração, de consulta e finalmente de aprovação redactorial final, que neste caso levou cerca de 12 anos. Uma vez terminado, devemos fazer sempre um esforço para compreender o resultado desse consenso e contribuir positivamente para a sua aplicação, em vez de se reporem polémicas agora estéreis e de se alimentarem divergências, socavando o trabalho normativo de todos e de cada um, num processo que é colectivo e nunca termina, porque as normas estão sempre sujeitas a revisões e actualizações.

Quando chegar o momento da reabertura de discussão internacional para uma nova versão, todos e cada um de nós em particular, certamente teremos algo a discordar em relação a este ou àquele termo, mas isso não deve bloquear o esforço de sempre se procurar o maior consenso; este é o princípio da normalização, sob pena de se não progredir na universalização do consenso.

Neste caso em concreto, no âmbito das oito organizações chamadas a participar no processo elaborativo, onde cada uma delas apelou aos seus membros nacionais e estes aos especialistas individuais, participaram muito outros peritos não organizados.

O enorme volume de contribuições recebido, de que foi dado conta às organizações envolvidas a nível de cada país, mereceu certamente dos redactores finais no WG2 do JCGM, o adequado tratamento e foi com certeza o causador da demora dos trabalhos e do atraso considerável na edição.

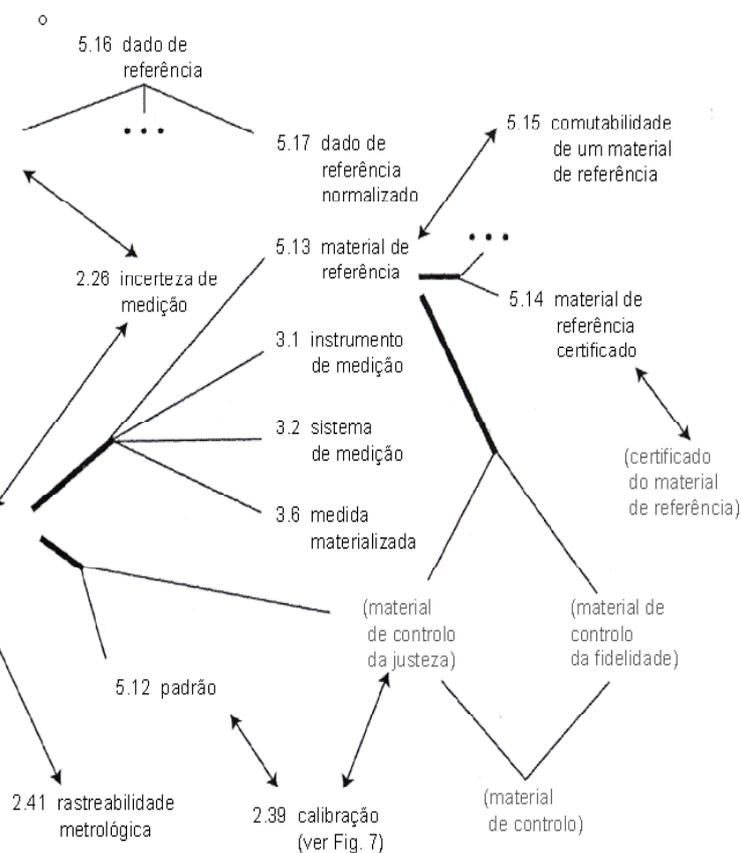
Enquanto Guia da ISO, o VIM deverá então ser agora observado e respeitado nas revisões de outros documentos normativos especializados, nomeadamente as normas ISO e IEC, mas também nos documentos normativos e especificações nas diferentes áreas da ciência tuteladas pelas organizações participantes do consenso e por todas as outras que o entendam voluntariamente adoptar.

Vamos todos fazer um esforço para o aplicar, como as demais organizações de todos os países que participam deste esforço meritório que é a normalização, em que não há vencedores nem vencidos. Todos ganham com a normalização.

NOVIDADES DA 3ª EDIÇÃO DO VIM

Vejamos então que termos traz de novo a 3ª edição para o vocabulário normalizado da Química, muito embora alguns dos quais com aplicação nos demais domínios já antes abrangidos pela normalização da terminologia metrológica. Outros conceitos são igualmente novos mas não por influência determinante da Química.

Desde já é de referir todo um conjunto de vocábulos inter-relacionados com o conceito de *material de referência* e que podemos localizar no Diagrama conceptual da Figura 1 (adaptada da Figura 12, de que aqui se reproduz uma parte):



Sendo constante o conceito de *materiais de referência* desde a primeira edição, ele sofreu redefinições redactoriais para exactidão do conceito, sem com isso sofrer alteração de fundo. Outros conceitos são novos de todo: *dado de referência*, *dado de referência normalizado*, *valor de referência*, *comutabilidade*, *padrão intrínseco* e outros que não sendo necessário dar uma definição extensiva estão relacionados com propriedades fundamentais como a *justeza* e a *fidelidade*, ou seja os materiais de controlo da justeza e da fidelidade.

Outros termos são igualmente novos no VIM, como por exemplo: *procedimento de medição de referência*, *procedimento de medição primário*, *justeza*, *fidelidade*, *condição de fidelidade intermédia*, *fidelidade intermédia de medição*, *incerteza-alvo*, *comparabilidade metrológica*, *compatibilidade de medição*, *indicação do branco*, *selecção*.

Não se produz aqui nenhum juízo de valor sobre o mérito ou demérito desses vocábulos. Não é a hora de contestar a sua definição ou sequer de re-argumentos justificativos e muito menos pôr em causa a sua escolha. Tudo isso foi certamente muito ponderado no seio dos grupos que participaram na elaboração e objecto de escolha e definição final por parte dos peritos mais ilustres em representação das organizações que o subscrevem e que devemos respeitar, até ao momento em que for aberta de novo a sua análise em revisão futura.

A QUESTÃO DAS TRADUÇÕES

O francês e o inglês constituem as línguas-base da normalização inter-

nacional, nomeadamente da ISO e da IEC, pelo que, também no VIM, se procurou desde logo o consenso na escolha da terminologia e nas definições a ela associadas, em ambas as línguas.

A tradução portuguesa editada pelo IPQ seguiu de perto a versão francesa, como é regra nas traduções latinas europeias.

Um comentário final.

Num termo, particularmente crítico no VIM, que constitui uma das propriedades da medição, foi quebrado o consenso anteriormente obtido nas versões nas línguas originais, de 1984 e de 1993. Ou seja, as versões em língua francesa e inglesa divergiram agora na escolha do nome do vocábulo, tendo por base a mesma definição: o conceito de *fidelité* em francês / *precision* em inglês. Também neste termo a versão portuguesa adoptou a origem terminológica francesa, não apenas por essa razão determinante mas também porque a recuperação de um termo que deixou de existir há mais de 20 anos na terminologia metrológica, apesar de todos a ele estarem habituados, a sua reintrodução não deixaria de lembrar as suas várias associações. Com efeito, antes de 1984, data da 1ª edição portuguesa do VIM, a palavra *precisão* estavam associadas propriedades metrológicas diferentes, consoante a interpretação de cada um e as tradições de proximidade com fornecedores de equipamentos, de professores, chefias, tutelas científico-técnicas e tantas outras influências. A sua eliminação, porque desnecessário face à existência de outros

vocábulos suficientes para qualificar as propriedades de uma medição ou de um instrumento, apesar de previsivelmente difícil, foi um sucesso e em toda a comunidade dos laboratórios de calibração o termo foi erradicado.

Foram também certamente estas as boas razões porque na nova versão internacional desde logo os franceses não aceitaram a sua reintrodução, até porque não era necessária pois existia no vocabulário anterior o termo *fidelité* (no português, fidelidade). Só a versão inglesa é que o reintroduziu muito embora também sem necessidade porque tinham alternativas anteriores (a *freedom from bias*), talvez pela pressão dos americanos mais liberais. A discussão no seio do JCGM não deve ter sido muito pacífica, mas os franceses que nestas questões terminológicas têm muito peso e uma grande tradição de solidez mantiveram a sua posição que foi adoptada na versão portuguesa.

REFERÊNCIAS

- [1] Guia ISO /IEC 99 – Vocabulário Internacional de Metrologia, editado pelo IPQ, 2008, 93 pág.
- [2] Paul de Bièvre, actualmente consultor independente em Metrologia Química, foi Director do prestigiado instituto europeu IRMM (*Institut for Reference Materials and Measurement*)
- [3] Paul de Bièvre, “Essential for metrology in chemistry, but not yet achieved: truly internationally understood concepts and associated terms”, *Metrologia* 45 (2008) 335-341.

ACTUALIDADE CIENTÍFICA

BIOENERGIA BASEADA EM MICROORGANISMOS

A resposta à crise de combustíveis latente no século XXI pode depender de uma mudança de escala, mais precisamente numa aposta na escala microscópica. Os organismos microscópicos como as bactérias e as cianobactérias, os fungos e as microalgas constituem-se como unidades industriais biológicas para produção

de biocombustíveis eficientes e viáveis na substituição dos derivados petroquímicos. Esta foi uma das áreas principais de investigação discutida no 109th General Meeting of the American Society for Microbiology.

Tim Donohue da Universidade de Wisconsin-Madison, afirma “Fomos encarregues do desenvolvimento da próxima geração de biocombustíveis celulósicos. Quando formos capazes de introduzir na grelha energética

combustíveis provenientes de fontes vegetais celulósicas não alimentares conseguiremos mitigar o debate dos alimentos versus combustíveis”. No que diz respeito aos combustíveis alternativos, actualmente o mais importante é o etanol. Quase todo o etanol produzido nos Estados Unidos da América é obtido através da fermentação de açúcares facilmente acessíveis provenientes de amido de milho. Este processo tem recentemente levantado um coro crescente de críticas, sendo

objecto de acusações de que contribuiria para o aumento dos preços dos produtos alimentares.

Deste modo, os investigadores interessaram-se na procura de fontes de biomassa alternativas às fontes alimentares que possam sustentar o processo de fermentação de açúcares a etanol. A possibilidade mais promissora consiste no aproveitamento da biomassa lenhocelulósica que inclui uma grande variedade de fontes como, resíduos florestais (por exemplo serradura ou resíduos da indústria papelreira), resíduos de papel municipais, resíduos agrícolas (incluindo o bagaço de cana de açúcar), culturas energéticas dedicadas (como o painço) e partes não aproveitáveis da cultura do milho. A desvantagem destas fontes de biomassa, em relação ao amido, é o facto dos açúcares estarem muito menos acessíveis, já que se encontram protegidos pela estrutura lenhocelulósica. A chave no sucesso desta tecnologia consiste na eficaz libertação dos açúcares retidos na biomassa lenhocelulósica.

Para esse fim, alguns cientistas recorreram a um procedimento vulgar na indústria farmacêutica. As companhias farmacêuticas aplicam de forma rotineira um processo conhecido como *High Throughput Screening* para testar de um forma eficiente e rápida o potencial de milhares de compostos como possíveis fármacos. Martin Keller e a sua equipa, do *Oak Ridge National Laboratory* adoptaram esta estratégia para testar rapidamente a capacidade de libertação de açúcares em amostras vegetais provenientes de choupos.

Keller afirma que “Pela primeira vez, desenvolvemos um processo sistemático de avaliação para analisar milhares de amostras. Usámos amostras de aproximadamente 1300 choupos do noroeste dos Estados Unidos e recorreremos ao processo de avaliação para registar as diferenças na capacidade de libertação dos açúcares. As plantas podem ser muito diferentes. Podemos encontrar grandes diferenças na digestibilidade, mesmo dentro de indivíduos da mesma espécie”. Keller afirma que, por enquanto, apenas se pode especular acerca das

razões que conduzem às diferenças observadas entre plantas da mesma espécie. De facto, estas podem ser devidas a factores genéticos ou ambientais. Para ultrapassar este problema a equipa recorre ao cultivo de amostras em ambientes controlados, numa tentativa de compreender melhor as diferenças observadas e as possíveis razões subjacentes.

Adicionalmente, a equipa de Keller procura microorganismos que revelem aptidões especiais na degradação dos materiais lenhocelulósicos. Nesse sentido estão actualmente a estudar uma bactéria designada por *Anaerocellum*, descoberta em nascentes de água quente em Yellowstone. Este organismo cresce em condições termófilas (aproximadamente 80 °C) e apresenta características que o permitem caracterizar como um microorganismo de processamento consolidado, ou seja, não só promove a degradação da lenhocelulose a açúcares simples, como fermenta estes açúcares a acetato e etanol, reduzindo custos e tempos de processamento.

Keller conclui que “No presente momento, a digestão de biomassa celulósica é um processo dispendioso. Deste modo, ainda não é possível explorar uma indústria de biocombustíveis sustentada e viável. No entanto, este é o problema que centros de investigação como o nosso aspiram a ultrapassar”.

Assim que este objectivo seja alcançado, existem empresas dispostas a avançar. Andreas Schirmer da companhia LS9 de South San Francisco propõe uma estratégia inovadora. Esta empresa desenvolveu um microorganismo que produz diesel UltraClean™ através de um processo directo de apenas um passo. Os microorganismos têm a capacidade de produzir ácidos gordos altamente energéticos que aplicam na síntese da membrana celular e em compostos de armazenamento de energia. O objectivo consiste em aproveitar este processo para a produção de biocombustíveis. Dentro do reactor onde os microorganismos e a biomassa são postos em contacto, o processo decorre em fase aquosa de forma a que os compostos oleaginosos subam à superfície e possam ser

facilmente removidos do meio reacional de uma forma muito mais barata do que o processo intensivamente energético de destilação usado para recuperar o etanol.

Schirmer afirma que, de momento, estão a usar cana-de-açúcar, que é uma opção economicamente viável, e estima que este procedimento pode potencialmente levar a uma redução de 80% na pegada de carbono, em relação aos combustíveis petroquímicos. Schirmer acrescenta “Logo que as fontes de segunda geração se tornem economicamente viáveis estamos em condições de rapidamente converter os processos de produção e poderemos atingir reduções ainda maiores de emissões de gases de efeito de estufa”.

Para além do etanol e do biodiesel, os investigadores procuram por novas formas de produção de hidrogénio a partir de recursos renováveis. A equipa de Donohue trabalha com uma bactéria chamada *Rhodobacter sphaeroides* que aplica fotossíntese para produzir hidrogénio a partir de uma combinação de fontes de biomassa celulósica e da luz solar. O hidrogénio pode ser posteriormente usado na produção de energia eléctrica, através de células de combustível que a própria equipa também se encontra a desenvolver. Deste modo, já construíram protótipos de “baterias microbianas” à escala laboratorial, um sistema que combina num dispositivo fechado único as bactérias e as células de combustível, e que, quando expostas à luz solar, produzem energia suficiente para alimentar um computador portátil.

(adaptado de *ScienceDaily*
[www.sciencedaily.com/
releases/2009/05/090518101906.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2009/05/090518101906.htm),
acedido em 19/05/2009)

Paulo Brito

OS ÁTOMOS EXISTEM MESMO ... E PODEM “VER”-SE !

Foram propostos pelos filósofos gregos do século V antes de Cristo (sobretudo Leucipo e Demócrito), como as quantidades mínimas de matéria de que são feitas todas as coisas.

Para Platão, os átomos de cada um dos quatro elementos tinham formas geométricas de sólidos simples: os átomos de terra eram cubos, os de fogo, tetraedros, os de ar, octaedros, e os de água, icosaedros.

Lucrécio, no século I antes de Cristo, dedicou aos átomos um grande número de versos no seu poema *de Rerum Natura*. Para Lucrécio, também a alma, uma vez que existia, tinha de ser feita de átomos.

Porém, necessariamente mais subtil do que os da água... — mas nada melhor do que citar o próprio Lucrécio, embora numa (pouco poética) tradução nossa (a partir de uma versão em inglês):

“...
Primeiramente, como ensinei, a alma é subtil substância, de partículas diminutas feita de átomos, mais pequenos que os da água, do nevoeiro, ou do fumo pois que em ligeireza os excede.”

Filósofos houve que negaram a existência da própria matéria, como Berkeley (1685-1753). Berkeley mantinha que os objectos materiais só existem na nossa mente — só existem mentes e ideias. O mundo físico exterior não existe.

As coisas existem porque alguém delas tem a percepção. Deus é esse alguém quando nós não estamos a olhar.

A moderna teoria atómica surge apenas nos séculos XVII e XVIII, assente no princípio de que as substâncias químicas não podem ser divididas por métodos químicos, para além de certos limites.

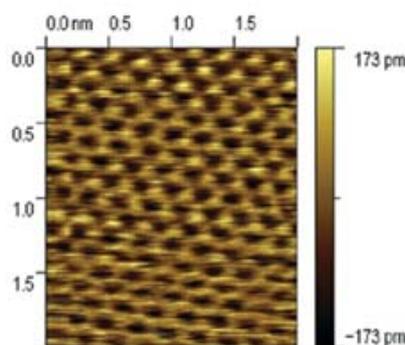


Figura 1 Imagem dos átomos de carbono numa superfície de grafite, obtida com o microscópio de varrimento de efeito de túnel (*Scanning Tunneling Microscope, STM*) no Laboratório do Instituto de Telecomunicações, em Lisboa. Notem-se as escalas X,Y em nanómetros e Z (relevô) em picómetros (pm)

Atribui-se ao professor de liceu inglês, John Dalton (1766-1844), uma definição precisa de átomo, por volta de 1803. Segundo Dalton, o átomo é a menor quantidade de matéria de um dado elemento que pode participar numa reacção química. Os átomos são muito pequenos e indivisíveis. Todos os átomos do mesmo elemento são idênticos, tendo o mesmo tamanho, a mesma massa e as mesmas propriedades químicas. Os compostos químicos são constituídos por átomos de mais de um elemento, combinados em proporções bem determinadas. Já em 1799, o químico francês Joseph-Louis Proust (1754-1826), concluiu que qualquer amostra de um dado composto possui os elementos constituintes sempre nas mesmas proporções mássicas.

Em 1869, Dmitri Mendeleev (1834-1907) publicou o primeiro quadro periódico dos elementos, organizando-os em função da massa atómica e evidenciando a periodicidade das suas propriedades químicas e físicas, abrindo assim o caminho para uma compreensão sistemática da Química com base na estrutura atómica.

Um grande número de estudos feitos a partir de 1850 e que prosseguiram até meados do século XX, vieram, no entanto, mostrar que os átomos não são simples e indivisíveis, mas sim com uma estrutura interna, constituídos por um núcleo (com prótons e neutrões) e um conjunto de electrões à sua volta.

De entre as descobertas e contribuições mais importantes, destacam-se:

- i) a descoberta e identificação da radioactividade por Henri Becquerel, Marie e Pierre Curie, e Ernest Rutherford;
- ii) a descoberta do electrão em 1897, por Joseph John Thomson;
- iii) a identificação do núcleo atómico, entre 1909 e 1911, por Ernest Rutherford e Hans Geiger;
- iv) a determinação da massa do electrão, em 1913, por Robert Andrews Millikan;
- v) a descoberta da carga no núcleo e dos isótopos naturais dos elementos, por Joseph John Thomson em 1913;
- vi) a determinação do número atómico e reorganização do quadro periódico, por Henry Moseley, em 1913;
- vii) a confirmação da existência do próton e a proposta da existência do neutrão, em 1919, por Ernest Rutherford;
- viii) a identificação do neutrão por James Chadwick, em 1931.

A “compreensão” que hoje se tem do átomo só começou a delinear-se na década de 1920, com o advento da Mecânica Quântica. Note-se que o termo “compreensão” apenas significa que podemos justificar e prever com muita precisão, os valores de certas grandezas físicas associadas aos átomos. A verdadeira natureza da matéria (e do átomo) continua elusiva e é, pode dizer-se, um problema filosófico. Segundo Bertrand Russell, a matéria não é o que, em última análise, constitui o mundo físico. É apenas uma maneira conveniente de agrupar e relacionar os *eventos* que nós associamos a uma *quantidade de material*. Nas palavras de Bertrand Russell, em meados do século XX, “enquanto que a Física tem vindo a considerar a matéria cada vez menos material, Nas palavras de Bertrand Russell, em meados do século XX, “enquanto que a Física tem vindo a considerar a matéria cada vez menos material, a Psicologia tem vindo a considerar a mente cada vez menos mental”.

O primeiro modelo razoável do átomo foi proposto por Bohr em 1913. Segundo esse modelo, os electrões num átomo (e.g., um electrão no átomo de hidrogénio) só podem estar em determinados estados ou níveis de energia, havendo emissão ou absorção de luz (energia) quando passam de uns níveis para outros. O modelo de Bohr foi muito importante porque alterou completamente o paradigma da altura, sobre a ideia do que era o átomo, e das propriedades que a ele se podem atribuir. Tornou-se claro que era errada a ideia de que o átomo era semelhante a um pequeno sistema planetário, com um núcleo à volta do qual os electrões giravam. Segundo as leis da mecânica clássica (de Newton), e mesmo incluindo o electromagnetismo (de Maxwell), os electrões, com cargas eléctricas negativas, cairiam sobre o núcleo, com carga eléctrica positiva, numa fracção de segundo, sendo portanto o átomo instável, o que não corresponde à verdade. Foi preciso admitir que os electrões se comportam como uma espécie de onda (de amplitude de probabilidade) à volta do núcleo, não se lhes podendo atribuir posição ou trajectória bem definidas, embora na nossa concepção clássica eles sejam partículas. A ideia de Bohr, de que a descrição do átomo só poderia ser feita em termos de níveis de energia ou estados, e não das posições e trajectórias dos seus constituintes (o núcleo e os electrões), estava na linha de algumas das ideias revolucionárias que, na altura, começavam a tomar forma, sobre a natureza discreta (não contínua) de algumas grandezas físicas associadas à luz e à matéria. Uma dessas ideias fundamentais era a de que a luz é emitida e absorvida em quantidades discretas (*quanta*), devida a Max Planck, que a formulou publicamente no dia 14 de Dezembro de 1901 [1], numa conferência que proferiu na Sociedade Alemã de Física, em Berlim. Esta data marca o nascimento da *Mecânica Quântica*. Outra ideia, igualmente fundamental, é a de que, nas interacções com a matéria, os quanta se comportam como partículas, devida a Einstein, e que constituiu uma das conclusões do seu artigo sobre o efeito fotoeléctrico — um dos cinco artigos revolucionários da Física, publicados por Einstein no seu ano *miraculoso* de 1905. Curiosamente, Einstein foi um dos mais acérrimos

opositores da Mecânica Quântica, tendo ficado célebre a correspondência trocada com Niels Bohr.

Segundo a teoria quântica, que em resultado de muitas ideias inovadoras tomou, no final dos anos de 1920, a forma de uma teoria coerente do ponto de vista formal (matemático), embora controversa em termos de senso comum, os elementos que constituem o átomo, e o próprio átomo como um todo, têm, em movimento, um comportamento *ondulatório*, daí resultando que os valores de certas grandezas físicas a eles associadas são muitas vezes descontínuos e ocorrem em saltos discretos ou quânticos. Por isso, o nome de física quântica, ou mecânica quântica. A teoria actual resultou de um longo e excitante percurso de quase três décadas, que teve início com Max Planck, em 1900, e que se consolidou no final dos anos de 1920 com a formulação das suas equações fundamentais. A Mecânica Quântica, embora uma teoria geral, em princípio, aplicável a tudo o que existe, tem particular relevância para explicar as propriedades (grandezas físicas) de objectos muito pequenos como os átomos e as moléculas, as quais não são cabalmente explicadas pela Mecânica Clássica.

Segundo a Mecânica Quântica, os valores das propriedades *observáveis* dos átomos podem ser calculados com enorme precisão através da resolução da chamada equação de Schrödinger, embora só para o átomo mais pequeno, o átomo de hidrogénio, constituído por um próton e um electrão, essa equação tenha uma solução exacta.

No paradigma actual, os átomos têm dimensões da ordem dos décimos de nanómetro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) e são constituídos por um núcleo (com prótons e neutrões), com dimensões da ordem dos 10^{-15} m , e electrões, que são cargas pontuais sem dimensões. Os electrões em movimento (com velocidades, clássicas, da ordem do milhão de km/h) distribuem-se numa *nuvem de probabilidade* à volta do núcleo. Em 1981, os investigadores da IBM em Zurique, Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, inventaram o *microscópio de varrimento de efeito de túnel* (STM, do inglês *Scanning Tunneling Microscope*), capaz de observar superfícies à

escala atómica, tendo, pela manifesta importância dessa invenção, recebido, em 1986, o prémio Nobel de Física. O funcionamento do aparelho é explicado pela Mecânica Quântica: uma ponta de metal, usualmente de uma liga de platina e irídio, ou ouro, é posicionada a uma distância de poucos ångstroms ($2 - 5 \text{ Å}$) ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$) de uma superfície condutora (Fig. 2). Em resultado da aplicação de uma diferença de potencial de 1 mV a 4 V, uma corrente eléctrica da ordem de 0,1 nA a 10 nA ($1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ ampere}$) pode fluir entre a ponta e a superfície, pelo chamado *efeito de túnel*, sendo a corrente tanto maior quanto menor for a distância entre a ponta e a superfície. A ponta está montada num tubo de material *piezoeléctrico* [2] de modo a que pequenos movimentos de aproximação e deslocamento sobre a superfície possam ser controlados pela aplicação de pequenas diferenças de potencial. Fazendo o varrimento da superfície com a ponta, podem medir-se as alterações na corrente em resultado do seu relevo. Os resultados dessas medidas, depois de processados com um *software* adequado, geram um mapa da topografia da superfície com resolução atómica. O STM veio potencializar a nanotecnologia, pois para além de ser, com ele, possível “ver” os átomos, é também possível *manipulá-los*.

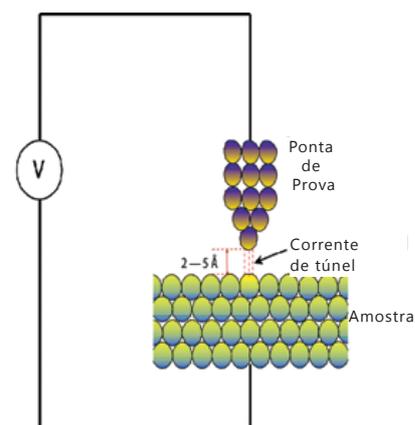


Figura 2 Esquema simplificado do microscópio de varrimento de efeito de túnel (STM)

Na sequência da invenção do STM, surgiu o microscópio de força atómica (AFM, do inglês *Atomic Force Microscope*). O seu funcionamento baseia-se na proximidade de uma ponta em relação à superfície a ser analisada, tal como acontece no STM. Contudo, no AFM, a ponta não tem de ser necessariamente condutora, porque

as interações com a superfície baseiam-se em *forças de van der Waals* ou/ e forças de tensão superficial.

O AFM torna-se vantajoso quando se pretendem analisar superfícies que não sejam condutoras. Neste caso, a ponta (usualmente de silício) varre a superfície da amostra (direcções X e Y) a uma distância controlada (direcção Z). O movimento é também controlado por um dispositivo piezoeléctrico conhecido por *scanner*. A ponta é suportada por uma haste flexível, o *cantilever*, onde incide um laser cujo feixe é reflectido para um *fotodetector*. As alterações na interacção da ponta com a superfície induzem diferentes deflexões no *cantilever* que por sua vez modifica o ângulo de incidência do feixe do laser. O fotodetector capta todas as mudanças de posição do feixe do laser, transformando-as em sinal eléctrico que realimenta o *scanner* piezoeléctrico.



Figura 3 Fotografia do equipamento AFM/STM. Uma estrutura comum permite escolher a opção AFM (a que se vê na imagem) ou a opção STM

O AFM tornou-se numa técnica versátil na análise de superfícies à escala nanométrica.

Hoje existem vários modos de observação, sendo os principais, o modo *de contacto* e o *modo de não contacto*. Este último é vulgarmente usado na análise de superfícies poliméricas e biológicas pelo facto de não causar danos na amostra, visto que não existe qualquer contacto físico entre a ponta e a amostra.

É claro que a palavra “ver” quando aplicada a átomos, não tem, no senso comum, o mesmo significado que quando aplicada a, por exemplo, uma flor.

Para “ver” os átomos tenho de usar um modelo, a partir do qual, o *software* do computador associado ao STM vai gerar uma imagem. Mas... será o processo de ver uma flor muito diferente?

As actuais teorias da neurociência dão uma certa razão a Berkeley. De facto, a “realidade exterior” é uma construção do cérebro [3]. Os nossos sentidos são confrontados com um mundo caótico, mudando constantemente, e o cérebro tem de interpretar esse mundo.

São as correlações da informação sensorial no cérebro que geram o conhecimento sobre o que nos rodeia — as imagens, os sons: “a percepção não é a simples reflexão do *input* ime-

diato, mas envolve *construção* e *comparação* pelo cérebro”.

Contrariamente à nossa experiência visual, não há cores, há apenas ondas electromagnéticas de muitos comprimentos de onda. O cérebro compara a quantidade de luz dos vários comprimentos de onda e a partir dessas comparações gera as cores que nós vemos.

REFERÊNCIAS

- [1] Ver por exemplo, <http://dererummundi.blogspot.com/2007/12/efemride-nascimento-da-teoria-quntica.html>
- [2] Uma peça de material *piezoeléctrico* deforma-se mediante a aplicação de uma diferença de potencial.
- [3] Ver por exemplo, <http://www.nybooks.com/articles/21575>

Luís Alcácer e Quirina Ferreira
Instituto de Telecomunicações, Lisboa