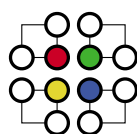




Cadernos Didácticos de Ciências

Volume 1





Ficha Técnica

Biblioteca Nacional - Catalogação na Publicação

Cadernos didácticos de ciências / Manuel Pedro
Fevereiro...[et al.]; org. Helena Valdeira Caetano,
Maria Graça Santos. - 2v. (Cadernos didácticos; 1)
1º v.: p. - ISBN 972-8417-55-1

I- Fevereiro, Manuel Pedro
II- Caetano, Helena Valdeira, 1963-
III- Santos, Maria Graça, 1970-

CDU 371.6
371.1
5/6

As opiniões expressas nos textos apresentados nesta publicação são da responsabilidade dos autores e não reflectem necessariamente a opinião do Departamento do Ensino Secundário ou do Ministério da Educação

Título: Cadernos didácticos de Ciências

1ª Edição: Janeiro de 2001

ISBN: 972-8417-55-1

Edição: Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário (DES), Av. 24 de Julho, 138, 1399-026 Lisboa

E-mail: des@des.min-edu.pt

Internet: www.des.min-edu.pt

Organização: Helena Valdeira Caetano e Maria Graça Santos (DES)

Design e Grafismo: PREGÃO, Marketing, Publicidade, & Design, Lda.

Fotolito e Impressão: SELEPRINTER, sociedade gráfica, lda.

Tiragem: 4 000 exemplares

Deposito Legal: ??????/?

Publicação co-financiada pelo Fundo Social Europeu no âmbito do Programa de Desenvolvimento educativo para Portugal - PRODEP

Índice

Nota de abertura <i>Domingos Fernandes</i>	5
Biologia / Didáctica da Biologia	6
Cultura in vitro de plantas <i>Manuel Pedro Fevereiro e Lucinda Neves</i>	9
Ensino Experimental da Biologia <i>H. Gil Ferreira</i>	13
Geologia / Didáctica da Geologia	16
O "ciclo geológico" de James Hutton <i>Filomena Amador</i>	19
Física / Didáctica da Física	26
Porque é que a Lua não cai? <i>J. M. B. Lopes dos Santos</i>	29
Química / Didáctica da Química	36
Na sala de jantar com a química <i>Elvira Callapez e Paulina Mata</i>	39
Química computacional <i>Fernando M. S. Silva Fernandes</i>	55
Didáctica das Ciências	76
Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências <i>Laurinda Leite</i>	79

Nota de abertura

*Domingos Fernandes**

O Departamento do Ensino Secundário, no âmbito da Revisão Curricular em curso, tem promovido a publicação de materiais de apoio aos professores de diversas disciplinas. A colecção de Cadernos Didácticos de Ciência que agora se inicia destina-se a apoiar os professores no ensino da Biologia, da Geologia, da Física e da Química, muito particularmente, e de acordo com um dos princípios fundamentais da Revisão Curricular, divulgando sugestões didácticas que contribuam para que o ensino de natureza experimental seja uma realidade cada vez mais presente nas escolas secundárias.

É convicção de muitos investigadores e professores que o ensino de natureza experimental, e a relação concreta que proporciona com os saberes, permite motivar e mesmo entusiasmar muitos jovens para o estudo das ciências. Atrair jovens para o estudo e para a investigação em ciências é uma forma de a escola secundária contribuir para a construção de uma sociedade mais moderna e mais desenvolvida a todos os níveis. Os materiais sobre o ensino das ciências que agora se divulgam constituem um conjunto de sugestões e reflexões didácticas que só terão real significado se contrastados com as práticas lectivas de cada professora e de cada professor. Por isso nos parece importante sugerir que eles possam ser utilizados para animar discussões e reflexões conjuntas acerca do ensino e da aprendizagem das ciências. Em última análise, são materiais que podem contribuir para o desenvolvimento pessoal e profissional dos professores.

Não posso deixar de agradecer todas as contribuições recebidas da Comissão de Acompanhamento do Ensino das Ciências, criada no âmbito do Departamento do Ensino Secundário, para a consecução deste projecto de apoio aos professores de Ciências. Um agradecimento especial é naturalmente devido aos autores e revisores científicos e didácticos dos textos incluídos neste primeiro número dos Cadernos Didácticos de Ciência, pelo interesse e especial cuidado que lhe dedicaram.

* Director do Departamento do Ensino Secundário





Biologia / Didáctica da Biologia

Gil Ferreira é licenciado em Medicina, Pós - Graduado de Bioengenharia pelo Department of Electrical Engineering, Imperial College of Science and Technology, London. Ph.D. (Cantab., Churchill), Physiological Laboratory, Universidade de Cambridge. Doutor em Fisiologia pela Universidade do Porto (equivalência).

Entre 1964 e 1987 foi Investigador do Centro de Biologia, Instituto Gulbenkian de Ciência, em Oeiras, tendo, entre 1982 e 1987, chefiado ali o Laboratório de Fisiologia. Chefiou o Lab. de Fisiologia do Instituto Abel Salazar de 1982 até 1996. É Prof. Cat. (conv.) da Faculdade de Medicina Veterinária (UTL) desde 1987 e Prof. Cat. (conv.) da FCT da UNL desde 1996. Foi Professor Adjunto da Medical University of South Carolina de 1985 a 1997. Membro Titular da Academia Portuguesa de Medicina desde 1998.

Lucinda Neves é licenciada em Biologia Vegetal Aplicada pela Faculdade de Ciências da Universidade Clássica de Lisboa (1989), tem Mestrado em Produção de plantas e microorganismos pela Universidade Agrícola de Wageningen (1993). Doutorada em Biotecnologia Vegetal FCL pela Faculdade de Ciências da Universidade Clássica de Lisboa /ITQB UNI (2000).

Tem desenvolvido trabalho na área de micropropagação de espécies lenhosas (nogueira e pinheiro bravo), nodulação (efeito dos lipooligosacáridos no estabelecimento da relação simbiótica), transformação de plantas (delineamento de estratégias para a modificação da tolerância à secura na planta forrageira *Medicago truncatula*). Actualmente participa na área de desenvolvimento vegetativo (micropropagação e macropropagação de *Eucalyptus globulus*) na empresa StoraEnso Celbi.

Manuel Pedro Salema Fevereiro é Professor Auxiliar de nomeação definitiva do Departamento de Biologia Vegetal da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Fez doutoramento em Biologia Celular, em 1992. Actualmente tem a seu cargo as disciplinas de Tecnologia da Produção e Utilização de Biocatalisadores no Departamento de Biologia Vegetal da FCUL. É Director do Laboratório de Biotecnologia de Células Vegetais do Instituto de Tecnologia Química e Biológica (ITQB), em Oeiras. É responsável pela coordenação de vários projectos, nomeadamente, Projecto Estratégico Eureka – Euroforest e GEMINI. Co-autor de 22 artigos de investigação e de um capítulo de um livro. É Bastonário da Ordem de Biólogos desde Maio de 1999.

Consultor

Mário Jorge Freitas é licenciado em Biologia, em 1981, pela Universidade do Porto e Doutoramento em Educação pela Universidade do Minho, em 1999. Foi professor dos Ensinos Básico e Secundário de 1978 a 1983. É professor Auxiliar do Departamento de Currículo e Metodologias de Educação do Instituto de Educação da Universidade do Minho. Tem-se dedicado à investigação em Didáctica das Ciências e à Formação Inicial e Contínua de Professores, em particular de professores de Biologia – Geologia e Ciências da Natureza.

É autor e co-autor de vários artigos em revistas nacionais e estrangeiras de Educação e de manuais de Ciências para o Ensino Básico e Secundário. É actualmente Director Geral do Parque Nacional Peneda Gerês.



Cultura *in vitro* de plantas

Uma tecnologia para o Ensino Experimental da Biologia

Manuel Pedro Fevereiro e Lucinda Neves

A cultura *in vitro* de plantas é, sob diferentes pontos de vista, uma ferramenta atraente para o ensino da Biologia no Ensino Secundário: permite chamar a atenção dos alunos para conceitos fundamentais, como a teoria celular, a totipotência, o controlo dos processos de diferenciação nos seres vivos superiores; permite desenvolver experimentação, através da elaboração e teste de hipóteses; permite testar aptidões técnicas, como a capacidade de manusear material biológico em condições de assepsia, ou a capacidade de identificar e dissecar determinado órgão ou estrutura; permite utilizar um modelo não animal, manuseável sem as condicionantes éticas levantadas pela utilização de animais superiores para experimentação na sala de aula.

A cultura *in vitro* de plantas não é complicada. A maioria das Escolas que conheço dispõe do equipamento de laboratório necessário para permitir realizar pequenas experiências de cultura *in vitro*. De qualquer forma, o custo do equipamento necessário não ultrapassa o que é solicitado para o desenvolvimento de qualquer projecto Ciência Viva, podendo, portanto, vir a ser obtido por qualquer Escola com vontade e iniciativa.

Mas o que é a cultura *in vitro* de plantas? É uma metodologia que, recorrendo a um meio de cultura específico, suplementado com fitorreguladores, a um agente gelificante, a um ambiente asséptico e a condições de luz e temperatura adequadas, permite a multiplicação e diferenciação de plantas em laboratório, dentro de recipientes fechados.

Esta metodologia recorre a qualquer porção de planta para o início do processo: qualquer órgão ou porção de órgão, sobretudo se for jovem, é utilizável para iniciar uma cultura *in vitro*. As sementes são muitas vezes usadas para iniciar uma cultura *in vitro* (se não é necessário preservar um determinado genótipo), pois podem ser mais facilmente desinfectadas.

No Laboratório de Biotecnologia de Células Vegetais (LBCV) do Instituto de Tecnologia Química e Biológica da Universidade Nova, localizado em Oeiras, na Quinta do Marquês, esta tecnologia é utilizada diariamente para manter várias linhagens de espécies diferentes de plantas herbáceas e lenhosas. Uma das plantas em estudo é a *Medicago truncatula* (uma luzerna anual, leguminosa pratense utilizada na produção de alimento em fresco ou para forragem para gado). Esta planta, em condições adequadas, sofre um processo de diferenciação *in vitro* denominado de Embriogénese Somática. Neste processo, as células dos folíolos desta planta multiplicam-se, dando origem a células capazes de, por multiplicação e diferenciação, darem origem a embriões, em tudo idênticos aos originados por desenvolvimento de um zigoto (resultante da fusão do grão de pólen germinado com o óvulo).

O desenvolvimento deste processo implica duas fases: uma primeira fase em que os folíolos de *M. truncatula*, provenientes de plantas mantidas *in vitro*, são inoculadas num meio de indução, suplementado com uma auxina e uma citocinina, durante cerca de 21 dias; uma segunda fase em que o "explante" (denominação da porção de planta colocada no meio de cultura) é colocado num meio de cultura sem fitorreguladores.

Este processo foi inteiramente dominado por uma aluna do 12º ano, durante o ano lectivo de 1998/99, que quis trabalhar durante uma tarde por semana neste laboratório, a qual, no final do ano lectivo, preparava, sem auxílio, as condições necessárias à realização de experiências específicas neste sistema.

O protocolo para a indução de embriogénese somática na *Medicago truncatula* é relativamente simples:

Material:

Plantas de *Medicago truncatula* da linhagem embriogénica M910a, mantidas em cultura *in vitro*. Este material pode ser fornecido pelo LBCV, com acordo prévio.

Equipamento:

Autoclave (substituível por uma panela de pressão)

Bancada de fluxo laminar ou zona esterilizada
por lâmpada de UV germicida e limpa

Medidor de pH

Balança



Cultura *in vitro* de plantas

Pipetas (caso sejam automáticas, pontas de plástico)
Pinças e lâminas de barbear
Caixas de petri
Papel de filtro
Película aderente
Gambiarra de quatro lâmpadas fluorescentes com temporizador
Lupa binocular

Reagentes:

Meio de Murashige & Skoog
(Duchefa ref. M0222 comprável na Alfagene)
Sacarose (20gr por litro de meio de cultura)
Agar (0,8gr por litro de meio)
Ácido Diclorofenoxiacético (2,4D)
(solução mãe de 10mg/l - 0,5mg/l de meio)
Benziladenina (BA) (solução mãe de 10mg/l - 0,5mg/l de meio)
(soluções de fitoreguladores fornecidas pelo LBCV)
Soluções 1M de Ácido Clorídrico (HCl)
e de Hidróxido de Sódio (NaOH)

Procedimentos:

O meio de cultura é fornecido sob a forma de um pó. Este é pesado, de acordo com o fornecedor, de forma a perfazer o peso necessário para um litro de meio de cultura. Adicionam-se a Sacarose e os fitoreguladores (2,4D e BA) de forma a se obterem as concentrações desejadas no meio.

Após dissolução completa, o pH do meio é ajustado para 5,5 com adição de HCl ou NaOH.

Adiciona-se o agar.

O meio vai a autoclavar durante 20 minutos a 120°C.

Após autoclavagem, o meio é dispensado, em condições de assepsia, antes de solidificar, pelas caixas de petri.

Inoculação:

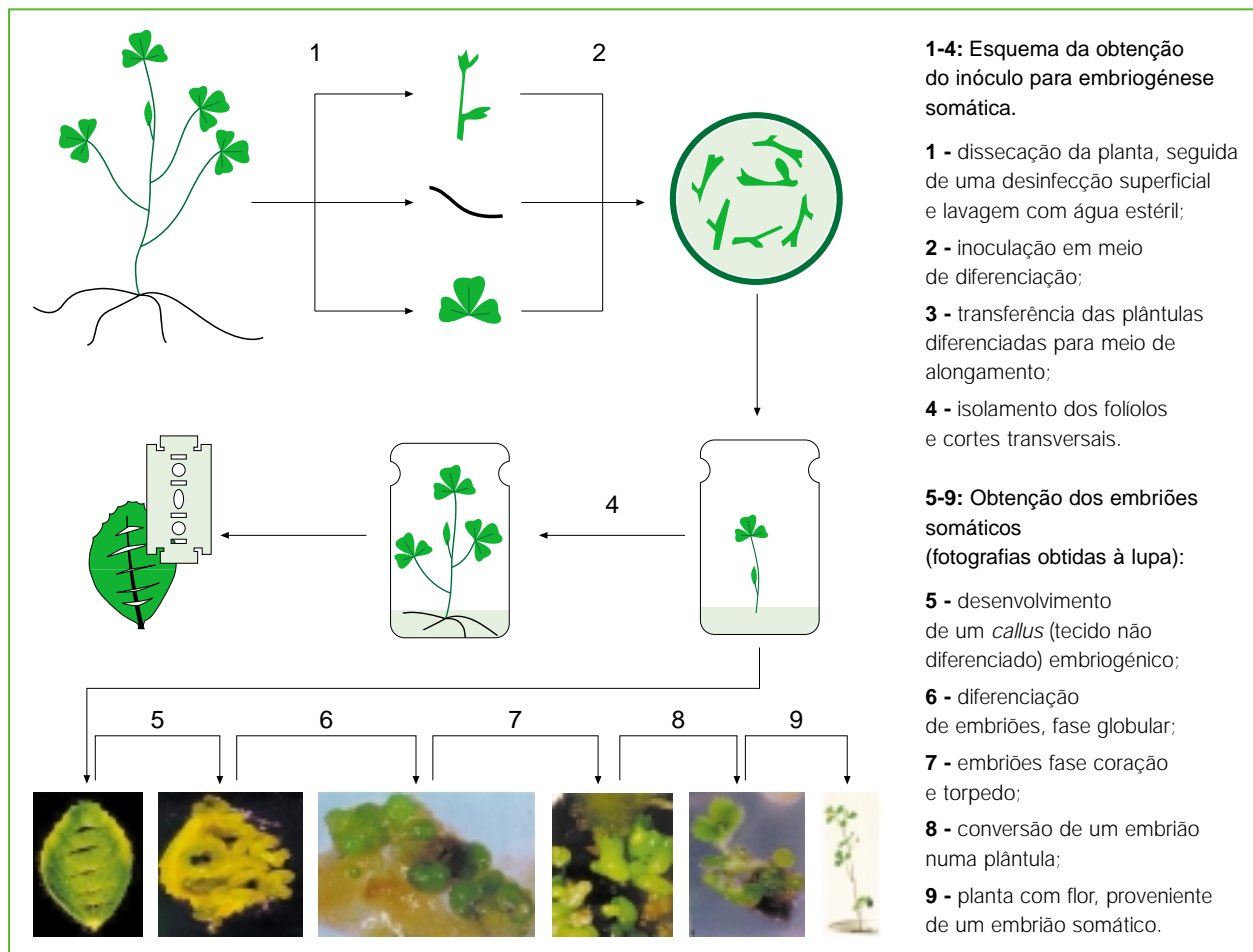
As plantas são retiradas dos frascos de cultura e colocadas em papel de filtro, previamente humedecido e esterilizado. Os folíolos são dissecados e são executados cortes transversais à nervura central, com meia lâmina de barbear estéril. Os folíolos são colocados com a fase abaxial contra o meio de cultura previamente solidificado.

As caixas, seladas com película aderente, são colocadas sob fotoperíodo (18 horas de luz/6 horas de escuro) numa sala com temperatura amena ($\pm 24^{\circ}\text{C}$). 21 dias após, os explantes são transferidos para novas caixas de petri com meio de cultura fresco, sem suplementação com fitorreguladores.

As culturas devem ser observadas regularmente à lupa, para observação do evoluir da cultura.

O desenvolvimento deste processo pode ser observado na **figura**.

Este trabalho permite seguir e apreender o desenvolvimento embrionário de uma planta, permitindo também testar o efeito, por exemplo, da fonte de carbono, ou das concentrações de fitorreguladores, ou da luz (quantidade e qualidade) na diferenciação das plantas. Embora o exemplo dado seja com a *Medicago truncatula*, outras plantas herbáceas podem ser seleccionadas, bem como outros objectivos, como seja a micropropagação por rebentos axilares.





Ensino Experimental da Biologia

O contexto presente

H. Gil Ferreira

A investigação científica só foi introduzida na actividade corrente das universidades portuguesas durante os últimos 20 anos. Foi também durante este período que se deu a explosão molecular da Biologia, só comparável ao que se passou no domínio da Física no primeiro quarto deste século. Os professores de Biologia que passaram pela Universidade antes deste período, que constituem talvez a maioria, poucos contactos tiveram com investigadores em actividade e ainda menos com o processo científico.

Aprenderam biologia tirando apontamentos nas aulas, estudando por sebatas ou por livros de texto e preparando-se para exames que pouco ou nada têm a ver com ciência. Isto aconteceu enquanto a Biologia mudava radicalmente. Criou-se um anacronismo cultural que é hoje o grande obstáculo à introdução do ensino experimental nas escolas. Esta limitação é muito mais importante do que a carência de recursos financeiros ou infra - estruturais ou os vícios dos programas.

A ciência é uma cultura caracterizada por maneiras de pensar e de fazer, que, à semelhança de outras culturas, só se adquire pela via da prática, participando em actividades que, no pior dos casos, simulam a investigação. O processo científico visa a produção de explicações para observações feitas em contextos específicos. As condições (os contextos) em que se faz ciência biológica nos nossos dias são cada vez mais difíceis de reproduzir fora dos laboratórios especializados. A morfologia da microscopia electrónica, a bioquímica das moléculas observadas por ultra-centrifugação, electroforese ou espectroscopia, a biologia celular das culturas de tecidos, a neurofisiologia da micro - electrofisiologia, não estão ao alcance das escolas. Não é hoje possível verificar nos seus laboratórios a maioria esmagadora das afirmações dos manuais de Biologia. O tempo em que a Biologia se resumia à morfologia macroscópica ou microscópica das plantas e dos animais já passou.

A Biologia dos nossos dias concentra-se sobretudo em duas grandes áreas: a Biologia das Espécies e a Biologia Celular (molecular).

A Biologia das Espécies é a herdeira da biologia dos naturalistas, hoje enriquecida com métodos de observação mais finos e variados, como os poderosos processos de análise quantitativa dos fenótipos (a taxinomia numérica), a análise do repertório genético das espécies e o enquadramento dos problemas da diversidade genética em cenários mais vastos (a ecologia e assuntos relacionados). Esta área mantém a sua importância na formação dos indivíduos não só pelo seu interesse intrínseco, mas também porque permite formular juízos informados sobre muitos dos problemas levantados pela interacção entre as comunidades humanas e o mundo circundante.

É escasso o número de biólogos profissionalmente dedicados a este tipo de biologia. Isso reflecte-se nos *currícula* dos cursos de Biologia¹, cujos licenciados conhecem muito pouco da flora e da fauna que os rodeia. Sabem muito mais biologia molecular ou bioquímica. O ensino/aprendizagem da *Biologia das Espécies* pratica-se na *visita de campo* orientada para a formulação de perguntas que permitam identificar conceitos potentes relativos à dinâmica das populações. Pelas razões que apontámos esta actividade pedagógica não está ao alcance da maioria esmagadora dos professores de Biologia. Se forçada, tem o efeito oposto ao desejado, banalizando-se e inibindo a curiosidade dos alunos.

É urgente obter o apoio de biólogos portugueses e estrangeiros especialmente competentes nesta área para iniciativas escolares dedicadas ao inventário inteligente do mundo vivo circundante e seus problemas.

Existe também uma biologia *dos tecidos, dos órgãos e dos aparelhos e sistemas*, que não se restringe aos pormenores da anatomia comparada, neste momento pouco popular na comunidade científica. A aprendizagem nesta área visaria a compreensão do comportamento dinâmico de sistemas constituídos por múltiplos componentes (células, tecidos, órgãos, etc.) que exibem fenómenos de regulação orientados para a realização de determinadas funções (transporte de moléculas a distância, oxigenação, modificação da composição de compartimentos biológicos, produção de fluidos de composição controlada). De acordo com a minha experiência, esta é a área em que se cometem mais erros entre nós. Racionaliza-se a diversidade morfológica dos órgãos e sistemas nas diferentes espécies biológicas, usando argumentos teleológicos que podem ser úteis quando se faz investigação mas que são perigosos quando se aprende. Para quem aprende ciência a racionalização abusiva, não fundamentada em dados experimentais, bloqueia a curiosidade e cria irresponsabilidade intelectual. Infelizmente este estado de coisas não é corrigível pela introdução de trabalhos experimentais no ensino pré-universitário. É muito difícil desenhar protocolos experimentais que conduzam a observações simples, porque os órgãos, apare-

¹ A palavra Biologia é aqui usada no sentido genérico abrangendo, por exemplo, as ciências agrárias.



lhos e sistemas dos seres vivos são muito complexos. A simples observação das variáveis biológicas (pressão arterial, débitos circulatórios, transporte através de epitélios e outras barreiras biológicas) implica a utilização de instrumentos caros, difíceis de montar, manter e operar e de rentabilidade pedagógica muito reduzida. As restrições legais à experimentação animal impedem a utilização da maioria das espécies usadas no passado. Fica evidentemente o mundo das plantas, mas aí os processos são tão lentos que os protocolos experimentais centrados no estudo de plantas inteiras exigem um desenho muito específico.

A única via que de momento se nos oferece para o ensino dos conceitos nucleares desta área é a utilização de modelos matemáticos interactivos instalados em computadores de pequeno porte. Há neste momento uma oferta razoável de produtos desta natureza, quase todos em inglês. Devia encarar-se a possibilidade de fomentar a sua conversão para português e até de desenvolvimento de modelos novos.

Resta a área da Biologia Celular, que hoje abrange um grande número de campos: a multiplicação celular, a genética, o transporte biológico, a respiração celular, a enzimologia, etc. Aqui é possível investir com alguma rentabilidade usando micro-organismos (leveduras sobretudo) como material biológico e seleccionando variáveis biológicas fáceis de observar: temperatura, cor, concentrações de protões, oxigénio, anidrido carbónico e pequenas moléculas (glucose). É muito fácil apetrechar laboratórios para este tipo de trabalho e, sobretudo, é possível desenhar protocolos abertos em torno de temas de interesse biológico geral.

A montagem deste ensino/aprendizagem implicará, mais uma vez, acções de formação nas escolas, que terão de cobrir a montagem, operação e manutenção dos instrumentos, o desenho de protocolos realizáveis nas escolas, a colheita de resultados que forneçam aos professores o panorama do que devem esperar dos trabalhos e pistas para lidar com eles suscitando perguntas e interpretações e só raramente explicações.

Também será necessário investir em investigação pedagógica nesta área e o sítio próprio para esta se fazer é nas universidades sob a supervisão de cientistas, integrada nos projectos do ramo educacional dos cursos superiores e em colaboração com professores de biologia. O objectivo deverá ser o desenho de protocolos experimentais viáveis nas escolas, que visam despertar a curiosidade e autoconfiança dos alunos, de modo a permitir-lhes formular perguntas. Nunca deve ser demonstrar *que o que se ensina é verdade*.





Geologia / Didáctica da Geologia

Maria Filomena M. F. Amador é licenciada em Ciências Geológicas - Ramo de Formação Educacional pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Doutora em Didáctica das Ciências pela Universidade Complutense de Madrid. Professora Auxiliar na Universidade Aberta, desde 1996. É actualmente Vice-Presidente da Associação Portuguesa de Geólogos. É autora e co-autora de vários artigos de Didáctica das Ciências, e em particular de Didáctica da Geologia.

Consultor

João Félix Praia é Professor Associado da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, a exercer funções docentes no Departamento de Geologia, e pertence ao Centro de Investigação do referido Departamento. Lecciona a disciplina de Didáctica da Geologia aos Ramos Educacionais das licenciaturas em Geologia e em Biologia, bem como à licenciatura em Ensino da Biologia-Geologia. É Coordenador do Mestrado em Geologia para o Ensino. Apoiava desde longa data os estágios pedagógicos, tendo sido eleito, pela Faculdade, coordenador para os mesmos. Desenvolve acções de formação em trabalho colaborativo com as Escolas. Entretanto, tem-se dedicado, em particular, à Epistemologia e à História da Geologia como ferramentas intelectuais de fundamentação para a referida área do conhecimento. Por outro lado, tem desenvolvido estudos quer em Trabalho Experimental quer em Trabalho de Campo, enquanto áreas de importância capital para a compreensão dos fenómenos geológicos. Desenvolve intensa actividade de investigação, partilhando saberes com colegas de outras Universidades, nomeadamente a de Aveiro, e tem publicado, em revistas nacionais e internacionais, com regularidade. Tem publicado pequenas brochuras para a formação de professores, de que se destaca o último trabalho, em colaboração, intitulado "Perspectivas de Ensino em Educação em Ciência".



O “ciclo geológico” de James Hutton

uma fonte de inspiração para a realização
de actividades didácticas

Filomena Amador

Introdução

Assistir a um filme de divulgação sobre um tema geológico é, regra geral, mais interessante para os jovens do que assistir a uma aula sobre o mesmo assunto. Esta é uma realidade que nós, professores, aceitamos, muitas vezes, de forma resignada, admitindo que a competição entre estes dois tipos de comunicação (discurso escolar e discurso televisivo) está, à partida, perdida. Se analisarmos a forma como os assuntos são abordados nos filmes de divulgação científica, verificamos que, normalmente, os temas são apresentados pelos próprios investigadores que vão relatando as diferentes fases dos seus trabalhos. Isto significa que as teorias passam a ter, por detrás, um rosto e uma voz, deixam de ser uma frase anónima no meio do manual escolar ou mais um conhecimento referido na aula e em relação ao qual se torna difícil proceder à reconstrução do contexto histórico, social ou mesmo científico em que esse saber foi produzido.

A nosso ver, a utilização de elementos históricos no ensino da Geologia poderá, entre outros aspectos, contribuir para uma “humanização” do conhecimento científico, tão necessária no final do nosso século. Por outro lado, um ensino em que a ênfase é colocada em conteúdos e em que as teorias são apresentadas desprovidas do seu contexto epistemológico e histórico, onde não se questiona como e por quê surgiram, contribuirá, certamente, não só para dificultar a sua compreensão como também para a perda da criatividade de quem aprende.

Nos últimos anos têm sido inúmeros os autores a chamarem a atenção para o papel que a História da Geologia pode desempenhar no seu ensino, destacando diversos tipos de contribuição: na antecipação de obstáculos epistemológicos que possam dificultar os processos de aprendizagem, no desenvolvimento de estratégias de ensino baseadas em exemplos históricos (*Praia, 1996*) ou, ainda,

no estabelecimento dos “conceitos estruturantes” (*Gagliardi e Giordan, 1986*) de cada área científica, conceitos estes cuja identificação e conhecimento permitem não só apoiar o desenvolvimento de estratégias didáticas como também fundamentar e estruturar novas propostas curriculares (*Pedrinaci, 1994*).

Mas, apesar de esta chamada de atenção e de as investigações realizadas apontarem para uma valorização da história da ciência, existem alguns problemas que dificultam a colocação em prática desta recomendação. Além da frequente falta de formação inicial nesta área de conhecimento, há a acrescentar o facto de os livros escolares normalmente apenas referirem as teorias actualmente aceites e com as quais os professores se acabam por familiarizar, não chegando habitualmente a desenvolver uma visão global da história da sua área científica que permita perceber como se atingiram esses conhecimentos. Por outro lado, sendo a Ciência muitas vezes entendida como uma acumulação progressiva de conhecimentos, um processo linear em que no final se encontrará a verdade, a utilização didáctica de exemplos históricos poderá ser encarada equivocadamente como uma perda de tempo. A substituição deste tipo de concepção de Ciência por uma visão mais actual em que as teorias científicas são consideradas como entidades provisórias, susceptíveis de serem substituídas por outras, valorizando-se, especialmente, os mecanismos e os períodos de mudança, terá certamente reflexos no ensino das ciências. Se nos dermos ao trabalho de fazer alguns estudos históricos, lendo artigos originais, autobiografias, registos de comentários e polémicas, etc., encontraremos certamente material que nos poderá apoiar na planificação de algumas actividades didáticas.

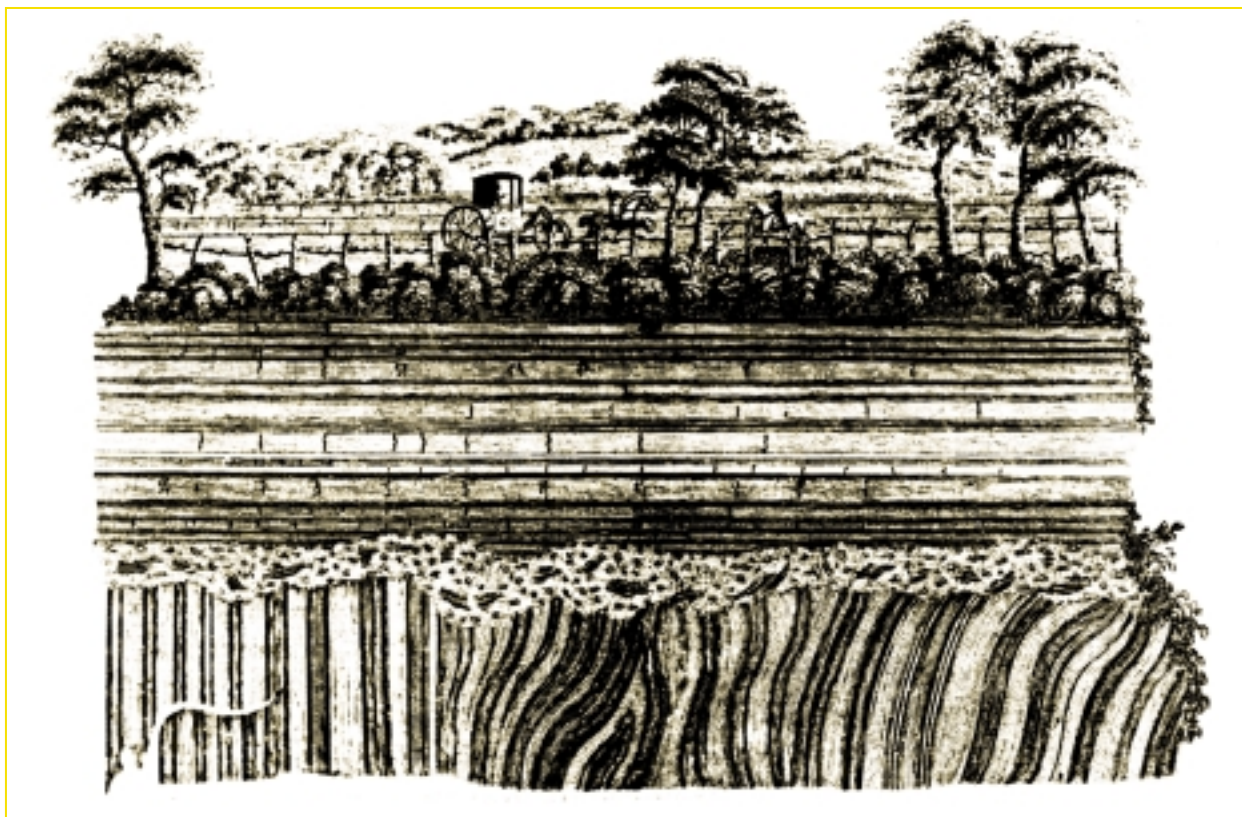
Sugestão de actividade(s) didáctica(s)

O aparecimento da Geologia, no séc. XVIII, como ciência individualizada, portadora do seu próprio quadro teórico, assim como de uma metodologia de investigação específica, deve-se em grande parte ao papel que as imagens começaram a desempenhar na construção do conhecimento científico. Alguns autores chegam mesmo a afirmar que o surgir da Geologia apenas foi possível graças à criação de uma “linguagem visual”, através da qual se tornou viável a comunicação dos seus conteúdos.

Por todas estas razões, escolhemos como base da nossa proposta de activi-



O “ciclo geológico” de James Hutton



dade didáctica uma das ilustrações (fig.1) mais reproduzidas em livros de História da Geologia. Trata-se de uma imagem que se encontra na obra de James Hutton (1726- 1797), *Theory of the Earth*, considerada como representativa de um momento crucial da evolução do conhecimento geológico. Desta figura, aparentemente simples, pode ser inferido um complexo panorama histórico a partir de uma “simples geometria de horizontalidades sobre verticalidades, uma vez compreendidas as regras básicas de posição dos estratos” (Gould, 1991).

A proposta de actividade didáctica que a seguir desenvolveremos assenta igualmente no facto de considerarmos que as imagens podem desempenhar um importante papel nos processos de aprendizagem, se lhes for atribuída uma função organizadora da experiência cognitiva, isto é, de instrumentos a partir dos quais podemos observar e compreender a natureza. As imagens devem ser entendidas como uma parte do acto de pensar, não só possibilitando a recuperação de informação anterior, como também facilitando posteriores associações e reorganizações conceptuais (Amador, 1998).

Fig. 1 - Gravura do livro “Theory of Earth” de James Hutton (1795 - Vol.1)

A sugestão e proposta de actividades que a seguir apresentamos está dividida em três fases.

1ª Fase:

Com o objectivo de fixar a atenção dos alunos nesta imagem, para que ela possa adquirir significado, poder-se-á começar por:

- identificar a época em que foi produzida, as teorias vigentes no referido período e as teorias do autor da imagem;
- reconhecer os elementos que a compõem, as relações entre as formas, o tipo de tratamento gráfico e os símbolos que foram utilizados.

Como anteriormente referimos, a ilustração faz parte de uma obra de James Hutton publicada em 1795. Hutton começou por estudar medicina em Edimburgo, tendo-se posteriormente doutorado na Universidade de Leyden (Holanda) com uma tese sobre a circulação sanguínea. Apesar de possuir uma formação inicial no campo da medicina, nunca chegou a exercer qualquer actividade relacionada com esta área de conhecimento. Numa primeira fase, começou por se dedicar à agricultura e, mais tarde, quando a sua situação económica o permitiu, instalou-se em Edimburgo onde veio, finalmente, a desenvolver as suas investigações geológicas.

Nesse período, a cidade de Edimburgo era um importante centro cultural, permitindo a Hutton estabelecer contactos com outras figuras significativas desta época que, provavelmente, exerceram alguma influência no seu trabalho. Entre outros podemos citar Joseph Black (químico), John Playfair (matemático), Adam Smith (economista) e, eventualmente, o filósofo David Hume (*Sequeiros et. al., 1997*).

Mas Hutton também foi muito influenciado pelas concepções de outros autores, como, por exemplo, Newton. Deste recolheu a ideia de que a Terra, do mesmo modo que o Universo, era um gigantesco mecanismo, comparável a um relógio perfeitamente sincronizado. Com base nesta analogia, o tempo geológico não era considerado limitado, como até aí tinha sido preconizado por muitos outros autores, mas sim um ciclo sem princípio nem fim. As suas ideias entraram em contradição com as concepções da sua época que afirmavam ter sido a Terra criada há cerca de 6000 anos, o que estaria de acordo com os relatos bíblicos. Por outro lado, as suas teorias também entraram em choque com as concepções neptunistas, defensoras de uma origem em meio aquoso das rochas e montanhas actuais. Para Hutton, além deste processo de



O “ciclo geológico” de James Hutton

formação preconizado pelos neptunistas, também poderiam ter existido outros processos para os quais contribuiriam o calor central da Terra, originando novas rochas que posteriormente se elevariam à superfície.

Com o objectivo de nos aproximarmos mais das ideias de Hutton, podemos começar por proceder a uma análise cuidadosa da imagem, que nos leva a colocar várias questões:

2ª Fase:

Hutton não foi o primeiro a descrever uma discordância angular, tal como se encontra expressa na figura, mas o seu mérito foi o de ter percebido, pela primeira vez, o seu significado

(Ellenberger, 1994). Aliás, quando começou a escrever o seu tratado, Hutton ainda não tinha observado discordâncias angulares, mas já previa a sua existência e ia mesmo mais longe, ao considerá-las um corolário necessário ao seu modelo conceptual. Deste modo, quando as observou no campo, interpretou-as em função do sistema que já havia idealizado.

Olhando novamente para a imagem, algumas questões podem ser colocadas aos alunos:

- Identifique os símbolos que foram utilizados para representar as diferentes rochas. Existem outros símbolos para além destes?
- Poderemos individualizar no desenho algumas áreas que apresentem características distintas?
- A presença de uma carruagem e de um duelo entre dois cavaleiros terá algum significado?

Quais as alterações que podem ter ocorrido nesta região para que se tenha formado este tipo de relação geométrica entre os vários estratos?

Associada a esta imagem, em textos de História da Geologia, aparece com frequência um relato de John Playfair em que este se refere a uma saída de campo que realizou, juntamente com Hutton, a uma discordância angular:

O **Doutor Hutton** estava visivelmente entusiasmado com as aparências que apresentavam, de uma forma tão clara, as diferentes formações das partes que compõem o exterior da crosta terrestre, e nas quais se combinam todas as circunstâncias para que a observação possa ser satisfatória e precisa. Nós, que estávamos a observar este fenómeno pela primeira vez, recebemos uma impressão que não se esquecerá facilmente. As provas palpáveis, que nos apareciam, de um dos mais extraordinários e importantes factos da história natural da Terra outorgavam realidade e sentido às especulações teóricas que, embora prováveis, nunca até agora tinham podido ser autenticadas através do testemunho dos sentidos. (...) Os nossos pensamentos tornavam-se vertiginosos ao contemplar momentos tão remotos no abismo do tempo e, enquanto escutávamos com interesse e admiração o filósofo [Hutton], que perante nós discorria sobre a ordem e as séries destes maravilhosos acontecimentos, dávamo-nos conta de que às vezes a razão pode chegar mais longe do que a imaginação se pode aventurar. (cit. em Hallam, 1985)

A emoção que transparece deste texto de John Playfair deve-se ao facto de as evidências encontradas no campo serem interpretadas como uma prova em apoio da teoria dos ciclos geológicos de Hutton. Partindo Hutton do princípio de que não era possível encontrar “nenhum vestígio de um princípio - nenhuma perspectiva de um fim” na história evolutiva, imaginou uma Terra em que os “mundos se sucederiam”: os sedimentos resultantes da erosão de áreas continentais eram transportados e depositados nos oceanos formando estratos horizontais; por sua vez, o calor e a pressão que daí resultariam provocariam a liquefacção desses sedimentos, ficando estes com tendência a ascenderem à superfície, dando origem a levantamentos e a erupções vulcânicas. O ciclo fechar-se-ia com o início de uma nova fase erosiva.

A imagem que estamos a analisar corresponde "grosso modo" ao que foi observado no campo por John Playfair e lhe causou uma forte emoção. Que inferências temporais podemos retirar desta imagem? Justifica-se toda esta emoção registada por Playfair, tendo em conta o contexto religioso e científico da época?

O ciclo geológico de Hutton corresponderá ao actual?

As descontinuidades, tal como a que se encontra expressa na fig.1, forneciam a Hutton uma prova da existência de múltiplos ciclos de levantamento e erosão.

3ª Fase:

Aproveitando o facto de nesta imagem se encontrar representada uma série de relações espaciais entre estratos, podemos propor algumas actividades que permitam desenvolver raciocínios espacio-temporais, como por exemplo:

Colar a imagem a um dos lados de um paralelepípedo de cartolina (bloco diagrama), pedindo aos alunos que reconstruam os outros lados. Imaginando que o ciclo geológico de Hutton continuaria a actuar, que outros elementos deveríamos acrescentar à imagem?

A imagem poderá ser uma base a partir da qual se possam propor e discutir distintos modos de evolução para esta área.

Nota final

A actividade que acabamos de desenvolver não pretende ser uma proposta de trabalho concluída, mas apenas uma chamada de atenção para as possibilidades que a História da Geologia pode oferecer, na planificação didáctica.



Referências Bibliográficas:

AMADOR, F. (1998). “Algunas contribuciones para la formulación de un modelo práctico de «lectura» y «análisis» de imágenes geológicas”. Actas do X Simposio sobre Enseñanza de la Geología, p.126-130. Palma de Maiorca- Espanha.

ELLENBERGER, F. (1994). Histoire de la Geologie, Tome 2. Paris: Lavoisier(Tec. & Doc.)

GAGLIARDI, R.E. E A. GIORDAN (1986). “La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza”. Enseñanza de las Ciencias, 4(3), 253-258.

GOULD, S.J. (1991). Seta do Tempo. Ciclo do Tempo. Ed. Schwarcz. São Paulo.

HALLAM, A. (1985). Grandes controvérsias geológicas. Barcelona: ed. Labor.

HUTTON, J. (1899). Theory of the Earth, with proofs and Illustrations. Editado por Sir Archibald Geikie. Geological Society of London. London. Vol. 3 (Facsímil editado pela Geological Society of London, 1997).

PEDRINACI, E. (1994). “La Historia de la Ciencia como herramienta didáctica”. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2(2-3), 332-339.

PRAIA, J.F. (1996). “Epistemologia e Historia de la Ciencia: contribuciones a la planificación didáctica. La deriva continental”. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 4(1), 30-38.

SEQUEIROS, L.; PEDRINACI, E.; ÁLVAREZ, R.M.; E J. VALDIVIA (1997). “James Hutton y su Teoría de la Tierra (1795): consideraciones didácticas para la educación secundaria”. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 5(1), 11-20.





Física / Didáctica da Física

João Lopes dos Santos é Professor Auxiliar no Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Doutorou-se no Imperial College, Londres, e desenvolve a sua actividade científica em Física da Matéria Condensada Teórica (desordem, localização, correlações fortes, supercondutividade). Tem um interesse especial por questões de ensino e divulgação científica, sobretudo em temas que coloquem novos desafios conceptuais, participando com regularidade em acções de formação de professores (palestras, cursos de mestrado, orientação de projectos de curso, etc.). É autor de vários artigos científicos e de divulgação e, presentemente, coordenador do Centro de Física do Porto (unidade de investigação).

Consultor

Augusto M. C. A. Barroso é licenciado em Física, em 1969, pela Universidade de Lisboa e doutorado em Física, em 1974, pela Universidade de Sussex, Inglaterra. É Professor Catedrático no Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, desde 1991. Tem realizado investigação científica nas áreas da Física Atómica, Física Nuclear e Física das Partículas, sendo autor ou co-autor de cerca de 60 artigos científicos. Foi professor visitante em várias Universidades da Europa e dos Estados Unidos. Sócio da Academia das Ciências de Lisboa desde 1989. Prémio Gulbenkian de Ciência em 1994. É actualmente o Secretário Geral da Sociedade Portuguesa de Física.



Porque é que a Lua não cai?

J. M. B. Lopes dos Santos

1. Introdução

A descoberta, por Newton, da Lei da Gravitação Universal coincidiu (não por acaso) com a sua percepção da importância dessa lei na explicação do movimento no sistema solar. Ao aplicar as mesmas leis e argumentos ao movimento dos astros e dos projecteis na Terra, Newton deu um salto conceptual de enorme importância: a unificação das leis de movimento terrestre e celeste. A queda dos graves à superfície da Terra e o movimento dos astros têm a mesma origem. A Terra, além de atrair os corpos na sua superfície, atrai também a Lua. O Sol atrai todos os planetas. Quando confrontados pela primeira vez com esta ideia, qual de nós escapou à interrogação:

Porque é que a Lua não cai para a Terra?

ou

Porque é que os planetas não caem para o Sol?

A evolução para uma visão científica do mundo exige quase sempre uma nova maneira de *ver* aquilo que nos é familiar. A resposta de Newton a este respeito foi clara: a Lua *cai* para a Terra e os planetas para o Sol. A maneira como Newton *viu* está ilustrada na **fig. 1**, que surge nos *Principia* em 1687. Nela se mostram várias trajectórias de projecteis lançados do alto de uma montanha com velocidades horizontais sucessivamente maiores. Os projecteis atingem a superfície da Terra a distâncias crescentes do ponto de lançamento (*D, E, F, G, ...*). A figura sugere que, com velocidade suficiente, o projectil poderá passar a orbitar a Terra, apesar de a sua trajectória se encurvar de um modo semelhante à dos projecteis que "acabam por cair".

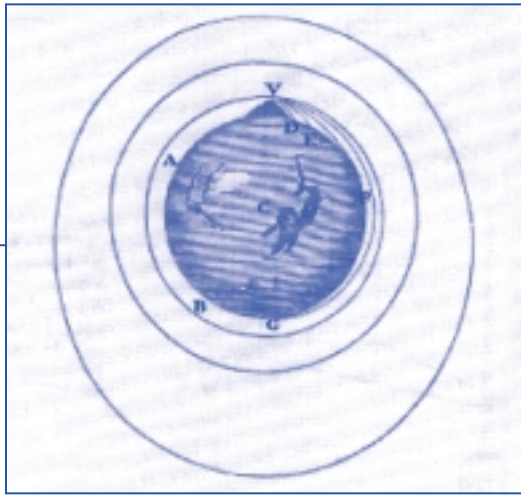


Figura 1: Uma ilustração dos *Principia* de Newton.

Esta maneira de *ver* pode conduzir-nos a uma exploração quantitativa do movimento dos planetas, muito semelhante à desenvolvida pelo próprio Newton na descoberta da lei da gravitação universal. Esta exploração oferece amplas oportunidades para actividades interessantes a realizar com alunos do ensino secundário.

2. Queda dos Planetas para o Sol

No tempo de Newton já estava consagrado o modelo heliocêntrico de Copérnico. Kepler tinha mostrado que, usando o Sol como sistema de referência, os movimentos dos planetas são muito mais simples do que relativamente à Terra. Os planetas descrevem elipses, mas que, para quase todos os planetas do sistema solar, são quase circunferências.

Mas porque é que os planetas andam à volta do Sol? Naturalmente porque ele está lá! A presença de uma estrela no centro do sistema solar determina esta “dança” dos planetas. E se o Sol não existisse? Se desaparecesse de repente, isto é, se desligássemos a sua interacção com os planetas? O que aconteceria aos seus movimentos? Parariam? Manter-se-iam inalterados?

O que Newton respondeu, com base nas suas leis de movimento, foi que os planetas passariam a deslocar-se em linha recta, segundo a tangente à sua órbita. A sua velocidade seria a que tinham no momento de desaparecimento da interacção gravítica. A **fig. 2** ilustra o seu pensamento. Se o Sol desaparecesse quando o planeta está em P, ao fim de, digamos, 1 segundo, ele estaria em Q e não sobre a órbita. Newton concluiu que, nesse segundo, a atracção do Sol faz o planeta cair uma distância Δh em direcção ao seu centro. Se a atracção gravítica tivesse desaparecido, o planeta estaria a uma distância $R + \Delta h$. A atracção do Sol fez com que a distância seja R (órbita circular). Logo a queda foi Δh !

Um pouco de geometria elementar permite-nos saber quanto *cai* a Terra em cada segundo em direcção ao Sol. Pelo teorema de Pitágoras,

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + \Delta x^2 \quad (1)$$

o que dá, desenvolvendo o quadrado do primeiro membro

$$\Delta h^2 + 2R\Delta h = \Delta x^2 \quad (2)$$

Porque é que a Lua não cai?

O raio da órbita da Terra é conhecido e pode ser lido numa tabela de dados astronómicos, $R = 1,5 \times 10^{11}$ m. A distância percorrida pela Terra num segundo pode determinar-se a partir do período da sua órbita, 1 ano ($365,3 \times 24 \times 60 \times 60 = 3,16 \times 10^7$ s) e da distância percorrida nesse intervalo de tempo, o perímetro da órbita ($2\pi R = 9,4 \times 10^{11}$ m). A distância percorrida num segundo é

$$\Delta x = \frac{2\pi R}{T} = \frac{9,4 \times 10^{11}}{3,16 \times 10^7} = 2,98 \times 10^4 \text{m} \quad (3)$$

ou seja, $\Delta x \approx 30$ Km. Em cada segundo a Terra move-se 30 Km ao longo da sua órbita. Conhecidos Δh e R , poderíamos calcular Δh resolvendo a equação de segundo grau acima indicada. Mas nem isso é necessário. É claro da eq.(2) que Δh é menor que Δx , que por sua vez, sendo a distância percorrida num segundo, é muito menor que R , o raio da órbita. Portanto $\Delta h^2 \ll 2R\Delta h$, e, em primeira aproximação, podemos desprezar na eq.(2) o termo Δh^2 e obter

$$\Delta h = \frac{\Delta x^2}{2R} \quad (4)$$

Fazendo o cálculo, temos

$$\Delta h = \frac{(2,98 \times 10^4)^2}{2 \times 1,5 \times 10^{11}} = 3 \times 10^{-3} \text{m} \quad (5)$$

A Terra *cai* 3 mm em cada segundo para o Sol! (o leitor pode confirmar, tínhamos razão em poder desprezar o termo Δh^2 ; com efeito, $\Delta h^2 = 9 \times 10^{-6}$ m e $2R\Delta h = 3 \times 10^{-3}$ m)¹.

Recorrendo a uma tabela de dados astronómicos, este cálculo pode ser feito para todos os planetas do sistema solar. Os resultados estão apresentados no quadro da página seguinte.

Ignoremos, por um momento, as duas últimas colunas e concentremo-nos em Δh . De que depende? Da massa do Planeta? Da sua distância ao Sol?

Note-se que, quanto mais distante o planeta do Sol, menor é Δh .

Mercúrio, por exemplo, tem uma massa mais de 10 vezes inferior à de Vénus. No entanto Δh é quatro vezes superior. Será que Δh e R são inversamente proporcionais? Nessa altura $\Delta h \times R$ deve ser constante: Ou será Δh inversamente proporcional a R^2 , tal como a força gravítica?

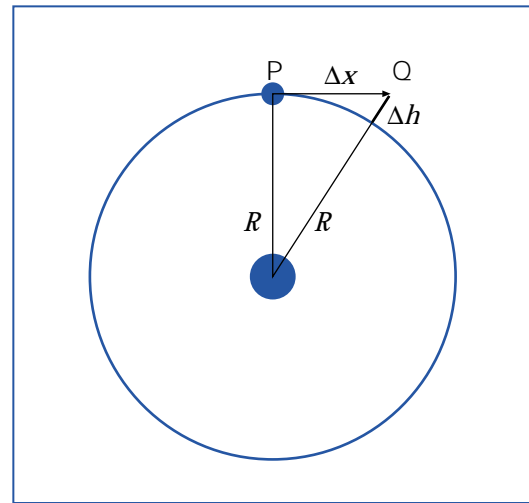


Figura 2: Se o Sol desaparecesse quando o planeta está em P ele passaria a deslocar-se segundo uma recta e ao fim de 1 segundo teria andado uma distância Δh igual à que estava a percorrer na órbita em cada segundo.

¹ O leitor atento poderá perguntar: porquê um segundo? Porque não uma hora ou um ano? A análise aqui apresentada pode ser feita para qualquer intervalo de tempo, desde que muito menor que o período da órbita. Δh só terá uma relação simples com a força gravítica se for calculado para uma situação em que a velocidade inicial na direcção do Sol for nula (qualquer ponto de uma órbita circular) e se $\Delta h^2 \ll R$



Planeta	Massa (Terra=1)	Período d	Distância ao Sol (R) ua	Δx m	Δh m	$\Delta h \cdot R$ m ²	$\Delta h \cdot R^2$ m ³
Mercúrio	0,06	87,97	0,39	4,82E+04	1,99E-02	1,16E+09	6,64E+19
Vénus	0,82	224,70	0,72	3,49E+04	5,64E-03	6,08E+08	6,63E+19
Terra	1	365,30	1,00	2,98E+04	2,96E-03	4,43E+08	6,63E+19
Marte	0,11	687,00	1,52	2,41E+04	1,27E-03	2,90E+08	6,63E+19
Júpiter	318	4332,46	5,20	1,31E+04	1,10E-04	8,53E+07	6,64E+19
Saturno	95	10761,74	9,54	9,64E+03	3,26E-05	4,65E+07	6,63E+19
Urano	15	30692,51	19,18	6,81E+03	8,06E-06	2,32E+07	6,63E+19
Neptuno	17	60201,44	30,07	5,44E+03	3,29E-06	1,48E+07	6,64E+19
Plutão	0,03	90594,40	39,44	4,73E+03	1,90E-06	1,12E+07	6,62E+19

Tabela 1: A partir do período (em dias) e da distância ao Sol (em unidades astronómicas) calculou-se a distância percorrida para cada planeta num segundo (Δx) e a distância que cai em direcção ao Sol no mesmo intervalo de tempo (Δh).

(as massas variam desde 0.03 massas terrestres no caso de Plutão, até 318 massas terrestres, no caso de Júpiter, um factor de 10^4 . As variações de $\Delta h \times R^2$ são inferiores a 1%).

Em conclusão: os planetas do sistema Solar caem para o Sol uma distância Δh , num segundo, que não depende da massa de cada planeta, mas apenas da sua distância ao Sol, sendo inversamente proporcional a R^2 , $\Delta h \propto 1/R^2$.

Este estudo sugere duas questões:

- Os graves na Terra caem devido à atracção terrestre, que, segundo Newton, tem a mesma origem da atracção dos planetas pelo Sol. Será que a velocidade com que caem não depende da sua massa (e portanto do seu peso)?
- Um grave à superfície da Terra e a Lua (ou um satélite) estão ambos sujeitos à atracção da Terra. Será que $\Delta h \times R^2$ é o mesmo para a queda dos graves na Terra e para a Lua na sua órbita?

Por razões de espaço iremos apenas discutir a segunda destas questões.

3. A queda de um grave e a queda da Lua

Aceitemos então que qualquer corpo à superfície da Terra largado do repouso cai a mesma distância no primeiro segundo de queda. Os alunos que conhe-

Nas duas últimas colunas do quadro investigámos a dependência de Δh em relação a R . Os cálculos de $\Delta h \times R$ e $\Delta h \times R^2$ tornam claro que $\Delta h \times R^2$ é praticamente constante, o que sugere que Δh é inversamente proporcional a R^2 . Note-se, por outro lado, que a distância da queda Δh deve ser independente da massa dos planetas



Porque é que a Lua não cai?

çam a lei do movimento uniformemente acelerado e o significado da aceleração da gravidade à superfície da Terra sabem que a distância percorrida por um grave no primeiro segundo de queda, a partir do repouso, é de $(1/2)gt^2 = (1/2) \times 9,8 \times 1^2 = 4,9$ m. Como a distância de um grave ao centro da Terra é o raio da Terra, a quantidade $\Delta h \times R^2$ para um grave à superfície da Terra vale

$$(\Delta h^2 \times R^2)_{R=R_T} = 4,9 \times (6,4 \times 10^6)^2 = 2,01 \times 10^{14} \text{ m}^3 \quad (6)$$

Se a queda do grave e a "queda" da Lua são ambas devidas à atracção da Terra, a "queda" da Lua num segundo será menor, apenas porque a distância ao centro da Terra é maior. Mas $\Delta h \times R^2$ deve ser o mesmo. A "queda" da Lua para o centro da Terra calcula-se da mesma maneira que a queda dos planetas para o Sol,

$$\Delta h = \frac{\Delta x^2}{2R} \quad \text{com} \quad \Delta x = \frac{2\pi R}{T} \quad (7)$$

sendo R a distância da Terra à Lua, ($3,84 \times 10^8$ m) e T o período da órbita da Lua (27,3 dias).

Fazendo os cálculos, obtém-se

$$\Delta h = 1,36 \times 10^{-3} = 1,36 \text{ mm} \quad (8)$$

e

$$\Delta h \times R^2 = 1,36 \times 10^{-3} \times 3,84 \times 10^8 = 2,01 \times 10^{14} \text{ m}^3 \quad (9)$$

Foi a igualdade deste valor com o valor correspondente para um grave na superfície da Terra (ver eq.(6)) que convenceu Newton da justeza das suas ideias. Curiosamente, a publicação da Lei da Gravitação Universal foi atrasada de vários anos porque, no primeiro cálculo que fez, Newton usou um valor errado da distância Terra-Lua. A igualdade dos valores calculados nas equações (6) e (9) tem uma importância que não pode ser exagerada. Trata-se de grandezas relativas a movimento na Terra (eq.(6)) e no céu (eq.(9)). A sua igualdade simboliza a unificação conseguida por Newton, que alterou para sempre a nossa maneira de ver e de nos situar no Universo.

Um ponto que merece comentário antes de concluirmos é o seguinte: no caso do grave tivemos o cuidado de considerar a distância percorrida num segundo, partindo do repouso. No segundo seguinte a distância será maior devido à velocidade entretanto adquirida. No caso dos planetas ou da Lua, a velocidade

de inicial *na direcção radial* é nula. Por isso, a distância de queda deve ser comparada com a do grave com velocidade inicial nula (ou na horizontal).

As ideias aqui apresentadas podem ser exploradas em várias direcções, que por limitações de espaço, deixaremos à iniciativa do leitor. Por exemplo, o Sol também se move com uma velocidade orbital de cerca de 230 Km/s em torno do centro da nossa galáxia, num movimento aproximadamente circular de raio 28 000 anos-luz. A partir destes dados é possível, por exemplo, obter uma estimativa da massa da galáxia interior à órbita do Sol.

4. Conclusões

Inspirado fortemente nos argumentos de Newton, apresentei aqui algumas ideias cuja exploração, por limitações de espaço, deixarei à iniciativa do leitor. Permite uma melhor compreensão, não apenas da lei da gravitação, mas até do conceito de aceleração normal.

Como exemplos eis algumas questões. O valor de $\Delta h \times R^2$ para corpos sujeitos à atracção do Sol é constante, assim como para corpos sujeitos à atracção da Terra. Mas porque é que os dois valores são diferentes? E que tem isso a ver com a massa do Sol e da Terra? Qual o significado de $\Delta h \times R^2$? A mesma análise pode ser feita relativamente ao movimento do Sol em torno do centro da galáxia (movimento aproximadamente circular de raio 28000 anos-luz e velocidade orbital de 280 km/s). Como obter, a partir destes dados, uma estimativa da massa da galáxia interior à órbita do Sol?

Estas ideias prestam-se a actividades de investigação pelos alunos. A lei da gravitação explica o movimento no céu, *mas não tem que cair do céu*. Sem recorrer a matemáticas sofisticadas, mas com alguma reflexão, é possível chegar a uma formulação completa da lei da gravitação, trilhando, ao fim e ao cabo, o caminho sugerido pelo próprio Newton. A sugestão aqui fica. Os comentários do leitor serão muito apreciados.





Química / Didáctica da Química

Fernando M. S. Silva Fernandes é licenciado em Química pela Universidade de Lisboa, em 1970. Ph. D. pela Universidade de Southampton (Inglaterra), em 1977. Agregação pela Universidade de Lisboa, 1998. Professor Associado com Agregação no Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Desde o seu trabalho de Doutoramento, dedica-se ao estudo de estados condensados e reacções químicas, aplicando métodos computacionais em Mecânica Estatística, nomeadamente os métodos de Monte Carlo e Dinâmica Molecular. Tem publicado vários artigos de investigação na área da Química Computacional. Coordena o Grupo de Simulação Molecular inserido no Departamento de Química e Bioquímica da FCUL e no Centro de Electroquímica e Cinética da Universidade de Lisboa (CECUL). Tem leccionado várias disciplinas em cursos de Licenciatura e de Mestrado. Durante cinco anos, foi orientador científico de Estágios Pedagógicos em Escolas Secundárias da região de Lisboa. Tem publicado vários artigos de índole pedagógica, textos de apoio e dois livros, nas áreas de Química-Física e Química Computacional.

Maria Elvira Callapez é licenciada em Química Aplicada - Ramo de Química Orgânica e Mestre em História e Filosofia das Ciências. Professora do Quadro de Nomeação Definitiva do Grupo 4º A Física – Química na Escola Secundária Gil Vicente, e Professora das disciplinas de História da Química e História das Ciências na Universidade Lusófona, Lisboa. Tem publicado diversos trabalhos nas áreas da História, da Ciência e da Tecnologia, Química Orgânica e Educação em Química, no âmbito da tese de Doutoramento. Responsável pela formação científica de alguns Projectos financiados pelo Ministério de Educação- Instituto de Inovação Educacional.

Paulina Mata é licenciada em Engenharia Química, em 1978, pelo Instituto Superior Técnico. Mestre em Química Orgânica Tecnológica e Doutorada em Química Orgânica (Química Orgânica Computacional), em 1989, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Fez Pós-Doutoramento, em 1991, no Maxwell Institute for Computer Applications in Molecular Sciences - School of Chemistry - University of Leeds - UK. É, desde 1979, docente do Departamento de Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e actualmente exerce funções de Professora Auxiliar. Desenvolve investigação nos domínios da síntese orgânica, estereoquímica e química computacional, e interessa-se pela Educação em Química e Ensino assistido por computador. Desde 1994 tem participado em projectos com vista à introdução do ensino experimental da ciência e tecnologia no 1º Ciclo do Ensino Básico e Pré-escolar. Tem estado envolvida nos programas de geminação entre Centros de Investigação e Escolas do Ensino Secundário promovidos pelo Ministério da Ciência e Tecnologia.

Consultor

José C. Teixeira Dias é licenciado em Ciências Físico-Químicas, em 1966, pela Universidade de Coimbra e doutorado em Química, em 1970, pela Universidade de Sussex, Inglaterra. No Departamento de Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, foi Professor Auxiliar entre 1971 e 1974, Professor Extraordinário até 1980 e Professor Catedrático até 1996. Actualmente é Professor Catedrático de Química da Universidade de Aveiro. Tem realizado investigação científica na área da Química-Física Molecular, sendo autor ou co-autor de 120 artigos científicos, três manuais universitários, três livros de Química para o ensino secundário, e editor de um livro de actas do curso avançado da OTAN sobre Líquidos Moleculares, em 1991.



Na sala de jantar com a química

Elvira Callapez, Paulina Mata

Introdução

Numa sala de aula do ensino secundário (sobretudo nos primeiros anos, em que os alunos ainda não fizeram qualquer opção), a característica mais óbvia da assembleia é a sua heterogeneidade, não só no que diz respeito a gostos e capacidade, mas sobretudo a orientações profissionais. A única característica comum a todos eles é serem cidadãos (sendo os futuros químicos uma minoria) e a química que lhes é ensinada pode, e deve, constituir um elemento de cultura geral muito importante.

A Química é um assunto difícil, cujo estudo envolve conceitos que requerem uma certa maturidade intelectual, assim como vocabulário e linguagem próprios para a formulação de tais conceitos. Se lhes for dado um curso introdutório interessante e com significado, em que a aproximação da química seja feita via matérias relacionadas com a sua interacção com o quotidiano do aluno e sua realidade social, maior será o número dos que prosseguirão os estudos em ciência; os outros sairão seguramente com uma boa experiência e uma melhor compreensão da grande importância da química em todos os aspectos da sua vida. Terá, assim, a química no ensino secundário uma maior adesão e efeitos mais duradouros na vida dos alunos.

A comida está de tal forma presente no nosso quotidiano e de tal forma banalizada que não pensamos nela como uma fonte inesgotável de variadíssimos compostos químicos nem nos damos conta de que os processos usados, ou os “truques” de cozinha, têm bases científicas. No entanto, estes podem muitas vezes ser explicados em função das características moleculares dos próprios alimentos. Porém, a única associação que normalmente fazemos entre química e alimentação tem a ver exclusivamente com os “químicos” que ela

Menu

Salada Fria
de Camarão

Banana

Pepsi Max

pode conter, referindo-nos apenas a corantes, aromas ou conservantes sintéticos. Ou, ainda, com o conteúdo calórico e de proteínas, lípidos ou hidratos de carbono dos alimentos, termos estes muitas vezes pouco claros para a população em geral.

Neste trabalho pretendemos usar a alimentação como uma fonte de estudo e de introdução de uma série de conceitos químicos e tipos de moléculas orgânicas. A química na cozinha é um exemplo de ciência aplicada a matérias familiares e não perigosas. Pensamos que pode despertar grande interesse no público em geral, tendo ainda a vantagem de se prestar a uma experimentação individual e não supervisionada.

Escolhemos uma refeição que pensamos ser comum para grande parte das pessoas na época do ano que se aproxima, o Verão, e analisámo-la do ponto de vista químico. Não pretendemos ser exaustivos neste estudo, mas apenas escolher alguns dos componentes químicos de tal refeição.

Assim o menu da nossa refeição constará de:



Nas páginas seguintes vamos analisar cada um dos componentes deste menu, descrevendo os seus ingredientes e, sobretudo, alguma da química aí envolvida.



Salada fria de camarão

Um dos principais factores que torna esta refeição especialmente atraente é a cor. De facto temos vários componentes com cores fortes completamente diferentes, como é o caso da cor laranja da cenoura, do verde das ervilhas e do rosa dos camarões, que contrastam com o creme da batata e da maionese.

Nestes casos, como em todos os outros, são moléculas os agentes que dão a cor. De facto, muitas das cores naturais dependem da presença de determinadas moléculas.

As cores destas substâncias devem-se à absorção, pela substância, de luz de determinados comprimentos de onda do espectro visível. Para compreender este fenómeno convém referir que a luz branca é uma mistura de todos estes comprimentos de onda.

Se qualquer cor é removida da luz branca, então a luz fica com uma determinada coloração. Por exemplo, filtrando o laranja da luz branca ela fica com uma coloração azul esverdeada. Ou seja, removendo uma determinada cor, a luz fica com a coloração da cor complementar. Uma forma simples de demonstrar isto é usando a roda das cores, em que cores complementares estão diametralmente opostas.

Outro ponto importante na compreensão deste facto é que cada substância pode absorver apenas determinados comprimentos de onda da luz. Se os seus electrões podem sofrer rearranjos para estados que diferem apenas um pouco em energia do seu estado normal, elas absorvem luz vermelha, pois esta é luz de baixa energia. Assim, se num destes objectos incidir luz branca, a luz reflectida pela substância é verde. Se uma substância tiver que absorver uma quantidade alta de energia para os seus electrões ficarem com um novo rearranjo, então absorve na luz azul e a sua cor será laranja.

A nossa salada fria será assim confeccionada:

Salada fria de camarão

Ingredientes:

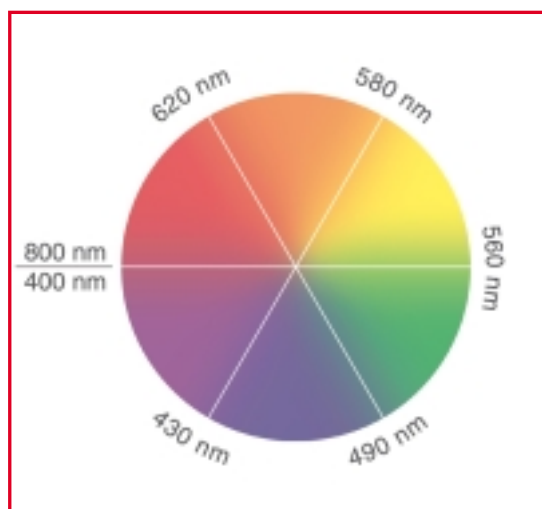
Batata; Cenouras; Ervilhas; Camarões; Maionese.

Preparação:

A batata e a cenoura são cortadas em pequenos cubos. Tanto os vegetais como o camarão devem ser cozidos em separado e bem escorridos. Descascam-se os camarões deixando alguns com casca para enfeitar.

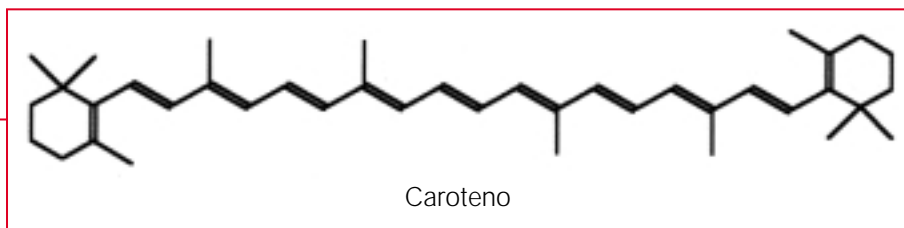
Misturam-se todos os ingredientes e temperam-se com maionese.

Coloca-se a mistura numa saladeira, cobre-se com maionese e enfeita-se com os camarões que se reservaram.



Cenoura

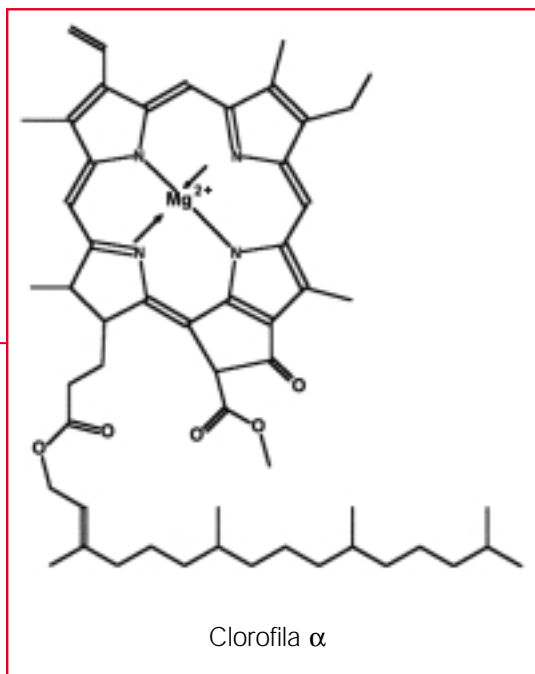
A molécula que dá cor às cenouras chama-se caroteno. O caroteno é também parcialmente responsável pela cor de alguns frutos como, por exemplo, a manga e os diospiros.



ganga e os diospiros.

A característica mais marcante desta molécula é a sua cadeia onde alternam ligações duplas e ligações simples.

Uma consequência desta característica é que a molécula se torna rígida e não é flexível. A outra é que os electrões na cadeia estão deslocalizados, portanto estão fracamente ligados e podem ser excitados por luz de energia relativamente baixa: o caroteno absorve azul, aparecendo então laranja. Uma outra característica desta molécula, importante para a sua ocorrência no mundo, é que, sendo um hidrocarboneto, é solúvel em gorduras e não na água. Este composto é o precursor da Vitamina A, que desempenha um papel importante no mecanismo da visão. Daí a crença popular: "A cenoura faz os olhos bonitos".



Ervilhas

A cor verde da ervilha deve-se à presença de um pigmento chamado clorofila. Este é o pigmento mais comum e a ele se deve a cor verde das plantas.

Esta molécula absorve tanto luz violeta como vermelha, dando assim uma cor verde às plantas. A luz absorvida destina-se a fornecer energia para a fotossíntese, em que o dióxido de carbono e a água se combinam para dar hidratos de carbono. A molécula de clorofila é assim como que uma antena das plantas verdes destinada a absorver a energia da luz solar para ser usada nos processos da vida.

A clorofila absorve muito fortemente e pode encobrir outros pigmentos existentes que se tornam visíveis quan-



Na sala de jantar com a química

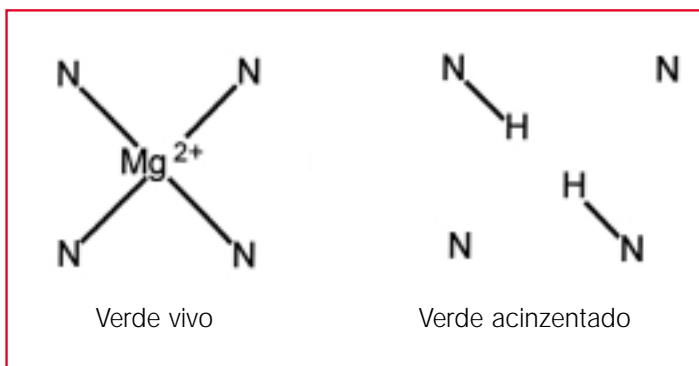
do há uma degradação das moléculas de clorofila, como por exemplo acontece no Outono, quando da queda das folhas.

Quando se cozem vegetais, o átomo central de magnésio é substituído por protões (H⁺). Tal substituição altera a energia necessária para excitar os electrões do resto da molécula, portanto o tipo de luz absorvida, pelo que a cor é alterada.

O verde intenso que surge alguns segundos após os legumes verdes serem introduzidos em água a ferver deve-se à libertação de gases existentes entre as células vegetais. Estas bolsas de ar em geral obscurecem a cor; quando o gás se liberta por acção do calor, vê-se mais claramente a cor do pigmento.

No entanto, após esta primeira alteração, a cor verde inicial altera-se e passa a acastanhado, ficando os legumes com um aspecto menos apetitoso. Isto deve-se a determinadas alterações químicas que ocorrem no pigmento. De facto, a clorofila é susceptível a dois tipos de alterações que modificam a sua cor.

O átomo de magnésio central da clorofila é facilmente deslocado pelo calor e substituído por iões hidrogénio. Na água em que se está a cozinhar, ligeiramente ácida, existem inúmeros protões aptos a substituir o átomo de magnésio. Quando o átomo de magnésio da clorofila α , o principal componente da clorofila, é substituído por átomos de hidrogénio, a cor torna-se verde acinzentado.



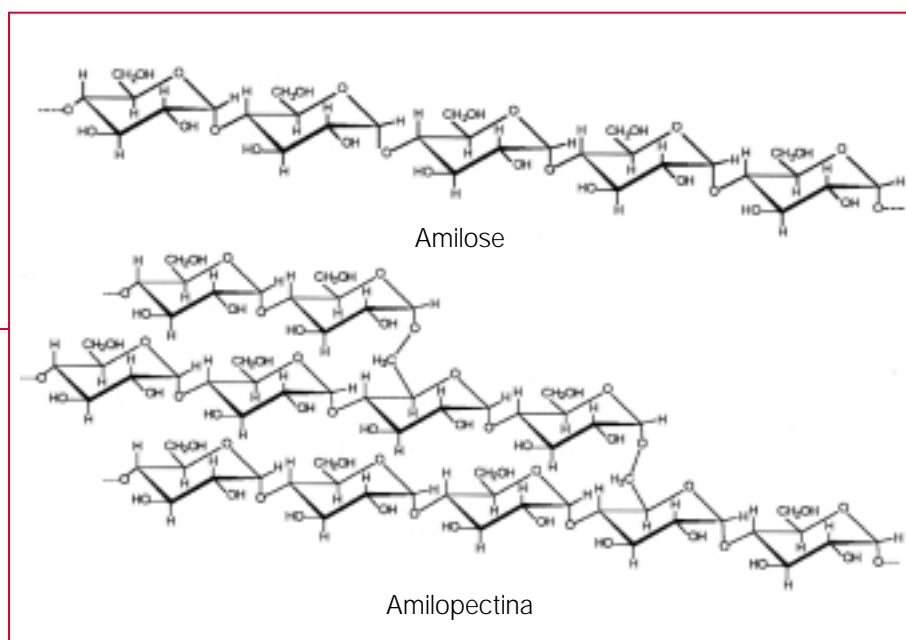
Esta substituição é a principal causa da alteração de cor dos vegetais quando são cozinhados. Ela é ainda mais acentuada devido ao facto de o calor destruir a estrutura celular e pôr em contacto a clorofila com os ácidos da planta. Um "truque de cozinha" comum para manter a cor verde dos vegetais e lhes dar um aspecto mais apetitoso consiste em deitar um pouco de bicarbonato de sódio na água de cozedura. Por este processo torna-se a água alcalina, diminuindo-se a concentração de protões, e assim evita-se a substituição do magnésio da clorofila.

No entanto, a água alcalina torna os vegetais moles, a celulose das paredes celulares e a pectina são degradadas, ficam mais solúveis, o que torna os tecidos moles. Também a cadeia linear da clorofila (grupo fitil) é removido mais facilmente e assim o pigmento torna-se solúvel em água. Por estas razões, alcalinizar a água nem sempre é uma boa ideia.

Uma maneira prática de minimizar o problema da perda de cor consiste em pôr os legumes em grandes quantidades de água a ferver, deixar a panela aberta durante os primeiros minutos e não cozer os legumes mais do que 5 a 7 minutos (caso seja necessário para a cozedura ser mais rápida, cortam-se os legumes em bocados mais pequenos).

Por este processo a grande quantidade de água dilui os ácidos da planta, minimizando o efeito. Por outro lado, os ácidos que são voláteis, mantendo a panela aberta, libertam-se durante os primeiros minutos de cozedura. Se a panela estivesse fechada, eles condensavam-se na tampa e voltavam a cair para a água.

Este processo de cozedura ainda tem outros efeitos positivos. As plantas têm enzimas que destroem as vitaminas e alteram os pigmentos. Tal como acontece com os ácidos da planta, estes enzimas misturam-se indiscriminadamente com os outros constituintes da planta quando as células são destruídas durante a cozedura. As clorofilases removem o grupo fitil da clorofila, tornando-a mais solúvel em água e mais sujeita a alterações. Estes enzimas são mais activos entre 66° e 77° e só são destruídos pela fervura. Grandes quantidades de água a ferver sofrem um menor decréscimo de temperatura pela adição dos legumes do que pequenas quantidades de água. Assim, os enzimas têm menos tempo para actuar e perde-se menos pigmento na água de cozedura.



Isto é particularmente importante para os espinafres, que contêm bastante enzima, mas menos importante para as ervilhas. No caso das cenouras tal não se verifica, pois o caroteno é quimicamente muito estável.

Batata

A batata tem na sua composição cerca de 18% de amido. O amido é consti-



tuído essencialmente por dois tipos de moléculas: a amilose e a amilopectina. Ambas são constituídas por cadeias de moléculas de glucose ligadas entre si.

No entanto, a amilose é linear e pode ser decomposta nas unidades de glucose que a compõem pelo enzima amilase que ocorre na saliva. A amilopectina é ramificada e necessita de um enzima suplementar para a cortar nos pontos de ramificação, podendo então ser cortada pela amilase nos resíduos de glucose que a formam.

Trabalho Prático

Detecção do Amido na Água de Cozedura da Batata e Verificação da Actividade Enzimática da Saliva

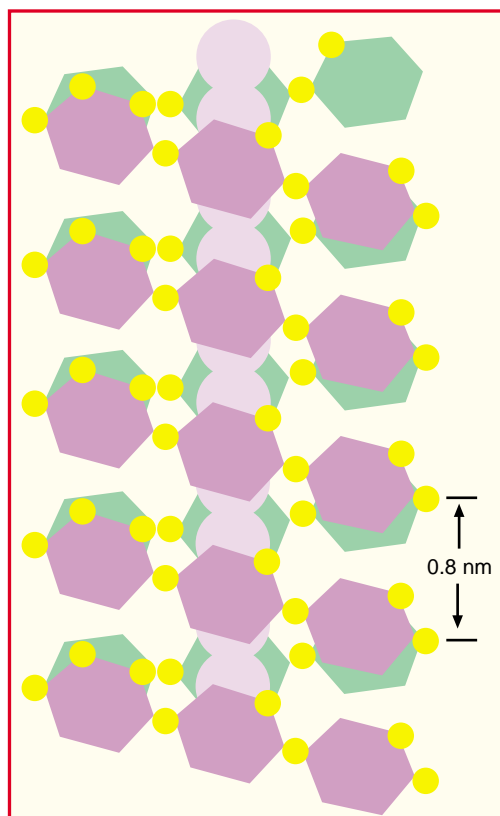
- 1) Prepare uma solução de amido fervendo uma batata cortada em pedaços numa quantidade pequena de água.
- 2) Deixe arrefecer e filtre cerca de 50 ml desta solução.
- 3) Deite cerca de 15 ml desta solução aquosa em cada um de dois tubos de ensaio.
- 4) Deite cerca de 2,5 ml de saliva num deles e aguarde cerca de 10 minutos.
- 5) Junte então uma gotas de solução de iodo (ou tintura de iodo) para detectar a presença de amido.

Deve observar-se uma cor azul intensa no tubo onde não deitou saliva e o outro deve ficar com a coloração acastanhada típica da tintura de iodo.

A cor azul resulta de um complexo entre a amilose e o iodo, em que as moléculas de iodo se introduzem no meio da hélice formada pelas moléculas de amilose.

A saliva contém um enzima (ptialina) que é capaz de quebrar as ligações entre as várias unidades de glucose no amido; quando a solução é tratada com saliva dá-se a seguinte reacção:

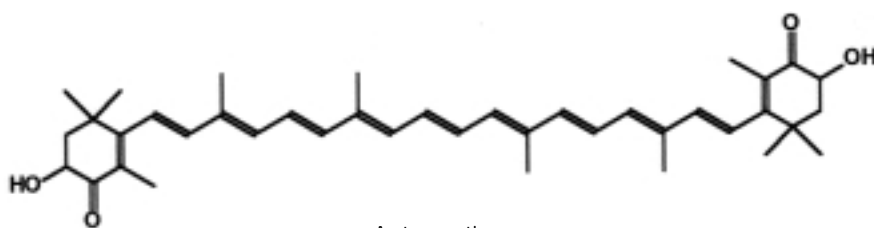
amido + ptialina → **maltose** (um açúcar)



Camarões

No caso dos camarões a cor deve-se a uma molécula muito semelhante ao caroteno: a astaxantina.

A presença de 4 átomos de oxigénio na molécula altera a energia necessária para excitar os electrões, por isso a cor é diferente da do caroteno. A astaxantina é rosa e ocorre



Astaxantina

nas carapaças das lagostas e camarões e também no salmão, sendo responsável pelas suas cores.

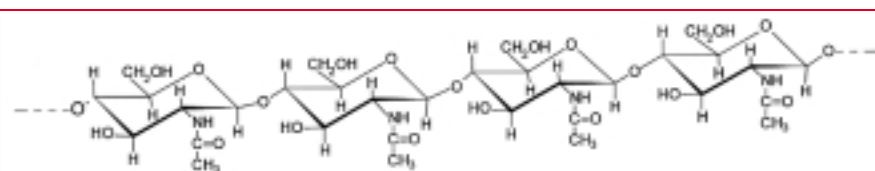
Contudo, no camarão a cor rosa não é aparente

quando o animal está vivo. Isto acontece porque ela está como que “embrulhada” por uma proteína, sendo apenas visível uma cor acinzentada. Quando a lagosta ou o camarão são cozidos, a subida da temperatura altera as forças que mantêm a forma (estrutura tridimensional) da proteína, libertando-se a molécula de astaxantina e ficando estes crustáceos com uma cor rosa.

Uma molécula idêntica é a cantaxantina. Resulta de uma molécula de astaxantina que perdeu os dois grupos -OH. Esta molécula é responsável pela cor dos flamingos americanos. Esta deve-se à sua dieta rica em camarões. Se na

alimentação dos flamingos em cativeiro não for incluída uma quantidade adequada de camarões, estes perdem a cor rosa.

O constituinte principal da carapaça dos camarões,



Quitina

tal como de muitos outros crustáceos e insectos, é a quitina.

A quitina tem uma composição química muito semelhante à da celulose. A única diferença é que, em cada unidade de glucose, o radical -OH no carbono 2 é substituído por um grupo -NH(CO)CH₃. A quitina da casca dos camarões é usada na indústria óptica para o fabrico de lentes de contacto e é também transformada em pele e membranas renais artificiais.



Maionese

Ao fazer maionese, poucas pessoas se apercebem do que está a acontecer. Como é que as gemas, vinagre e azeite se transformam num molho espesso e cremoso? O que é que evita que o azeite se separe do vinagre e como é que é absorvido tanto azeite? A maionese é uma emulsão de azeite na água do vinagre. Uma emulsão consiste numa mistura homogénea de dois líquidos, em geral imiscíveis, em que pequenas gotículas de um deles estão dispersas no outro.

O azeite tem que ser adicionado muito lentamente para facilitar a formação da emulsão. Se for adicionado muito rapidamente separa-se numa camada distinta.

O papel da gema de ovo na maionese é mais importante do que o simples facto de dar sabor. A gema é rica em lecitina, que é um agente emulsionante.

Um emulsionante é uma substância cujas moléculas têm uma extremidade polar, que é atraída pela água, e outra extremidade apolar, que é atraída pelo óleo.

A lecitina pertence ao grupo dos fosfolípidos e é um componente importante das membranas celulares. Os fosfolípidos são substâncias relacio-

nadas com o transporte de lípidos (gorduras) no fluxo sanguíneo, sob a forma de emulsões. Este emulsionante natural é muitas vezes adicionado a alguns produtos manufacturados, como, por exemplo, as margarinas.

O vinagre só consegue “receber” tanto azeite com a ajuda das propriedades emulsionantes da gema do ovo. Quando se prepara a maionese, mistura-se azeite com vinagre (este contém água). Ao agitar-se esta mistura de água e

Uma receita tradicional de maionese poderá ser:

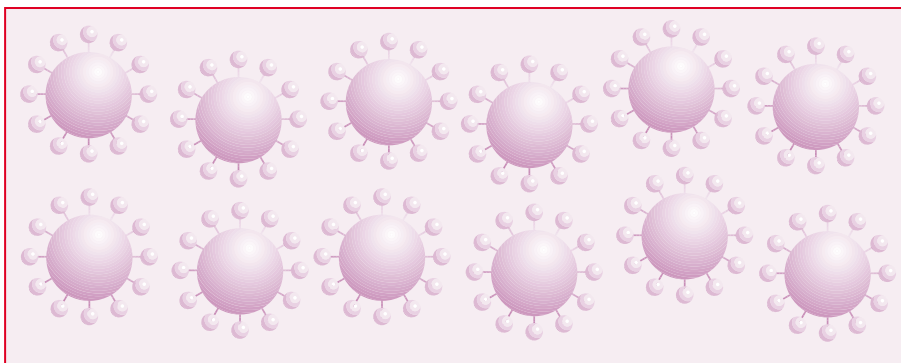
Maionese

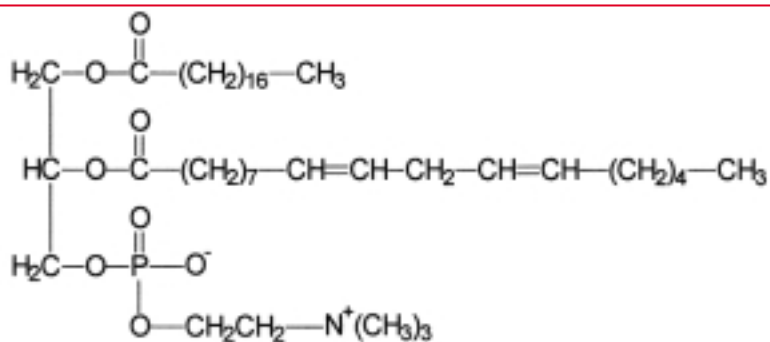
Ingredientes:

1 Gema; 1 Colher de sopa de Vinagre;
1 Pitada de Sal;
1/2 Colher de café de Mostarda;
2,5 dl Azeite

Preparação:

Mistura-se a gema com o vinagre, o sal e a mostarda e adiciona-se o azeite muito lentamente, mexendo sempre e mantendo o recipiente frio.





Lecitina

gordura, o azeite divide-se em gotículas que ficam dispersas na água. A esta mistura chama-se emulsão. Mergulhando uma das extremidades (a apolar) em azeite e a outra (a polar) em água, as moléculas de lecitina do ovo formam um invólucro protector em redor das gotículas de azeite. Estas gotículas são impedidas de se aglutinarem, pois repelem-se devido à carga distribuída pela sua superfície exterior.

O vinagre, devido à sua acidez, impede também que as bactérias se reproduzam rapidamente e ainda provoca alterações nas proteínas da gema do ovo, que fazem com que a mistura fique mais espessa.

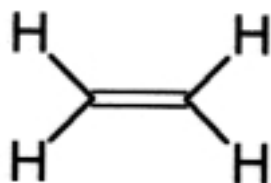
Um “truque de cozinha” geralmente usado quando a maionese começa a deslaçar é adicionar um pouco de água. Isto porque a quantidade inicial de água (no vinagre e na própria gema) pode não ser suficiente para permitir a formação da emulsão.

Um “truque de cozinha” geralmente usado quando a maionese começa a deslaçar é adicionar um pouco de água. Isto porque a quantidade inicial de água (no vinagre e na própria gema) pode não ser suficiente para permitir a formação da emulsão.

Banana

A banana, nativa da Índia e da Malásia, faz parte da alimentação humana há muitos milénios, tendo sido uma das primeiras plantas a ser cultivada pelo homem. Actualmente ainda tem um papel importante na alimentação de muitos povos. A sua importância deve-se ao seu alto conteúdo em hidratos de carbono. Antes do amadurecimento, estes hidratos de carbono são essencialmente amido, que durante o amadurecimento se transforma quase completamente em açúcar (20-25% em peso).

Dado o seu alto teor em açúcar é uma boa fonte de energia (78 kcal por cada 100 g), ou seja, cerca de duas vezes mais calórica do que os outros frutos correntes; por isso não é um fruto muito aconselhado em dietas de emagrecimento. No entanto, ela é muito rica em sais minerais (cálcio, magnésio e principalmente potássio) e em vitaminas (C, B1, B2 e PP).



Etileno



Na sala de jantar com a química

Nas Caraibas, por volta de 1910, verificou-se que as bananas armazenadas perto de laranjas amadureciam mais rapidamente que as outras. A explicação para isto só surgiu cerca de duas décadas mais tarde. Tal devia-se à presença de etileno.

Verificou-se que, na presença deste gás, os frutos amadurecem mais rapidamente. Mais recentemente foi determinado que não só isto acontece, como ainda o etileno desempenha um papel fundamental no processo de amadurecimento natural da fruta. De facto, a fruta produz etileno - um processo chamado "auto-estimulação". Este composto funciona assim como uma hormona específica que inicia o processo de amadurecimento.

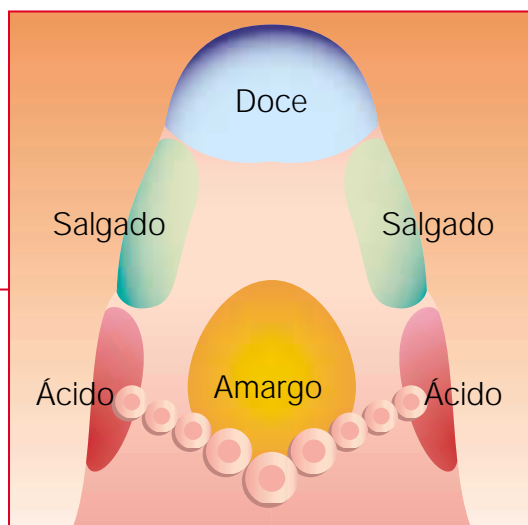
Esta descoberta teve uma grande importância do ponto de vista comercial. Grande parte dos frutos, e em particular aqueles mais sensíveis como bananas e tomates, são colhidos verdes e assim exportados para os mais diversos destinos. Reduz-se deste modo a sua deterioração no processo de recolha, embalagem e transporte. No seu destino eles são então tratados com etileno, que promove o seu amadurecimento para serem então distribuídos para consumo. O mecanismo de acção do etileno não é bem claro. Verificou-se no entanto que, quando o etileno atinge uma certa concentração no fruto, as células começam a respirar - consumir oxigénio e produzir dióxido de carbono - 2 a 5 vezes mais rapidamente do que antes. Este facto é um sinal de elevada actividade bioquímica.

Assim se explicam os "truques" para amadurecer bananas que tantas vezes os vendedores de fruta ensinam: as bananas verdes amadurecerão mais depressa se as colocar junto a uma banana bem madura, ou então, se as colocar num saco de papel.

Por outro lado, se quiser atrasar o amadurecimento da fruta deve-se colocá-la num lugar bastante arejado e longe de outra fruta, a fim de que a concentração de etileno junto da fruta não seja muito elevado.

Pepsi Max

Todas as sensações têm em última análise uma base química. De facto, toda a actividade do nosso sistema nervoso depende do transporte de moléculas e iões de um local para outro e das reacções em que participam. Uma das sensações a referir no contexto deste trabalho é o gosto, cujos sensores se situam na língua, e o cheiro, cujos sensores estão no nariz.



No homem, os receptores do gosto estão principalmente na língua. A língua de um adulto tem cerca de 10 cm de comprimento e cerca de 9.000 papilas gustativas. No adulto estas estão essencialmente confinadas ao perímetro da língua, e o seu número declina com a idade, particularmente a partir dos 45 anos. Como se pode ver pela figura, regiões diferentes da língua correspondem aos quatro sabores básicos: doce, salgado, ácido e amargo.

As moléculas que evocam sabores são denominadas sápidas. Uma condição necessária para que tal se verifique é que sejam solúveis em água, pois uma substância deve dissolver-se em água para poder penetrar nas papilas gustativas. As moléculas com determinados sabores devem ter

grupos de átomos com determinados arranjos espaciais característicos, para poderem interagir com os nervos existentes nas papilas gustativas.

Uma chave tem que ter uma forma complementar da fechadura para a abrir; do mesmo modo, uma molécula, para dar uma dada sensação de gosto, tem que ter uma forma complementar da das proteínas que constituem os terminais nervosos de determinadas papilas gustativas.

A combinação de átomos que dá a sensação de doce é chamada glucóforo. Identificar o glucóforo é uma tarefa difícil, pois requer que nas moléculas que produzem uma sensação de doce se reconheça um padrão comum de características químicas idênticas com um mesmo arranjo geométrico.

Identificado este, é de supor que qualquer molécula que o contenha e que não seja demasiado volumosa, para poder aproximar-se da molécula de proteína do terminal nervoso e com ele estabelecer interacção, deve produzir uma sensação de doce.

Na figura seguinte representa-se um modelo proposto para um glucóforo. Os átomos vermelhos A e B devem ter o poder de atrair electrões (geralmente átomos de oxigénio ou, nalguns casos, de azoto), de forma a poderem estabelecer ligações de hidrogénio. A sensação de doce pode também depender da presença de um grupo hidrocarboneto perto dos átomos A e B.

As moléculas dos hidratos de carbono mais pequenos normalmente produzem uma sensação de doce (por exemplo frutose, sacarose e glucose). No entanto, existem outros compostos que são doces por terem determinados grupos



químicos com uma relação espacial determinada. Neste caso a forma é extremamente importante, pois só ela pode permitir que se estabeleça uma relação entre a molécula do sabor e a do receptor, tipo chave e fechadura.

Existem moléculas que são muito mais doces do que a sacarose, o nosso açúcar de mesa. Uma destas moléculas é o aspartame.

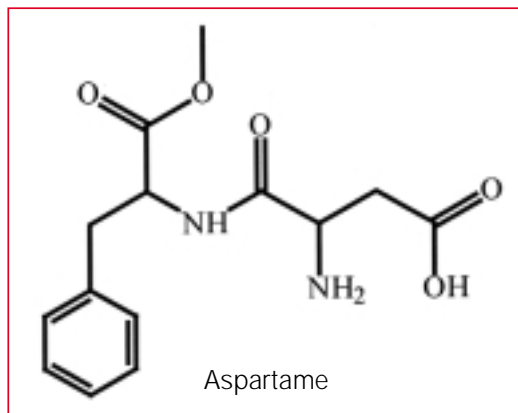
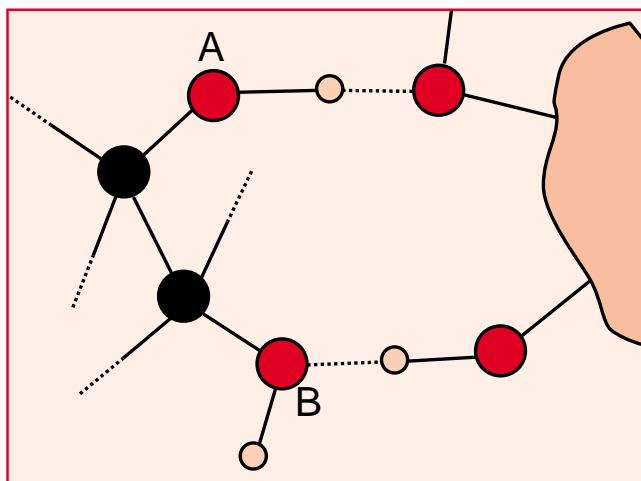
A molécula de um aspartame é resultante da combinação de duas unidades muito comuns no nosso organismo, pois entram na constituição das nossas proteínas: o ácido aspártico e a fenilalanina.

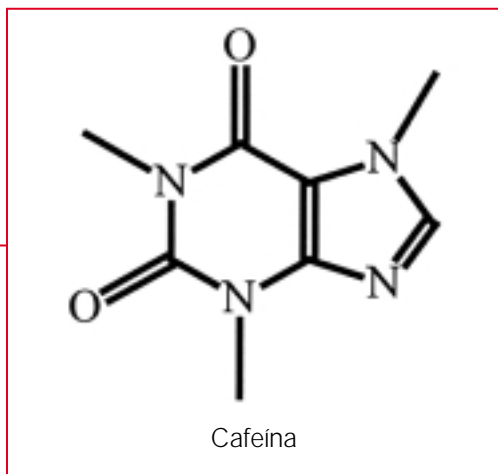
O ácido aspártico é uma molécula praticamente sem gosto e a fenilalanina tem um gosto amargo. Mas o aspartame, o seu dipeptídeo esterificado, é bastante diferente. Tem um sabor cerca de 100 a 200 vezes mais doce do que a sacarose. O aspartame é um sólido branco cristalino, foi descoberto acidentalmente em 1965. Um químico levou à boca casualmente um pouco do composto que estava a preparar e deu-se conta do seu sabor. Neste caso esta falta de atenção levou a uma descoberta importante, mas poderia ter tido resultados muito desagradáveis com outros compostos.

Posteriormente foram feitos testes muito completos para verificar se este produto era tóxico. Concluiu-se que não e que é metabolizado no organismo, tal como as proteínas que ingerimos. Produz aminoácidos que são blocos constituintes de proteínas, moléculas sintetizadas pelo nosso organismo.

Como é muito mais doce que a sacarose utiliza-se o aspartame em quantidades muito menores e, daí, servir como ajuda em dietas de emagrecimento.

No entanto, por ser sensível ao calor, o aspartame não pode ser usado para cozinhar. Decompõe-se nas unidades que o constituem, deixando de dar a sensação de doce. Também se decompõe lentamente à temperatura ambiente em meio aquoso. Assim, os refrigerantes adoçados com aspartame têm uma validade limitada. Este é o adoçante usado na Pepsi Max que faz parte do nosso menu: daí o baixo valor calórico por cada 100 ml (0,4 kcal).





Se olharmos para a composição da nossa bebida, verificamos que um dos seus constituintes é a cafeína. Esta molécula é um estimulante do córtex cerebral. Actua inibindo o enzima que inactiva uma determinada molécula que fornece energia. Esta molécula é também um componente do café e do chá, uma chávena destas bebidas contém cerca de 0,1 g de cafeína. A cafeína também ocorre nas sementes de Cola, uma planta que existe na África Ocidental e América do Sul. Os extractos desta planta são usados para dar sabor à Pepsi-Cola e à Coca-Cola, sendo o seu conteúdo em cafeína que as torna estimulantes.

Trabalho Prático

Extracção da Cafeína da Pepsi Max

- 1) De uma lata de um refrigerante de cola retire 150 ml para um erlenmeyer de 1 l
- 2) Junte-lhe 2 g de carbonato de sódio e verifique com papel de pH se o meio está básico.
(A quantidade aqui não é crítica, pretende-se apenas tornar o meio básico para evitar contaminação com ácido benzóico, existente no refrigerante com a função de conservante. O ácido benzóico, sendo ácido, reage com o carbonato de sódio básico para dar benzoato de sódio, que é solúvel em água e não é extraído pelo solvente orgânico.)
- 3) Juntam-se 50 ml de diclorometano ao balão e agita-se suavemente durante cerca de 5 minutos. Não se deve agitar muito vigorosamente, senão formam-se emulsões muito difíceis de separar.
- 4) Deita-se a mistura para uma ampola de decantação, deixa-se separar (5 - 10 minutos). Recolhe-se a camada inferior, de diclorometano, para um erlenmeyer.
- 5) Junta-se à solução na ampola mais 50 ml de diclorometano, tapa-se a ampola, agita-se muito suavemente para permitir a extracção de alguma cafeína que ainda possa existir na mistura.
- 6) Deixa-se de novo repousar e recolhe-se a camada inferior de diclorometano para o mesmo erlenmeyer onde previamente se recolheu o diclorometano da primeira extracção.



- 7) Ao extracto total adiciona-se cerca de 5 gramas de sulfato de magnésio anidro para remover a água existente.
(Forma um sal de sulfato de magnésio hidratado que é insolúvel.)
- 8) Filtra-se o diclorometano, usando um filtro de pregas.
- 9) Evapora-se o diclorometano, aquecendo-o com um banho de água e usando um evaporador rotativo ou fazendo uma destilação simples.
- 10) Pesa-se o produto resultante que é cafeína.



Bibliografia

- H. MCGEE, *On Food and Cooking*, Harper Collins:UK, 1991
- A. COENDERS, *The Chemistry of Cooking*, The Parthenon:USA, 1992
- B. A. FOX, A. G. CAMERON, *Food Science, Nutrition and Health*, 5th Ed., Edward Arnold: UK
- H. THIS, *Les Secrets de la Casserole*, Belin, France, 1993
- H. THIS, *Révélations Gastronomiques*, Belin, France, 1995
- G. HILL, J. HOLMAN, J. LAZONBY, J. RAFFAN, D. WADDINGTON, *Chemistry the Salters' Approach*, Heinemann Educational:UK, 1989
- B. SELINGER, *Chemistry in the Market Place*, 4th ed.; Harcourt Brace Jovanovich Group: Australia, 1989
- J. EMSLEY, *The Consumer's Good Chemical Guide*, W. H. Freeman: UK, 1994
- J. R. AMEND, B. P. MUNDY, M. T. ARMOLD, *GENERAL, Organic and Biological Chemistry*, Saunders College Publishing: USA, 1993
- F. A. BETTELHEIM, J. MARCH, *Introduction to Organic & Biochemistry*, Saunders College Publishing: USA, 1990
- P. W. ATKINS, *Molecules*, Scientific American Library: USA, 1987
- J. MATRICON, "La Science dans la Casserole", *Sciences et Avenir*, 1995, 100, 24-31
- H. G. FRIEDSTEIN, "Basic Concepts of Culinary Chemistry", *Journal of Chemical Education*, 1983, 60 (12), 1037-1038
- R. B. SEYMOUR, "Chemicals in Everyday Life", *Journal of Chemical Education*, 1987, 64 (1), 63-68



Química computacional

Uma seta na direcção do século XXI

Fernando M.S. Silva Fernandes

1. Introdução

A maioria dos trabalhos de rotina e de investigação em Química partilha um problema comum: a manipulação e a redução de uma quantidade muito grande de dados de modo a extrair deles a informação crucial que conduza à resolução de questões concretas e a decisões acertadas, em áreas fundamentais ou de aplicação imediata.

O advento de instrumentos controlados por computadores tornou possível um tal aumento de aquisição de dados que mesmo o pessoal de laboratório mais treinado e competente não tem capacidade para extrair desses dados, por meios tradicionais, as informações importantes. De facto, a razão de ser desses instrumentos desapareceria sem a aplicação de métodos computacionais para o tratamento e redução dos dados.

Actualmente, os químicos orgânicos e inorgânicos realizam uma vasta série de sínteses químicas. Os grupos de investigação farmacêutica testam milhares de potenciais medicamentos. Os bioquímicos e biólogos analisam longas cadeias de aminoácidos em diferentes moléculas vitais. Os analistas comparam enormes bases de dados de espectros ou trabalham em imagens multidimensionais produzidas por espectrómetros sofisticados. Os químicos teóricos, com base nos princípios unificadores das Mecânicas Quântica, Clássica e Estatística produzem quantidades enormes de resultados a partir de modelos cada vez mais sofisticados. Em complexos industriais, milhares de procedimentos são manipulados, monitorados e alterados de modo a encontrarem-se os melhores requisitos de controlo, tendo em conta os aspectos ecológicos e económicos. A formação científica dos químicos actuais não ficará completa sem uma atenção séria às técnicas de computação científica. Assim, os professores têm a

responsabilidade de expor às novas gerações de químicos o poder de mais um *instrumento de laboratório* insubstituível: o computador. É claro que a aplicação de qualquer instrumento científico deve ser julgada de acordo com o projecto ou estudo a realizar. O computador não é excepção. Apenas será um instrumento útil quando usado com senso em aplicações para as quais esteja bem adaptado. Isto significa que a apreciação das possibilidades e limitações do computador deve acompanhar a aprendizagem das técnicas de computação científica.

A aprendizagem e divulgação das técnicas de computação em Química é fundamental de modo a que os químicos sejam capazes de realizar manipulação de dados e modelação, resolvendo os problemas pelo caminho que eles efectivamente desejem, sem ficarem dependentes de um "menu" que os produtores de software, eventualmente, forneçam. Isto não significa, de modo algum, que o software orientado para o utilizador, fornecido com os computadores, ou adquirido comercialmente, seja inútil. Pelo contrário, em muitas ocasiões, ele oferece a única possibilidade de se resolver um problema de rotina em tempo útil. Contudo, o ponto essencial é que o trabalho mais importante de um químico comece após o tratamento inicial e rotineiro dos seus dados. A compreensão dos fundamentos dos métodos computacionais é fundamental para uma continuação bem sucedida da sua investigação. Os procedimentos que se seguem têm de ser programados, os arquivos de dados manipulados e os resultados avaliados, transformados, projectados, comparados, visualizados e arquivados. Não existe software comercial que ofereça tudo o que um químico pretende. Após esgotar as opções do software comercial os químicos só podem contar com eles próprios. Os códigos fonte desse software não estão normalmente disponíveis. Assim, os químicos não podem reprogramá-los, ou executar alterações, sendo forçados a partir do princípio. Mas, mesmo que esses códigos sejam disponibilizados, é imprescindível um conhecimento dos métodos computacionais envolvidos, de modo a executar alterações nas respectivas rotinas.

Finalmente, a outra razão fundamental para que os químicos dominem os métodos computacionais de tratamento de informação e de modelação é a capacidade para avaliarem o software fornecido com os instrumentos laboratoriais. Infelizmente, a documentação que os acompanha é, tipicamente, insuficiente, inconsistente e com enormes falhas nos fundamentos. Nos manuais, as operações de entrada/saída, opções e formatação dos dados são mal des-



critas e não contêm sugestões sobre os algoritmos, fórmulas ou modo como as rotinas executam as tarefas. Os utilizadores confrontam-se com os resultados finais tal como eles são impressos. As limitações dos métodos utilizados, as simplificações e assunções realizadas antes e durante os procedimentos, os erros expectáveis ou a possibilidade de se aplicarem outras técnicas não são, em geral, mencionados. *E, afinal, todos esses detalhes são cruciais para estimar a credibilidade dos resultados.*

2. Química Computacional

Sob o nome de Química Computacional entende-se, de um modo geral, o domínio dos métodos computacionais aplicados à Química. Dado que existe um largo número de procedimentos computacionais, a Química Computacional apresenta-se como um domínio interdisciplinar, ramificando-se pelas diferentes áreas em que, tradicionalmente, é costume dividir a Química (Química-Física, Química Orgânica, Química Farmacêutica, Bioquímica, Química Inorgânica, Química Analítica, Química Tecnológica, etc.) e, também, pela Ciência dos Computadores.

Nos últimos 25 anos muitas das áreas de aplicação da Química Computacional sofreram um desenvolvimento significativo devido ao aparecimento de novos computadores, de software sofisticado e de uma melhor compreensão dos princípios básicos.

O potencial oferecido pela actual tecnologia de hardware e software teve como consequência o desenvolvimento de uma grande variedade de técnicas para cálculos numéricos e simbólicos. Esses métodos abriram muitas áreas de aplicação e o aumento espectacular do potencial da referida tecnologia torna a Química Computacional um dos domínios interdisciplinares mais promissores na direcção do século XXI.

A Química Computacional é um vector na direcção da unificação. Ao identificar-se como um domínio interdisciplinar com base num omnipresente instrumento laboratorial - o computador -, é a ferramenta capaz de tratar simultaneamente a modelação quântica e clássica, a geometria e a informação química. Esta característica essencial e, porventura, única fez surgir uma nova comunidade científica baseada na habilidade do computador para resolver problemas químicos e na reunião de cientistas de diferentes áreas, tradicional-

mente separadas. A interacção entre eles tem conduzido a realizações científicas e tecnológicas de grande importância, bem como ao estímulo de novas gerações de jovens investigadores.

As bases da interpretação de todos os fenómenos químicos residem nos princípios unificadores das Mecânicas Quântica, Clássica e Estatística e da Geometria (melhor dizendo, das Geometrias), sejam quais forem as áreas tradicionais da Química: Inorgânica, Orgânica, Química-Física, Química Analítica, Bioquímica, etc. Essas bases estão, actualmente, bem estabelecidas e conduzem a cálculos quânticos que englobam problemas tão importantes como a reactividade química, espectroscopia, mecânica e dinâmica moleculares. As simulações quânticas e clássicas, baseadas nos métodos de Monte Carlo, dinâmica molecular e dinâmica browniana, são ferramentas indispensáveis no estudo dos estados sólido e líquido, de misturas de sistemas simples e complexos, assim como no teste de potenciais, intra- e intermoleculares, e de teorias mecânico-estatísticas.

Adicionalmente, como se referiu atrás, qualquer dessas áreas, quer numa perspectiva fundamental, quer numa perspectiva de aplicações bioquímicas e tecnológicas, confronta-se, actualmente, com o problema do tratamento de quantidades brutais de informação. Esse problema pode, também, ser resolvido de uma forma unificada no âmbito da Química Computacional. Assim, os métodos de aquisição e processamento de dados com vista à obtenção de conclusões finais, ou de decisões vitais, são actualmente um dos objectivos da Química Computacional. Esses métodos são, normalmente, catalogados sob nomes sonantes como Quimiometria, Redes Neurais, Sistemas Inteligentes, Algoritmos Genéticos, Geometria Fractal, Grafismo Molecular, etc.

As enormes bases de dados de compostos químicos - mais de 14 milhões de compostos estão actualmente identificados e registados -, acompanhadas de dados obtidos por variadíssimas técnicas (Infravermelho, Raman, RMN, Espectrometria de Massa, Cromatografia, etc.) e de outras informações específicas, só podem ser manipuladas, de uma forma unificada, pela presente tecnologia computacional. A manipulação dessas bases de dados conduz à resolução de uma enorme gama de problemas: planeamento de sínteses, relações quantitativas de estrutura-actividade, projecção de potenciais electrostáticos, análise de dados espectroscópicos, reconhecimento de estruturas químicas, análise de populações, etc.



Finalmente, a Química Computacional tornou-se parte da investigação e desenvolvimento industrial. As alterações económicas e tecnológicas na indústria química, provenientes da necessidade de novos produtos e requisitos para controlo de custos e processos químicos aceitáveis sob o ponto de vista económico e ecológico, apresentam oportunidades extremamente importantes para a Química Computacional. O desenvolvimento de novos medicamentos, drogas e materiais está fortemente dependente dos métodos computacionais. Assim, o sucesso futuro da indústria química, como uma das geradoras importantes de empregos, está directa e criticamente dependente dos desenvolvimentos da Química Computacional. Nada ilustra melhor a situação do que o estado presente do desenvolvimento de novos medicamentos. Actualmente, 35 000 compostos novos, em média, têm de ser sintetizados para encontrar um novo medicamento. Estes compostos são avaliados, sob o ponto de vista da sua actividade, para encontrar estruturas-chave que têm de ser posteriormente optimizadas de modo a serem submetidas a testes clínicos. Tudo isto consome muito tempo e tem custos muito elevados: em média, o desenvolvimento de um novo medicamento leva 12 anos e custa 200 milhões de dólares. A Química Computacional considerou este desafio e, cada vez mais, métodos racionais de desenvolvimento de medicamentos e drogas são explorados de modo a fornecer guias eficientes sob o ponto de vista de tempo e de custos. O progresso na tecnologia de hardware é acompanhado de desenvolvimentos no software de modo a tratar sistemas de grande complexidade.

Do exposto acima, parece evidente que a Química Computacional contribui para uma unificação da Química, e dos químicos, conferindo-lhe uma característica multidimensional em que as diferentes dimensões não podem jamais ser desligadas como entidades independentes e isoladas. O carácter unificador da Química Computacional é, em princípio, conferido pelas enormes capacidades de armazenamento e de cálculo dos computadores. No entanto, o computador é um produto da inteligência humana e é, afinal, nessa inteligência que, em última análise, reside a procura incessante da unificação. O computador é, porventura, tão-somente e não mais, do que a ferramenta. *A dimensão humana está sempre presente e é inseparável de todo o complexo multidimensional que não é só a Química, mas toda a Ciência, Arte e Técnica, ou seja, todas as expressões da Realidade Universal. A procura da unificação é um instinto universal do qual a Química Computacional é, por sua vez, uma dimensão.*

3. Algumas aplicações concretas dos computadores em Química

Nos parágrafos anteriores tentámos dar uma perspectiva muito geral da importância do computador como o instrumento laboratorial que deu origem à Química Computacional, um domínio interdisciplinar unificador da Química e dos químicos.

No que se segue especificaremos algumas aplicações concretas. Para tal, daremos os conceitos básicos dessas aplicações e remeteremos os leitores interessados para artigos, livros e para a Internet, onde poderão apreciar aspectos técnicos, resultados numéricos, gráficos e animações.

Podemos sistematizar o uso dos computadores em Química em cinco áreas fundamentais:

- Análise Numérica.
- Análise Simbólica.
- Simulação.
- Controlo em tempo real, aquisição e tratamento de dados.
- Inteligência Artificial.

3.1. Análise Numérica

Quem leia um pouco de História da Matemática ficará certamente impressionado com o esforço dos matemáticos ao tentar resolver problemas aparentemente insolúveis. Embora tenham sido realizados enormes progressos, a verdade é que muitos problemas continuam sem resposta.

Quando um problema é resolvido, dá lugar, frequentemente, a novos problemas mais difíceis do que o original. Em qualquer momento existem sempre situações que desafiam os matemáticos. O desenvolvimento científico e tecnológico conduz a casos que exigem solução imediata, mas para os quais ainda não se encontrou uma resposta exacta. Os cientistas e engenheiros, postos perante esses problemas, não podem esperar por uma geração de super-matemáticos, pois necessitam duma resposta *agora!*

Um problema da maior importância, por exemplo, é a previsão meteorológica. O clima à superfície da Terra obedece a equações matemáticas muito complicadas, as quais não são resolúveis exactamente. No entanto, nós queremos



saber como vai ser o tempo amanhã. A resposta para esta situação é aceitar uma *aproximação* da solução requerida, em vez de exigir uma solução *exacta* para o problema. Ficaremos certamente satisfeitos se o meteorologista prevê chuva, vento de 30 Km/h, temperatura de 10°C, etc. O rigor de tal previsão depende, contudo, do método de aproximação utilizado.

O objectivo da Análise Numérica é, precisamente:

- a) Aproximar um modelo matemático por outro mais simples (mais simples no sentido de ser capaz de produzir respostas).
- b) Especificar qual o rigor da aproximação.

Dum modo geral podemos definir a Análise Numérica como *o estabelecimento e análise de métodos aproximados*.

No estabelecimento desses métodos deve-se ter sempre presente que o objectivo é obter uma resposta *de um modo eficiente*. Em relação à previsão do tempo, por exemplo, não tem qualquer utilidade obter uma solução aproximada que leve tanto tempo a calcular que só obtenhamos amanhã a previsão para hoje.

Assim, existem problemas práticos que dão lugar a modelos matemáticos para os quais não há soluções exactas (analíticas, expressas por uma fórmula), ou porque ainda não foram estabelecidas, ou porque é mesmo impossível obtê-las, mas que exigem alguma forma de resolução. A Análise Numérica fornece um meio de propor e analisar métodos que produzem aproximações à solução requerida. Essas aproximações devem, contudo, ser eficientes e ter um grau de rigor conveniente.

Em contraste com os problemas analiticamente insolúveis aparecem, frequentemente, problemas para os quais existem soluções analíticas, mas cujas formas são tão complicadas que se tornam inconvenientes para a obtenção de valores. Por exemplo, um problema de grande importância fundamental, tecnológica e biológica, é o estabelecimento dos mecanismos das reacções químicas. É bem sabido que, em geral, uma reacção química não se realiza num único passo, mas é a conjugação de uma série de passos elementares em que o passo mais lento é o determinante da velocidade global da reacção. O estabelecimento dos diferentes passos elementares e das respectivas velocidades é precisamente o que se denomina como a determinação do mecanismo da reacção, o objectivo fundamental da Cinética Química. O estudo experimental de uma reacção através de diversos métodos (condutimétricos, espectroscópicos,

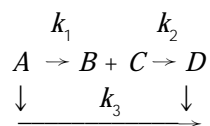
etc.) leva a que seja proposto um determinado mecanismo. Suponhamos, por exemplo, a seguinte reacção:



Se a reacção se der no único passo explícito no esquema, então, trata-se de uma reacção de 1ª ordem, muito simples de analisar experimentalmente sem necessidade de recorrermos a métodos numéricos. De facto, nesse caso, a velocidade da reacção $d[A]/dt$ será dada por:

$$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]$$

onde k é a constante de velocidade da reacção e $[A]$ é a concentração molar do composto A . Basta determinar, por um método adequado, a evolução temporal da concentração de A e representá-la graficamente em função do tempo. Obter-se-á uma recta cujo declive é a constante k . Se o gráfico experimental não for uma recta, isso é sintoma de que a reacção não se realiza num único passo, e teremos de propor um mecanismo mais elaborado. Por exemplo, é possível que o mecanismo seja:



onde temos três passos elementares com diferentes velocidades e dois compostos intermediários. Neste caso, teremos de considerar o seguinte sistema de equações diferenciais de 1ª ordem acopladas:

$$\frac{d[A]}{dt} = -k_1[A] - k_3[A]$$

$$\frac{d[B]}{dt} = \frac{d[C]}{dt} = k_1[A] - k_2[B][C]$$

$$\frac{d[D]}{dt} = k_3[A] + k_2[B][C]$$

Experimentalmente, é necessário determinar a evolução temporal das concentrações dos compostos A , B , C e D e representá-las graficamente em função do tempo. Contudo, nesta situação, não é possível calcular directamente, a partir dos gráficos, as diferentes constantes de velocidade, uma vez que cada passo contém as interferências dos outros passos.



À primeira vista, o que haverá a fazer será atribuir valores às constantes e integrar as respectivas equações de modo a obter expressões analíticas das diferentes concentrações em função do tempo. Representando essas expressões graficamente, em conjunto com as curvas experimentais, analisam-se as formas das curvas teóricas e experimentais e a sua eventual sobreposição. Se as formas forem semelhantes, isso indica que o tipo de mecanismo proposto deve ser o correcto. Mas se, nesse caso, não houver sobreposição das curvas, então teremos, por tentativas sucessivas, de alterar os valores das constantes de modo a que se consiga a sobreposição. Se a forma das curvas teóricas for diferente das experimentais, então o mecanismo proposto não é correcto e teremos de estabelecer outras hipóteses.

O problema é que, embora o sistema de equações anterior seja analiticamente resolúvel, as respectivas fórmulas são extremamente complexas (em termos das chamadas funções de Bessel), não sendo, por isso, facilmente manejáveis. Por outro lado, o mecanismo anterior é relativamente simples e, de um modo geral, as reacções químicas e biológicas realizam-se através de mecanismos incomparavelmente mais complexos que o anterior. Nesse caso, os sistemas de equações diferenciais não têm soluções analíticas. Assim, é de todo o interesse estabelecer métodos numéricos gerais que possam resolver os problemas de um modo unificado. Aos leitores interessados sugerimos a consulta das referências [1- 3].

Adicionalmente, existem problemas para os quais existem soluções analíticas que, embora não sejam demasiadamente complexas, poderão, no entanto, ser mais facilmente obtidas por um método numérico.

Consideremos, por exemplo, o cálculo do pH de uma solução de ácido fraco e base forte. Os leitores interessados encontrarão todos os detalhes deste problema nas referências [4,5]. A concentração hidrogeniônica $[H_3O^+]$ é uma das soluções da equação cúbica:

$$[H_3O^+]^3 + (K_a + [B]_i)[H_3O^+]^2 + (K_a + [B]_i) - K_a[HA]_i - K_w)[H_3O^+] + K_a K_w = 0$$

onde $[B]_i$, $[HA]_i$, K_a e K_w são, respectivamente, as concentrações iniciais da base e do ácido, a constante de acidez e o produto iónico da água. Embora a equação anterior tenha uma fórmula resolvente (somente as equações algébricas de grau igual ou superior a cinco não têm soluções analíticas), torna-se mais simples implementar a resolução computacional da equação anterior com

base num método numérico (por exemplo, o método das bissecções sucessivas). Nas referências [4,5] utiliza-se essa equação para traçar as curvas de titulação ácido-base com escolha de indicadores. Uma outra aplicação numérica importante neste contexto é descrita na referência [6].

Finalmente, encontramos uma classe de problemas cujas soluções podem ser escritas formalmente e que, em certos casos, podem ser calculadas simplesmente utilizando um método clássico, mas que, noutros casos (que são os que ocorrem mais frequentemente), conduzem a um processo tão moroso que se tornam praticamente inúteis. Essa classe de problemas surge, por exemplo, na resolução de sistemas de equações lineares. Em Química, problemas como análise de multicomponentes em espectroscopia, análise de reactores químicos, ajuste de dados e química quântica implicam sempre a resolução de sistemas do tipo:

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j = b_j ; i = 1, 2, \dots, N$$

Aos leitores interessados sugere-se a consulta das referências [7-9].

Na Álgebra Linear estuda-se a regra de Cramer para a resolução de sistemas de equações lineares (baseada no cálculo de determinantes). Sucede que, para N suficientemente pequeno ($N < 6$), a regra é praticável, mas, à medida que N aumenta, os cálculos requeridos são brutais. Para $N=26$, por exemplo, o número de multiplicações requeridas na execução da regra de Cramer são $25 \times 26!$ (! de factorial). Num computador que realize 100 000 multiplicações por segundo o cálculo demoraria cerca de 10^{17} anos. Deparamos, assim, com uma situação para a qual existe um método de cálculo conhecido, mas que é tão moroso que se torna inútil. A Análise Numérica tem, mais uma vez, um papel a desempenhar: encontrar um método alternativo que conduza a uma solução num tempo razoável.

Em conclusão, a Análise Numérica tem como objectivo a resolução de problemas complexos dum modo aproximado ou mais eficiente do que os métodos analíticos.

A realização desse objectivo implica, no entanto, vários passos essenciais, nomeadamente :

- a) Definição exacta do problema: o problema deve ser claramente enunciado, evitando-se quaisquer ambiguidades. A informação disponível deve ser suficiente de modo a garantir uma resposta com uma precisão pré-estabelecida.



- b) Derivação do método (ou classe de métodos) apropriado para a resolução do problema e a sua representação em termos computacionais. Isto não é mais do que o estabelecimento do *algoritmo* para a resolução do problema.
- c) Codificação do algoritmo numa linguagem de programação apropriada, produzindo um *programa* que será executado pelo computador.

Actualmente, as linguagens de programação mais utilizadas na resolução de problemas científicos e técnicos são o FORTRAN, Pascal, *C++* e BASIC.

- d) Análise dos resultados produzidos pela execução do programa e decisão sobre se os resultados obedecem ou não às especificações do problema.
- O trabalho de cálculo propriamente dito é executado pelo computador (o qual não é mais do que um autómato) e a pessoa não desempenha um papel activo neste ponto. O seu papel importante é desempenhado na análise do modelo, dos métodos e dos resultados. Assim, o químico deve ser um analista competente e possuir, pelo menos, conhecimentos básicos de ciência computacional.

Presentemente existem à nossa disposição pacotes de programas de Análise Numérica. Assim, os passos b) e c), descritos anteriormente, encontram-se muito facilitados: em muitos casos bastará escolher-se o método e adaptarem-se os programas, em vez de desenvolver todo o trabalho desde o principio. Deverá, no entanto, ser-se extremamente cuidadoso e certificar-se (lendo a literatura que acompanha os pacotes e realizando testes) se o método e a respectiva precisão são os apropriados para o problema em questão. *Nunca* utilizar os pacotes como uma "black box". Por outras palavras, *terá de ser-se sempre um analista competente.*

3.2. Análise Simbólica

A análise simbólica é fundamental em Química. No campo teórico ela é mesmo o primeiro passo na resolução dum problema. Uma vez estabelecido um modelo para o sistema em estudo, tenta-se descrevê-lo por equações matemáticas. A manipulação simbólica das equações tem como objectivo encontrar soluções gerais e analíticas (isto é, exprimíveis por uma fórmula), independentemente de valores específicos dos parâmetros das equações. Se for encontrada a solução e se a sua forma analítica for conveniente em termos de cálculo, então o problema fica resolvido. De contrário, terão de ser utilizados métodos numéricos.

Consideremos, por exemplo, a equação quadrática $ax^2 + bx + c = 0$. Um programa de análise simbólica pode dar-nos a solução na forma simbólica $x = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2a$. Adicionalmente, o programa pode fornecer-nos as soluções numéricas para valores específicos dos parâmetros a , b e c .

As operações matemáticas de integração, diferenciação, desenvolvimento em séries, álgebra de matrizes, etc. podem ser realizadas por um programa de manipulação simbólica, o qual é, obviamente, um auxiliar precioso em Química.

Presentemente temos à nossa disposição programas de análise simbólica facilmente implementáveis em computadores pessoais como, por exemplo, *Mathematica* (Wolfram Research, Inc.) e *MATLAB* (Math Works, Inc.). Uma característica importante desses programas é a possibilidade da representação gráfica de funções a duas e três dimensões. Uma outra característica é a sua interactividade, permitindo que o utilizador programe as suas próprias aplicações. Para aplicações específicas em Química sugere-se aos leitores interessados a consulta da referência [10].

3.3. Simulação

Consideremos a seguinte questão expressa por Richard Feynman nas suas famosas "Lectures on Physics" [11]:

"Suponhamos que num cataclismo todo o conhecimento científico era destruído, mas que tínhamos possibilidade de passar uma única mensagem para as próximas gerações de criaturas. Qual a mensagem que conteria mais informação no menor número de palavras? "

Richard Feynman acredita que essa mensagem seria :

"Todas as coisas são feitas de átomos - pequenas partículas que se movem perpetuamente -, atraindo-se quando se encontram a pequenas distâncias umas das outras e repelindo-se quando se interpenetram."

Nesta mensagem existe, de facto, uma quantidade enorme de informação acerca do universo físico, a qual pode ser explorada com um pouco de meditação e de imaginação. Pensemos no imenso progresso científico e técnico deste século, proveniente do conhecimento dos átomos e das moléculas e das leis do seu comportamento. O microscópio electrónico, a biologia molecular, a engenharia genética, o semiconductor, o computador, etc. são afinal realizações, entre muitas outras, baseadas na estrutura atómica da matéria. O conteúdo da mensagem anterior está sempre presente quando se interpretam os



resultados das experiências e se sugerem novas experiências. O computador é um instrumento precioso para analisar a estrutura atómico - molecular, visualizar os movimentos das moléculas e fornecer informações que outros meios não permitem. Surge, assim, o conceito de *experiência computacional* e a aceitação do computador como um instrumento de laboratório insubstituível. As *experiências computacionais* não substituem, em geral, as experiências laboratoriais, mas complementam-nas. É este sentido de complementaridade que deve ser explorado na aplicação dos computadores em Química. Não deve sobrevalorizar-se o computador como “varinha - mágica”, mas também não se deve subvalorizá-lo classificando-o como “modernismo de teóricos que não sabem manejar a proveta” ou exclamando que “nos bons velhos tempos não existiam computadores e fizeram-se notáveis progressos”. Nunca perdendo o sentido da complementaridade, o computador deve ser considerado, actualmente, como um meio indispensável no ensino e na investigação. E uma das áreas de investigação mais propícias para a utilização do computador é a *simulação*. Mas, afinal, o que é simular? Em termos gerais, simular é imitar. Sob o ponto de vista físico, a simulação pressupõe a existência de um modelo que nos pareça capaz de interpretar os factos experimentais conhecidos. Os modelos são traduzidos por equações matemáticas, as quais são normalmente resolvidas por métodos numéricos. Os resultados obtidos a partir dos modelos são comparados com os resultados experimentais e pode, então, discutir-se a validade do modelo escolhido, o seu eventual aperfeiçoamento ou mesmo a sua substituição por outro modelo.

A mensagem de Feynman, acompanhada do estabelecimento de uma forma explícita para a interacção das moléculas (designada por *energia potencial intermolecular* ou *potencial intermolecular*), constitui um modelo de simulação molecular. A partir do potencial intermolecular pode calcular-se a força total \mathbf{F} que actua em cada molécula, devida às interacções com as restantes moléculas do sistema. Recorde-se que a força está directamente relacionada com a derivada do potencial.

Se distribuirmos um conjunto de N moléculas num recipiente de volume V , conhecendo a força total \mathbf{F} que actua em cada uma delas é possível calcular a trajectória de cada molécula através do tempo, com a ajuda de um computador e com base na 2ª Lei de Newton: $\mathbf{F} = m \mathbf{a}$ onde m é a massa de cada molécula e \mathbf{a} o vector aceleração.

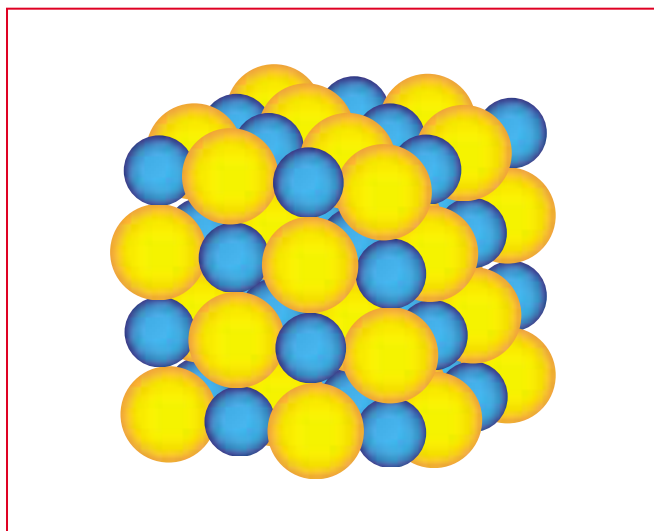


Fig. 1. Antes da fusão

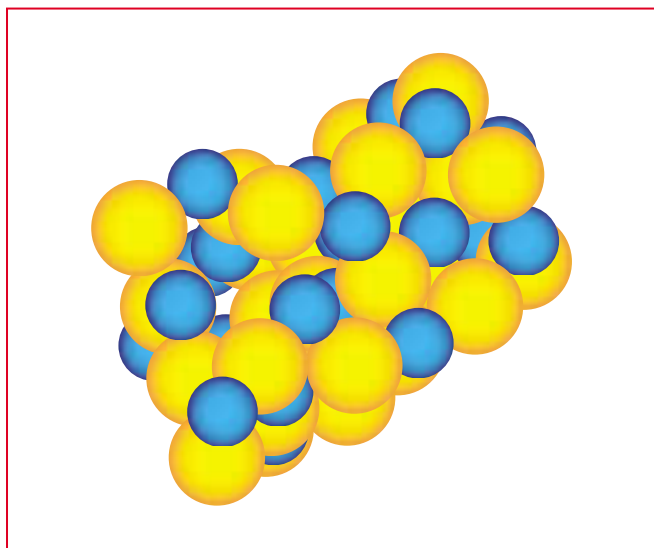


Fig. 2. Depois da fusão

Este é o objectivo do método da Dinâmica Molecular, uma das técnicas actuais de simulação molecular mais poderosas.

As propriedades termodinâmicas que medimos no laboratório (temperatura, pressão, energia interna, entalpia, etc.) estão directamente relacionadas com as trajectórias moleculares, as quais, como vimos, são determinadas pelas interacções moleculares. As trajectórias moleculares não são mais do que a sucessão temporal das diferentes posições das moléculas. Representando essa sucessão de posições moleculares num monitor gráfico, obteremos uma animação molecular onde se podem apreciar os detalhes microscópicos das colisões moleculares. Assim, o método da Dinâmica Molecular, além de estabelecer uma ponte entre as interacções moleculares e as propriedades termodinâmicas, medidas no laboratório, pode revelar-nos a dinâmica microscópica dos sistemas através da realização de filmes construídos a partir das trajectórias moleculares calculadas pelo computador.

Aos leitores interessados sugere-se a consulta das referências [12,13] e da página da Internet <http://elixir.cc.fc.ul.pt/clusters>. Nessa página podem apreciar-se os resultados de simulações, por Dinâmica Molecular, de microagregados de

cloreto de potássio. As simulações permitiram o cálculo de diferentes propriedades termodinâmicas e estruturais, assim como a produção de animações computacionais sobre transições de fase sólido-líquido, líquido-sólido e formação de vidros.

As figuras 1. e 2. mostram, por exemplo, as configurações instantâneas de um microagregado de cloreto de potássio, antes e depois da fusão.

Um outro problema com interesse para a Química é o respeitante à distribuição de Boltzmann. A Termodinâmica Estatística mostra-nos que as moléculas,



num sistema em equilíbrio termodinâmico, se distribuem pelos diferentes níveis de energia permitidos de acordo com aquela distribuição:

$$\frac{n_i}{N} = \frac{\exp\left(-\frac{\epsilon_i}{k_B T}\right)}{\sum_j \exp\left(-\frac{\epsilon_j}{k_B T}\right)}$$

onde \exp é a função exponencial, n_i é o número médio de moléculas no nível de energia ϵ_i , N o número total de moléculas no sistema, a temperatura T e com energia total média:

$$E = \sum n_i \epsilon_i$$

Adicionalmente, a entropia, S , associada a uma dada distribuição, caracterizada pelos valores de n_i (não necessariamente a distribuição de equilíbrio), está relacionada com o número das diferentes combinações moleculares Ω (micro-estados) que sejam compatíveis com a distribuição:

$$S = k_B \ln \Omega$$

onde:

$$\Omega = \frac{N!}{\prod_i n_i!}$$

em que ! designa o factorial, e k_B é a constante de Boltzmann.

A imagem molecular transmitida pela Termodinâmica Estatística é, fundamentalmente, a seguinte: um sistema que não se encontre num estado de equilíbrio termodinâmico (isto é, cujas moléculas não se distribuam pelos diferentes níveis de acordo com a distribuição de Boltzmann) tende, por efeito de colisões moleculares aleatórias, a caminhar, espontânea e irreversivelmente, para o estado de equilíbrio. Na sua evolução para o equilíbrio a entropia aumenta até a um máximo correspondente ao equilíbrio termodinâmico.

As conclusões da Termodinâmica Estatística podem ser facilmente testadas pela simulação muito simples de, por exemplo, um sistema de osciladores harmónicos, seguindo a evolução do número de moléculas em cada nível e da respectiva entropia. As palavras-chave nesse tipo de simulação são as *colisões aleatórias*, as quais podem ser simuladas através de um gerador de números aleatórios disponível em qualquer computador pessoal. Este tipo de simulação tipifica um dos métodos mais importantes em Química Computacional, desig-

nado por método de Monte Carlo. Aos leitores interessados sugere-se a consulta das referências [14-16].

As simulações moleculares permitem estabelecer uma ponte entre a estrutura e interações moleculares e as propriedades macroscópicas medidas experimentalmente. Por outro lado, pode ser difícil ou impossível realizar experiências sob condições extremas de pressão e temperatura, enquanto que a simulação do material numa onda de choque, num plasma a alta temperatura, num reactor nuclear ou no centro dum planeta é perfeitamente realizável. Os detalhes moleculares em catálise heterogénea, condução iónica ou acção enzimática são difíceis de explorar experimentalmente, mas podem ser mais facilmente analisados por simulação computacional. Em resumo, pode-se afirmar que um largo espectro de fenómenos físico-químicos, desde a escala molecular à escala galáctica, podem ser estudados utilizando alguma forma de simulação.

É importante sublinhar o papel crucial que a Análise Numérica desempenha na simulação molecular: os modelos são traduzidos matematicamente e resolvidos, na maioria dos casos, numericamente. A simulação molecular é, em última instância, a aplicação da Análise Numérica a problemas moleculares concretos. Presentemente, existe uma vasta série de programas comerciais, facilmente implementáveis em computadores pessoais, que permitem simular e manipular as mais diversas situações em Química. Como exemplos, citaremos o *ChemOffice* (Cambridge Scientific Computing, Inc.), e o *Chemistry Explorer* (Prentice-Hall, Inc.). Adicionalmente, os livros de Química Computacional, como os citados nas referências [9] e [10], são normalmente acompanhados de disquetes ou CD com vários programas de aplicação. Por outro lado, a Sociedade Portuguesa de Química dispõe de uma biblioteca de programas de Química Computacional. Outras fontes muito importantes de programas e aplicações da Química Computacional são, por exemplo, a *Internet*, o *Journal of Chemical Education* e a revista *Education in Chemistry*.

3.4. Controlo em tempo real, aquisição e tratamento de dados

Actualmente, o funcionamento de grande parte dos aparelhos mais sofisticados, nos laboratórios de Química, é controlado, directa e automaticamente, por computadores. Adicionalmente, os computadores acoplados aos sistemas



permitem a aquisição e tratamento dos resultados de acordo com programas previamente desenhados e codificados para objectivos específicos.

Aos leitores interessados sugere-se a consulta das referências [17,18].

3.5. Inteligência Artificial

As aplicações referidas anteriormente pressupõem, de um modo geral, que os problemas estão exactamente definidos e que a sua resolução pode ser sempre realizada através de algoritmos convencionais (isto é, por um conjunto de operações sequenciais sem qualquer ambiguidade que processam dados completos e precisos e que conduzem a uma única resposta) utilizando métodos numéricos sofisticados e recorrendo ao cada vez maior poder de cálculo dos computadores.

Nos últimos anos, no entanto, têm-se identificado uma vasta série de problemas químicos de extrema complexidade, cuja resolução não pode ser realizada, de um modo eficiente, através desses métodos. Para esses problemas, o ponto essencial não é mais poder computacional ou mais sofisticação matemática, mas sim uma aproximação inteiramente diferente.

Suponhamos, por exemplo, a determinação do número de isómeros de $C_{26}H_{54}O$ que são álcoois, o reconhecimento de uma imagem distorcida que possa corresponder a um grande número de objectos, o planeamento de sínteses químicas com vista a novos medicamentos e materiais, o projecto do genoma humano, a estereoquímica de proteínas, a selecção de parâmetros óptimos em análise instrumental, o controlo automático e inteligente de instrumentos numa planta industrial de larga escala, o estudo da dispersão de poluentes, a cinética em fase gasosa, a análise orientada de bases de dados, etc. É claro que poderíamos pensar em métodos convencionais para resolver os problemas. Contudo, estes problemas tipificam aquilo que se denomina como *explosão combinatória*, isto é, o número de hipóteses e detalhes a considerar é tão grande que dificilmente um método convencional produzirá uma resposta satisfatória em tempo útil, mesmo que se utilizem a força bruta de um supercomputador ou métodos numéricos sofisticados. Adicionalmente, quer os dados, quer os resultados associados a esses problemas possuem, geralmente, uma incerteza intrínseca, a qual tem como consequência que a sequência de operações para a sua resolução seja frequentemente imprevisível e que a

solução não seja única, existindo várias respostas, cada uma delas com um certo nível de confiança.

Actualmente, a abordagem de muitos desses problemas é realizada com base nos métodos da *inteligência artificial*. Esses métodos tentam reproduzir o raciocínio inteligente num computador. A aproximação-chave é o reconhecimento de que o cérebro humano não funciona sequencialmente, mas possui uma rede massivamente paralela de neurónios. Os neurónios têm, individualmente, um funcionamento semelhante e porventura simples, mas, quando dispostos em arquitecturas paralelas convenientes que permitam o processamento simultâneo e integrado, trocando entre eles a informação recebida do exterior ou processada internamente, manifestam, entre muitos outros, dois aspectos essenciais do raciocínio: os saltos intuitivos e a capacidade de aprendizagem com a experiência.

Os métodos de inteligência artificial tentam reproduzir, num computador, essas características com notável sucesso. Eles permitem, também, manipular dados mal definidos ou dados errados. Adicionalmente, tornam possível o uso de uma área de grande e crescente importância em Química: a *lógica difusa* (*"fuzzy logic"*). A lógica difusa mostra que, afinal, as nossas regras formais de raciocínio, estabelecidas por Aristóteles, são demasiadamente rígidas e não permitem uma abordagem correcta de problemas complexos. Todos sabemos que, em geral, a resposta a um problema complexo pode não ser exactamente "sim" ou "não", mas "talvez"; que a cor de um objecto pode não ser exactamente "preto" ou "branco", mas "cinzento", e dentro do cinzento existem infinitas possibilidades.

Os progressos realizados permitem afirmar que a Inteligência Artificial será uma das áreas fundamentais da Química Computacional nas próximas décadas. As redes neuronais artificiais, os sistemas-perito ou sistemas-especialista (*"expert systems"*) e os algoritmos genéticos passarão a ser, indubitavelmente, ferramentas usuais para qualquer químico.

Aos leitores interessados recomenda-se a consulta da referência [19].



4. Comentários Finais

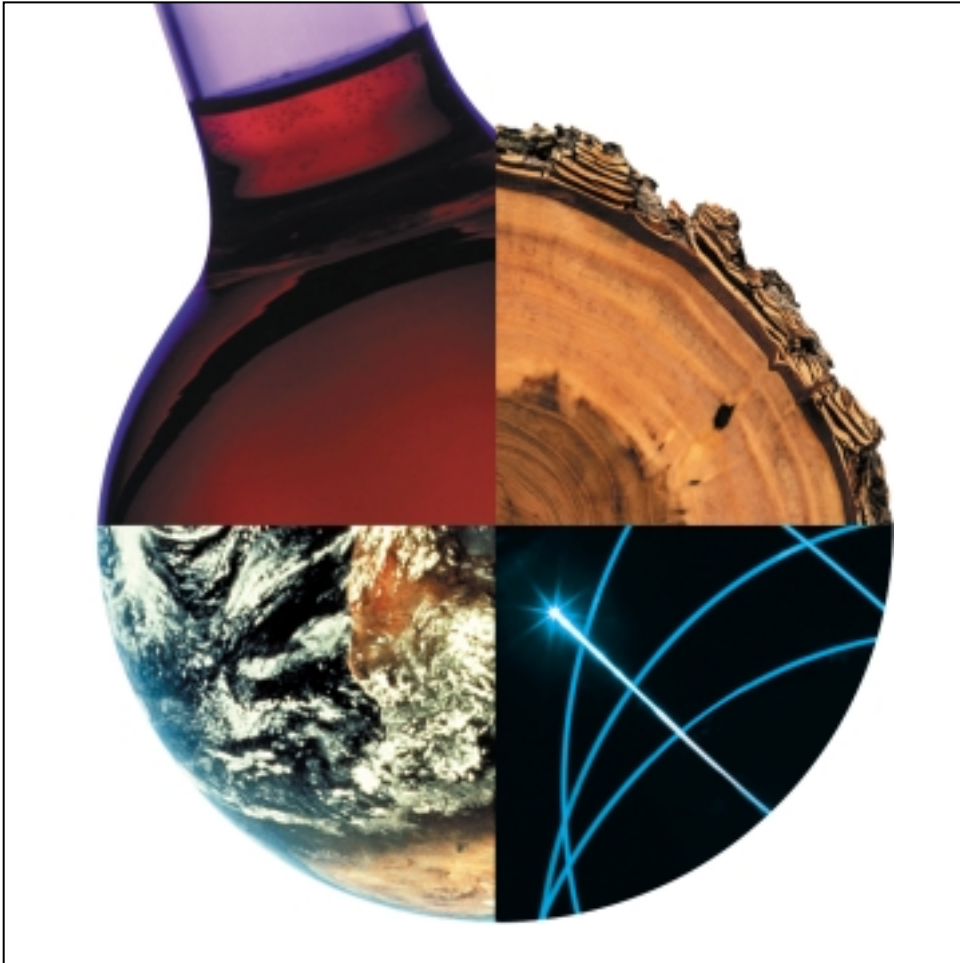
Presentemente, não existe uma única área da Química que não utilize o computador, quer como instrumento básico (no caso das áreas da Química Teórica e da Simulação Molecular), quer como instrumento auxiliar e de controlo (no caso das áreas tipicamente experimentais).

O progresso espectacular no desenvolvimento de software e de hardware, acompanhado de uma substancial e constante descida dos custos do material informático, torna a Química Computacional um dos vectores mais promissores na direcção do século XXI. É claro que o desenvolvimento de um domínio não se pode avaliar apenas sob o ponto de vista das infraestruturas. No caso da Química Computacional, é de interesse vital o desenvolvimento de novos métodos e modelos baseados em velhos e novos conceitos, os quais, sublinhe-se, têm o seu ponto de partida e o seu teste de validade na experiência laboratorial. Esta é sempre imprescindível.

O computador pessoal é, hoje, um instrumento tão vulgar que até pode ser adquirido em qualquer hipermercado. As suas utilizações mais populares são, porventura, os jogos e o processamento de texto. No entanto, note-se que qualquer computador pessoal que se adquira presentemente tem um poder de cálculo muitas vezes superior ao dos primeiros computadores das décadas de 40 e 50 com que se iniciaram os métodos de simulação molecular, ou mesmo, dos computadores utilizados na primeira viagem humana à Lua na década de 60. Isto significa que qualquer pessoa pode utilizar o seu computador pessoal para realizar experiências de Química Computacional e contribuir até para o seu progresso. Para tal são apenas necessárias a curiosidade e a persistência para a aprendizagem e a aplicação dos princípios e das técnicas fundamentais. Enfim, um verdadeiro desafio para todos aqueles que desejem iniciar-se no domínio apaixonante da Química Computacional.

Referências

- [1] "Numerical Integration of Rate Equations on a Microcomputer"
E. Ercolani and P. Mencarelli, *Education in Chemistry*, November, 176, 1986.
- [2] "O Computador e as Reações Químicas" Fernando M. S. Silva Fernandes e César A. Nunes Viana, *Actas do 2º Congresso Português de Informática*, Lisboa, 1982.
- [3] "Os Métodos das Cadeias de Markov e de Monte Carlo na Cinética Química" Filomena Fátima Martins Freitas. Departamento de Química, FCUL, 1988.
- [4] "Simulação de uma Curva de Titulação Ácido Fraco-Base Forte"
Fernando M. S. Silva Fernandes e Leonel T. P. Neves, *Bol. Soc. Port. Quím.*, nº 22, Série II, 67, 1985.
- [5] "Curvas de Titulação Experimentais vs Curvas de Titulação Simuladas"
Carlos A. Costa Campos, *Bol. Soc. Port. Quím.*, nº31, Série II, 36, 1988.
- [6] "Equilibrium in Saturated Ca(OH)_2 Solutions: Parameters and Dissociation Constants" M.J. Guiomar H.M. Lito, M. Filomena G. F. C. Camões and Arthur K. Covington, *Journal of Solution Chemistry*, 27, 925, 1998.
- [7] "Ajuste Computacional de Dados Experimentais" F.F.Martins Freitas, Fernando M. S. Silva Fernandes e Lídia C. Albuquerque, *Bol. Soc. Port. Quím.*, nº 34, Série II, 19, 1988.
- [8] "Ajuste de Dados Experimentais a uma Função" Filomena Fátima Martins Freitas
Departamento de Química, FCUL, 1988.
- [9] "Computational Chemistry using the PC" Donald W. Rogers, VCH Publishers, Inc., 2nd Edition, 1994.
- [10] "Mathematica Computer Programs for Physical Chemistry" W. Cropper, Springer, 1998.
- [11] "The Feynman Lectures on Physics" Richard Feynman, R. Leighton and M. Sands, Addison Wesley, 1963.
- [12] "Simulação de Microagregados Moleculares. O Método da Dinâmica Molecular"
Fernando M. S. Silva Fernandes, *Bol. Soc. Port. Quím.*, nº 23, 59, 1986.
- [13] "Simulação Computacional. O Método da Dinâmica Molecular" Fernando M. S. Silva Fernandes, *Ciência*, 2, Série V, 10, 1988.
- [14] "A Computer Problem in Statistical Thermodynamics" P. Schettler, *Journal of Chemical Education*, 51, 250, 1974.
- [15] "Simulação Computacional. Fundamentos do Método de Monte Carlo" Fernando M. S. Silva Fernandes e J. P. Prates Ramalho, *Ciência*, 3, Série V, 7, 1989.
- [16] "Simulação Computacional. O Método de Monte Carlo de Metropolis" Fernando M. S. Silva Fernandes e J. P. Prates Ramalho, *Ciência*, 1, Série VI, 15, 1991.
- [17] "Computers in Chemistry" P. Biggs, *Oxford Chemistry Primers*, Nº 84, 1999.
- [18] "Algorithms for Chemists" J. Zupan, John Wiley and Sons, Chichester, 1989.
- [19] "Applications of Artificial Intelligence in Chemistry" H. M. Cartwright, *Oxford Chemistry Primers*, Nº11, 1995.



Didáctica das Ciências

Laurinda Leite é licenciada em Ensino de Física e Química, pela Universidade do Minho, Master of Arts (Science Education), pela Universidade de Londres, e Doutor em Educação (Metodologia do Ensino das Ciências), pela Universidade do Minho. Actualmente é Professora Associada do Departamento de Metodologias da Educação do Instituto de Educação e Psicologia da Universidade do Minho, onde tem desempenhado funções docentes em cursos de formação inicial e de pós-graduação para professores de Física e Química. Tem orientado dissertações de mestrado e de doutoramento nas áreas do ensino da Física e Química e da Formação de professores e tem participado e coordenado projectos de investigação nas mesmas áreas. É autora e co-autora de vários artigos publicados em revistas nacionais e internacionais.

Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências

Laurinda Leite

Resumo

Este trabalho tem como objectivo contribuir para promover uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências. Começaremos, assim, por analisar os papéis desempenhados no passado e no presente pelo trabalho laboratorial no contexto do ensino e da aprendizagem das ciências, para depois discutirmos formas de, no futuro, maximizar as vantagens educativas decorrentes da utilização de actividades laboratoriais na sala de aula e de rentabilizar o tempo, os esforços e o dinheiro com elas despendidos.

Trabalho laboratorial e sua relação com outros tipos de trabalho prático

Este trabalho tem como objectivo contribuir para promover uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências. Atendendo a que este conceito é vulgarmente confundido com conceitos tais como trabalho prático e trabalho experimental, parece importante, para uma correcta avaliação do grau de consecução do objectivo que nos propomos atingir, começar por definir o conceito central deste trabalho que é o conceito de "trabalho laboratorial".

Há mais de 10 anos, Hodson (1988) tentou distinguir os significados dos termos "trabalho prático", "trabalho laboratorial" e "trabalho experimental", mas, em 1991, Woolhough, no primeiro capítulo do livro "Practical science", associou o termo "prático" a "laboratorial", ao afirmar que por practical science se entende o "fazer experiências e exercícios práticos com equipamentos científicos, geralmente num laboratório" (p. 3). Não admira, portanto, que entre os educadores em ciências, estes conceitos continuem a ser usados indistintamente, o que, no entanto, dificulta uma utilização racional dos diferentes tipos de trabalho a que estes termos se referem. Com base em Hodson (1988), passamos a distingui-los e ilustrá-los-emos com exemplos.

“Trabalho prático” é o conceito mais geral e inclui todas as actividades que exigem que o aluno esteja activamente envolvido. Se interpretarmos este envolvimento como podendo ser de tipo psicomotor, cognitivo ou afectivo, o trabalho prático pode incluir actividades laboratoriais, trabalhos de campo, actividades de resolução de exercícios ou de problemas de papel e lápis, utilização de um programa informático de simulação, pesquisa de informação na *internet*, realização de entrevistas a membros da comunidade, etc..

“Trabalho laboratorial”, por seu turno, inclui actividades que envolvem a utilização de materiais de laboratório (mais ou menos convencionais). Apesar de estes materiais também poderem ser usados nas actividades de campo, as actividades laboratoriais realizam-se num laboratório ou, à falta deste (e desde que não haja problemas de segurança), numa sala normal, enquanto que as actividades de campo têm lugar ao ar livre, no local onde os fenómenos acontecem ou os materiais existem (Pedrinaci, Sequeiros & Garcia, 1992)

O “Trabalho experimental” inclui actividades que envolvem controlo e manipulação de variáveis e que podem ser laboratoriais (ex.: estudo dos factores que influenciam a resistência de um condutor eléctrico), de campo (ex.: estudo da influência da exposição ao sol no crescimento das plantas) ou outro tipo de actividades práticas (ex.: estabelecimento das leis da queda dos graves, com recurso a um programa de modelagem). Assim, verifica-se que o critério com base no qual se distinguem as actividades experimentais das não experimentais tem a ver com a necessidade, ou não, de controlar e manipular variáveis, enquanto que o critério que permite distinguir as actividades laboratoriais das de campo tem a ver, fundamentalmente, com o local onde a actividade decorre. Note-se, no entanto, que em alguns casos se pode estudar a influência de um mesmo factor (ex.: exposição à luz) sobre um dado fenómeno (ex.: crescimento das plantas) tanto em laboratório, em condições artificiais, como no campo, em condições naturais. No primeiro caso, o controlo e a manipulação de variáveis poderão, contudo, fazer-se com maior rigor.

Por outro lado, combinando os dois critérios acima referidos obtêm-se, por exemplo, as actividades laboratoriais de tipo experimental, que requerem tanto materiais de laboratório como o controlo e a manipulação de variáveis, e que permitem, por exemplo, estudar a influência de um determinado factor num dado fenómeno (ex.: influência da temperatura, da concentração ou do estado de divisão dos reagentes sobre a rapidez de uma dada reacção química, ou influência da temperatura sobre a resistência de um condutor eléctrico, ou influência da intensidade luminosa na taxa fotossintética de uma planta) ou estabelecer relações entre variáveis (ex.: relação entre as massas dos reagentes e as massas dos produtos de reacção, ou entre a intensidade da corrente que percorre um condutor e a diferença de potencial aplicada aos seus terminais).

Por sua vez, as actividades laboratoriais que não são de tipo experimental podem ser tão simples como cheirar o amoníaco (depois de aprender como fazê-lo em segurança, para conseguir identificá-lo pelo cheiro) ou observar um comprimento de um metro (para adquirir a noção do que é um metro) ou riscar com a unha (para ter a noção da dureza de uma substância), podem ter como objectivo aprender a utilizar um aparelho (ex.: a balança, o osciloscópio ou o microscópio) ou podem ter como finalidade o desenvolvimento de capa-

idades (ex.: *observação* de preparações microscópicas (de Biologia ou Geologia) ou *classificação* de animais, plantas ou rochas) ou a aprendizagem de uma técnica laboratorial, muito simples (ex.: determinação de um ponto de ebulição, determinação da dureza de um mineral ou determinação do pH de um solo) ou relativamente complexa (ex.: espectrofotometria ou determinação do poder rotatório específico de uma substância).

O esquema da figura 1, adaptado do proposto por Hodson (1988), apresenta as relações que acabámos de referir no contexto mais vasto dos recursos didácticos.

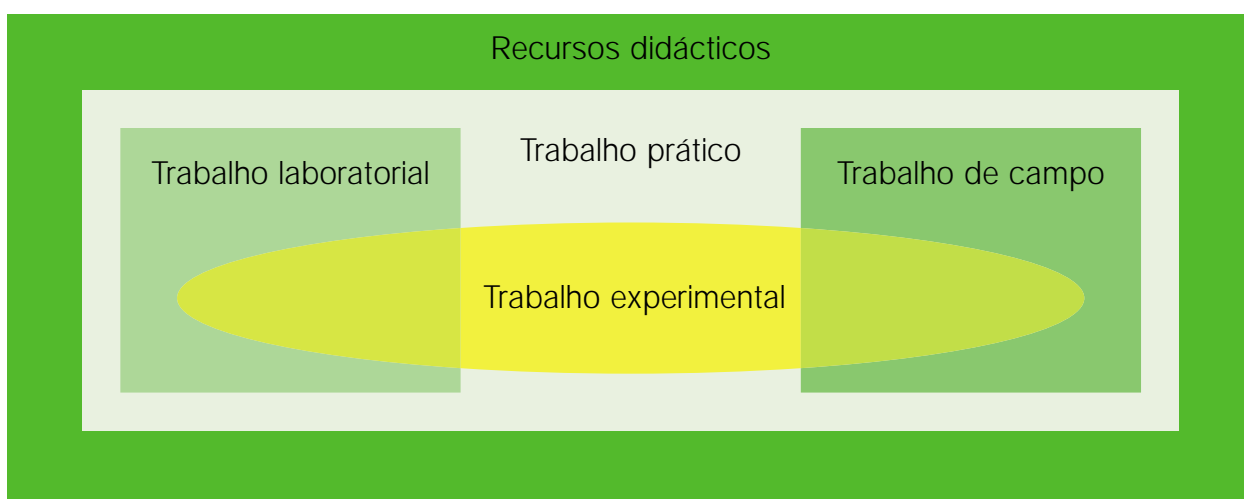


Figura 1: Relação entre trabalho prático, laboratorial, experimental e de campo

No âmbito do contexto conceptual apresentado, vamos centrar-nos no trabalho laboratorial e na contribuição que ele tem dado e poderá dar para a promoção do ensino e da aprendizagem das ciências. Assim, organizaremos o nosso trabalho em três secções, nas quais faremos uma breve resenha histórica sobre a utilização do trabalho laboratorial no ensino das ciências, discutiremos o modo como o trabalho laboratorial foi utilizado no ensino das ciências na década de 90 e, finalmente, apresentaremos alguns contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências.

Uma breve resenha histórica sobre a utilização do trabalho laboratorial no ensino das ciências

O trabalho laboratorial começou a afirmar-se como uma parte importante do ensino das ciências no século XIX, a partir do momento em que as disciplinas de ciências começaram a integrar os currículos de diversos países (Klainin, 1988). No entanto, esta afirmação foi lenta, tendo, nos primórdios, alguns alunos ingleses sido obrigados a pagar uma propina extra a fim de terem direito a aulas laboratoriais (Solomon, 1980). O facto de

o trabalho laboratorial se tornar um pré-requisito para o acesso a algumas universidades americanas (Klainin, 1988) e as críticas de alguns examinadores ingleses acerca da pouca importância que lhe era dada na escola (Lock, 1988) terão contribuído decisivamente para a sua conquista de um lugar de destaque nos currículos.

Contudo, a forma como as actividades laboratoriais têm sido usadas tem sofrido grandes variações ao longo dos tempos. Nas últimas décadas do século XIX o trabalho laboratorial começou a ser usado nas escolas inglesas e americanas com a finalidade principal de confirmar a teoria previamente apresentada (Lock, 1988). Muito próximo da viragem desse século, a crença de Armstrong nas vantagens de fazer a criança descobrir por si própria conduziu a uma grande alteração no modo como o trabalho laboratorial era usado. Surgiu, então, a defesa da aprendizagem por descoberta, no contexto do ensino das ciências (Klainin, 1988), e o trabalho laboratorial passou a ser encarado como o ponto de partida para a compreensão da teoria (Lock, 1988). Para além disso, a possibilidade de realização de investigações pelos alunos fez com que o trabalho laboratorial fosse usado para justificar a inclusão de disciplinas de ciências nos currículos, com base no argumento de que elas constituiriam uma oportunidade para os alunos aprenderem a aprender (Solomon, 1980; Layton, 1990).

Apesar de as propostas de Armstrong terem conseguido influenciar o ensino das ciências, não só ao nível das estratégias utilizadas na sala de aula mas também ao nível dos exames e das próprias estruturas escolares de apoio ao ensino das ciências (Klainin, 1988), cedo começaram a surgir dúvidas sobre a eficácia do trabalho laboratorial que elas preconizavam, uma vez que restringiam os conteúdos a leccionar àqueles que pudessem ser ensinados laboratorialmente, enfatizavam a medição e davam pouca importância aos conceitos e princípios, bem como à relação destes com as actividades laboratoriais realizadas (Woolnough & Allsop, 1985). Assim, por volta de 1920, as correspondentes práticas já estavam a cair em desuso, tanto em Inglaterra como nos Estados Unidos (Lock, 1988), e por volta de 1925, o próprio Armstrong reconhecia a inadequação das mesmas (Solomon, 1980). Os professores começaram, então, a elaborar fichas de trabalho que os alunos seguiam para realizarem as actividades laboratoriais nas aulas (Woolnough & Allsop, 1985) e o trabalho laboratorial voltou, de novo, a ser usado com os propósitos de elucidação e confirmação (Klainin, 1988; Lunetta, 1998). No entanto, continuaram os debates sobre as vantagens e desvantagens desta forma de usar o trabalho laboratorial, por comparação com as resultantes de investigações realizadas pelos alunos (Lock, 1988), principalmente na sequência da Segunda Grande Guerra e do lançamento do Sputnik (Solomon, 1980; Woolnough & Allsop, 1985; Klainin, 1988).

Um grande impulso no sentido do regresso à utilização do trabalho laboratorial ao serviço da aprendizagem por descoberta foi dado nos anos sessenta, em Inglaterra, por influência das ideias de Kerr acerca da importância do trabalho laboratorial para a descoberta de factos através da investigação, e nos Estados Unidos, na sequência da aplicação à educação, por Dewey, das ideias de Rousseau acerca da importância de aprender por si próprio (Klainin, 1988). Assim, na década de sessenta surgem, em Inglaterra, os projectos Nuffield

e, nos Estados Unidos, projectos como os BSCS (Biological Science Curriculum Study) e PSSC (Physical Science Study Curriculum). Qualquer um destes projectos tinha como principal objectivo envolver os alunos em investigações, as quais eram consideradas uma parte central do ensino das ciências (Lunetta, 1998). A justificação desse objectivo residia no facto de nessa época a ciência ser ainda vista como um processo dinâmico de inquérito que procurava encontrar relações causais para compreender o mundo natural (Klainin, 1988). Procurava-se dar, tanto aos cientistas como aos cidadãos comuns, formação *no* método científico, de modo a permitir-lhes adquirir uma visão crítica da disciplina (Woolnough & Allsop, 1985). O ensino dos processos sobrepunha-se, assim, ao ensino dos conceitos (Klainin, 1988; Lock, 1988). Os exames incluíam questões sobre trabalho laboratorial e chegou mesmo a haver exames laboratoriais (Klainin, 1988). Contudo, na prática, e devido à disponibilização (embora apenas a título de sugestão) de fichas de trabalho por algumas equipas Nuffield e ao reconhecimento dos constrangimentos a uma verdadeira descoberta na sala de aula (a qual conduziu a algumas mudanças de objectivos aquando da revisão de alguns dos cursos em causa), o trabalho laboratorial acabou por se tornar muito mais fechado e dependente do conteúdo do que inicialmente se desejava (Woolnough & Allsop, 1985). Numa avaliação das escolas inglesas publicada em 1979 (DES, 1979) afirmava-se mesmo que os cursos Nuffield contribuíram para a introdução nas aulas de ciências de trabalho laboratorial de diversos tipos (e não apenas do preconizado por aqueles cursos), mas defendia-se a contribuição importante que as demonstrações (quando comparadas com o trabalho realizado pelos alunos) podem dar, desde que conduzidas não só com correcção técnica mas também de modo a que os alunos sejam solicitados a fazer previsões e a que as fontes de erro sejam identificadas.

Em 1985, o Department of Education and Science (DES, 1985) passou a defender a introdução dos alunos ingleses *aos métodos* da ciência, como sendo a principal característica da educação em ciências, realçando a importância do trabalho laboratorial orientado para a resolução de problemas. Este posicionamento rejeitava a transmissão de uma perspectiva indutivista da ciência e era mais concordante com as novas filosofias da ciência (Chalmers, 1994; Jiménez-Aleixandre, 1996) que entretanto começavam a tornar-se conhecidas e aceites.

Em Portugal, até finais da década de 70, existiam, no ensino secundário, aulas laboratoriais, no âmbito das disciplinas tradicionais de ciências. As turmas eram divididas para realizar os trabalhos laboratoriais que estavam previstos, tanto em Ciências Físico-Químicas como em Ciências da Natureza (incluindo esta última Biologia e Geologia). Apesar de as aulas laboratoriais estarem integradas nas disciplinas de Ciências, não se pode dizer que houvesse uma verdadeira integração entre os assuntos tratados nos dois tipos de aulas (laboratoriais e não laboratoriais) e talvez a situação não fosse, na prática, muito diferente da actual, em que existem disciplinas de ciências e de técnicas laboratoriais, cada uma das quais com o seu programa. A partir de finais da década de 70 deixou de existir uma componente laboratorial formal nas disciplinas de ciências. Apesar de terem sido criadas algumas disciplinas no ensino secundário que tinham carácter eminentemente prático, como era o caso da Quimicotecnia, elas eram frequentadas apenas por alguns dos alunos que optavam

por determinadas áreas de especialização, dentro das áreas de estudo consideradas científicas.

Os programas portugueses dos anos 80 defendiam o ensino *do* método científico. Contudo, a ênfase nos processos e a importância atribuída *ao* método científico fizeram-se sentir mais nas Ciências da Natureza do que na Física e Química. Os programas de Ciências Físico-Químicas apresentavam mesmo algumas inconsistências, na medida em que as finalidades da disciplina davam ênfase aos processos científicos, enquanto que os respectivos objectivos específicos se centravam em comportamentos do domínio cognitivo e esqueciam as capacidades, habilidades e atitudes (Freire, 1993).

Para além disso, um estudo realizado por Cachapuz *et al.* (1989) permitiu concluir que, apesar de o trabalho laboratorial ser utilizado com uma frequência razoável por professores de Ciências Físico-Químicas, ele consistia essencialmente em demonstrações realizadas pelos professores, sendo as investigações (mais adequadas para a aprendizagem da metodologia científica e da resolução de problemas) muito pouco utilizadas. Este resultado levou os autores do estudo a defenderem a necessidade de centrar o trabalho laboratorial preferencialmente no aluno e a perspectivá-lo “não simplesmente como uma ilustração de aspectos teóricos” (p. 69).

O trabalho laboratorial no ensino das ciências na década de 90

A reforma educativa implementada em Portugal a partir do início dos anos 90 não só reforçou a importância do trabalho laboratorial como melhorou as condições para promover a sua realização no âmbito das disciplinas de ciências dos ensinos básico e secundário. Disso são evidência a criação de disciplinas como as Técnicas Laboratoriais de Física, de Química, de Biologia e de Geologia, mas também o facto de os novos programas oficiais das disciplinas de ciências que permaneceram com a referida reforma passarem a atribuir maior importância ao trabalho laboratorial, tanto no ensino básico como no ensino secundário. Igualmente reveladoras dessa importância são as iniciativas do Ministério da Ciência e da Tecnologia, nomeadamente as relacionadas com o Programa Ciência Viva, que permitem criar melhores condições materiais para a implementação das intenções programáticas relativas ao trabalho laboratorial.

No 3º ciclo do ensino básico, o programa de Ciências Físico-Químicas (DEB, 1995) é aquele que mais sugestões apresenta sobre a utilização do recurso didáctico em causa. A importância atribuída à componente laboratorial é nele evidenciada por recomendações que se centram no modo como o trabalho laboratorial (aí designado de experimental) deve ser integrado na disciplina (ex.: “A componente experimental, não dissociável da componente teórica, é uma constante do programa” (p. 14); “todas as aulas deverão ser encaradas como potencialmente de natureza teórica e prática” (p. 24)) e na contribuição que deve dar para efeitos de avaliação das aprendizagens realizadas pelos alunos (ex.: “A componente prática/experimental, além de objecto de avaliação formativa, deverá obrigatoriamente ser objecto de avaliação sumativa...Na avaliação sumativa...a avaliação da componente experimental...deverá, obrigatoriamente, ter um peso de 30%” (p.

32)). Acresce ainda o facto de este programa incluir uma secção onde alerta para a existência de diversos tipos de actividades laboratoriais e discutir as potencialidades de cada um deles, de modo a chamar a atenção dos professores para a necessidade de adequar o tipo de actividade laboratorial a utilizar numa dada aula ao objectivo que se pretende atingir com essa actividade.

Também os programas do ensino secundário atribuem importância ao trabalho laboratorial. No caso das Ciências Físico-Químicas, essa importância é evidenciada pela inclusão de um objectivo geral referente à utilização, com autonomia, de procedimentos e métodos inerentes à Física e Química e pela afirmação de que “ligado ao aspecto teórico deverá estar sempre o processo prático/experimental (DES, 1995, p. 9) e de que “As turmas destes anos virão a ser divididas em dois turnos para a realização das actividades práticas com a duração de 2 horas semanais, por turno” (DES, 1995, p. 6). De igual modo, os programas de Ciências da Terra e da Vida, de Biologia e de Geologia apresentam objectivos que incidem em diferentes aspectos do trabalho laboratorial e recomendam a utilização de actividades diversificadas, de grau de formalização crescente. As disciplinas de técnicas laboratoriais são consideradas de natureza predominantemente prática, mas nos respectivos programas não são apresentados pormenores acerca de como devem ser implementadas as actividades nas respectivas aulas, nem mesmo nas Técnicas Laboratoriais de Física e de Química. É curioso, contudo, notar que os programas de Técnicas Laboratoriais de Física e de Química parecem ter subjacente uma perspectiva indutivista (actualmente questionada), pois defendem que, para que as noções possam ser verdadeiramente assimiladas, devem ser objecto da experiência e ser descobertas, mais do que ensinadas. Perspectiva diferente parece estar subjacente aos programas de Técnicas Laboratoriais de Biologia, uma vez que estes enfatizam também o trabalho laboratorial mas reconhecem a necessidade de sensibilizar os alunos para as novas perspectivas sobre a natureza da ciência. Reconhecendo a existência de concepções prévias nos alunos, posicionam-se a favor de trabalho laboratorial diversificado, podendo incluir, por exemplo, resolução de problemas e projectos de pesquisa.

Os recentes avanços em termos de conceptualização da aprendizagem segundo a perspectiva construtivista ou, mais recentemente, social construtivista (Duit & Treagust, 1998; Hodson & Hodson, 1998), o reconhecimento das novas filosofias da ciência (Chalmers, 1994; Jiménez-Aleixandre, 1996) e os trabalhos desenvolvidos na área da mudança conceptual (Santos, 1991; Duarte, 1993; Hewson, Beath & Thorley, 1998) provocaram o convergir de atenções para uma nova forma de utilizar o trabalho laboratorial, as actividades P-O-E ou seja, Prevê-Observa-Explica (Gunstone, 1991). “O objectivo importante das actividades laboratoriais é, então, o de confrontar as pré-concepções dos alunos num ciclo conceptual dinâmico, num percurso de aquisição progressiva de concepções mais científicas” (Valente, 1997, p. 33). Estas actividades são também mencionadas pelo programa de Ciências Físico-Químicas do 3º ciclo do ensino básico e designadas por actividades de previsão. Elas têm a finalidade de facilitar a mudança conceptual do aluno. Iniciam-se com um pedido de previsão, em que o aluno é obrigado a pensar sobre o que acontece se um dado acontecimento for provocado (fundamentando a sua previsão) ou sobre a explicação que possui para um

determinado acontecimento ou fenómeno. De seguida, ele terá oportunidade de realizar observações que lhe permitam testar as suas previsões, confrontando o que aconteceu com o que ele previu que iria acontecer e, finalmente, terá que encontrar explicações para o que efectivamente acontece, de um modo especial se os dados obtidos não suportaram as suas previsões. Como se afirma no programa de Ciências Físico-Químicas para o 3º ciclo (DEB, 1995), “O facto de se fazer uma previsão aumenta o interesse e a expectativa em relação aos resultados da actividade, quer a hipótese seja provada ou negada. De igual modo, quer uma previsão se venha a revelar falsa ou verdadeira, a prática de efectuar previsões joga um papel extremamente importante na aquisição, construção e ajuste de conhecimentos e formas de pensar.” (DEB, 1995, p. 25). Na verdade, quanto mais discrepante for o resultado da actividade relativamente ao previsto, mais ela será eficaz no que respeita a tornar o aluno insatisfeito com as suas ideias e em predispor-lo para aprender a explicação cientificamente aceite. A contribuição deste tipo de actividades para a mudança conceptual de alunos tem vindo a ser investigada em contextos de sala de aula normal. Os resultados dos estudos já disponíveis indicam que elas promoveram essa mudança conceptual em temas de Biologia (Silva, 1996), de Física (Vasconcelos, 1997; Afonso, 1999) e de Química (Afonso, 1997; Pereira, 1999)

No entanto, actividades deste tipo são difíceis de encontrar em manuais escolares tanto de Física (Leite, 1999a, b) como de Química (Pereira & Duarte, 1999), pelo que será de prever a sua reduzida utilização na sala de aula. Com efeito, dados recolhidos durante o último ano (Leite, 1999c) indicam que o trabalho laboratorial continua a ser relativamente pouco usado na disciplina de Ciências Físico-Químicas do ensino secundário e, nos casos em que é usado, serve essencialmente para ilustrar/confirmar os conceitos e os princípios apresentados. Esta finalidade parece não diferir muito daquela que, na prática, é privilegiada nas disciplinas de Técnicas Laboratoriais, embora nas técnicas Laboratoriais de Física e de Química haja muito mais trabalho realizado pelos alunos do que no caso das Ciências Físico-Químicas (Leite, 1999c).

Por outro lado, refira-se que alunos e professores reconhecem importância ao trabalho laboratorial, embora os professores sejam mais optimistas do que os alunos no que respeita aos objectivos que efectivamente se consegue atingir com a realização daquele. De facto, os professores parecem mais convencidos de que ele consegue atingir objectivos relacionados com a aprendizagem de conhecimentos conceptuais e de metodologia científica e com o desenvolvimento de atitudes científicas, enquanto que os alunos sentem que o trabalho laboratorial realizado serve, essencialmente, para desenvolver *skills* laboratoriais (Leite, 1997). Este aparente optimismo dos professores pode dificultar-lhes uma análise crítica da situação e fazer com que contribuam para a persistência de práticas que não rentabilizam ao máximo o trabalho laboratorial realizado nas escolas, dando assim razão a Hodson (1990) quando sugere que o trabalho laboratorial é simultaneamente infra-utilizado (porque se fazem poucas actividades laboratoriais) e superutilizado (porque não se rentabilizam as actividades realizadas).

Em jeito de síntese, podemos afirmar que, pese embora a importância atribuída ao trabalho laboratorial pela última reforma educativa, como recentemente afirmou Jenkins (1998), “o ensino laboratorial das ciências nas

escolas é demasiado prisioneiro do passado e é necessário...reexaminar criticamente o papel que ele pode desempenhar enquanto auxiliar da aprendizagem das ciências pelos alunos" (p. 49).

Para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das Ciências Físico-Químicas

Usar algum trabalho laboratorial não é necessariamente melhor do que não usar nenhum, dado que a sua utilidade e eficácia dependem do modo como é usado. Assim, com o objectivo de contribuir para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências passamos a discutir e a clarificar alguns aspectos que têm sido alvo de confusão e/ou de mistificação.

Objectivos do trabalho laboratorial: teoria e prática

Uma adequada utilização do trabalho laboratorial exige que se distinga entre potencialidades teóricas do trabalho laboratorial e objectivos que de facto se consegue atingir com as actividades laboratoriais realizadas. Aquelas potencialidades estão na base dos argumentos actualmente usados a favor da utilização de trabalho laboratorial no ensino das ciências, os quais são de três tipos: cognitivos, afectivos e associados a capacidades/habilidades (Wellington, 1998). Na verdade, e tal como refere Hodson (1993), as actividades laboratoriais têm a potencialidade de permitir motivar os alunos (o que suporta os argumentos de natureza afectiva), reforçar a aprendizagem de conhecimento conceptual (o que apoia os argumentos de natureza cognitiva), ensinar *skills* laboratoriais e metodologia científica e desenvolver atitudes científicas (o que sustenta os argumentos relacionados com capacidades/habilidades). Contudo, tanto Hodson (1994) como Wellington (1998) apresentam evidências de que o trabalho laboratorial pode facilmente não contribuir para a consecução destes objectivos. Na verdade, os argumentos cognitivos podem ser questionados na medida em que não só a teoria é necessária para a realização da observação (o que dificulta a utilização do trabalho laboratorial como ponto de partida para a teoria), mas também pelo facto de as teorias serem abstractas e não fisicamente ilustráveis (o que dificulta a utilização da observação como meio de concretizar a teoria). No que respeita aos argumentos afectivos, ninguém contesta que os alunos gostam das actividades laboratoriais e gostam tanto mais quanto mais espectaculares elas forem. A questão que se põe é que muitas das actividades laboratoriais normalmente usadas nas aulas de ciências não são espectaculares e que, embora seja mais provável os alunos lembrarem-se do que acontece na actividade quando observam, isso não significa que todos os alunos gostem da actividade e muito menos que compreendam o que observam. No que respeita aos argumentos associados a capacidades/habilidades, não se pondo em causa a importância destas, questiona-se a facilidade da sua transferência para outras áreas de saber diferentes daquela onde foram adquiridas e/ou para a vida do dia a dia, dado que os conhecimentos procedimentais (De Pro Bueno, 1998) são bastante dependentes do contexto e do conteúdo em que foram aprendidos (Hennessy, 1993; Welzel,

1997). Por outro lado, o frequente recurso a demonstrações e o tipo de actividades que aparecem em manuais escolares (tipo receita) parecem capazes de contribuir para o desenvolvimento de um número muito limitado de conhecimentos procedimentais.

Investigar: Um termo que é preciso clarificar

É frequente, mesmo em manuais escolares, confundir-se actividades laboratoriais com investigações. Tal como referimos na primeira secção, as actividades laboratoriais podem ter diferentes níveis de complexidade e exigência para os alunos. Embora todas elas tenham o seu interesse e valor didáctico, apenas algumas se apresentam como problemas que o aluno tem que resolver, recorrendo ao laboratório, e podem apelar-se de investigações (Woolnough & Allsop, 1985; Gott & Duggan, 1995). Dado que um problema é algo que inclui um obstáculo ou dificuldade que é preciso ultrapassar para o resolver, algo cuja estratégia de resolução não se conhece e para a qual não se sabe se há uma solução (Lopes, 1994; Neto, 1998), no contexto laboratorial, só poderão ser consideradas investigações aquelas actividades que confrontem o aluno com uma situação problemática e exijam que ele faça previsões acerca de um problema (preferivelmente gerado por ele), que planeie uma ou mais estratégias de resolução que permitam testá-las, que implemente essa(s) estratégia(s), que analise os dados recolhidos com o objectivo de tentar encontrar a resposta ao problema, a qual poderá ou não ser concordante com as previsões iniciais. Decorre daqui que as investigações são incompatíveis com procedimentos laboratoriais e com instruções para análise de dados fornecidos *a priori*.

Na verdade, as investigações são as actividades laboratoriais que apresentam o maior grau de abertura (Cachapuz *et al.*, 1989) ou nível de investigação (Tamir, 1991). O último autor recorre apenas a problema, procedimentos e conclusões para determinar o nível de abertura de uma actividade laboratorial. No entanto, uma análise mais fina do nível de abertura de uma actividade laboratorial requer a tomada em consideração dos diversos parâmetros apresentados no quadro 1.

O último valor de cada parâmetro é aquele que corresponde a actividades laboratoriais de tipo investigação. Com excepção da contextualização teórica, vai ser sempre o aluno que vai ter que decidir, imaginar, executar, etc.. Se é certo que uma actividade laboratorial deste tipo demora um tempo a ser realizada que a torna incompatível com a sua utilização sistemática ao longo de um ano em que há um programa para cumprir (Hodson, 1996), também é certo que ela é a mais adequada para promover a aprendizagem de um maior número de conhecimentos procedimentais. Por outro lado, e pesem embora as diferenças existentes entre o trabalho dos cientistas e o dos alunos, as investigações são as actividades laboratoriais que apresentam mais capacidade de desenvolver não só uma imagem adequada dos processos de construção de conhecimento nos laboratórios de investigação mas também de permitir aos alunos irem aprendendo a fazer ciência.

De realçar ainda que as investigações não podem ser identificadas com actividades experimentais. Na verdade, há investigações em que o aluno não tem que controlar e manipular variáveis e que podem ser laboratoriais (ex.: identificar materiais que sejam bons condutores do calor ou identificar rochas com base nos minerais

que as constituem), de campo (ex.: diagnosticar a flora de uma dada região) ou de outra natureza (ex: caracterizar a opinião da população de uma dada localidade relativamente à construção de um aterro sanitário).

Quadro 1

Parâmetros a considerar na análise do grau de abertura de uma actividade laboratorial.

Parâmetros	Valores possíveis	
Problema	Não explicitado Fornecido Solicitado ao aluno	
Contextualização teórica	Inexistente Fornecida	Irrelevante Incluindo as conclusões Adequada
Previsão	Não solicitada Solicitada ao aluno	
Procedimento	Desenho	Fornecido Fornecidas indicações Não fornecido
	Execução	Professor Professor e alguns alunos Alunos
Dados	Fornecidos Fornecidas indicações para recolha Recolha a decidir pelo aluno	
Análise de dados	Apresentada Orientações sugeridas Definida pelo aluno	
Conclusões	Fornecidas explicitamente Fornecidas implicitamente Elaboradas pelo aluno	
Reflexão	Procedimentos	Ignorada Apresentada Solicitada
	Relação previsão/resultados	Ignorada Apresentada Solicitada

Nota: adaptado de Silva & Leite, 1997

Adequação do tipo de actividade ao objectivo

Apesar de, como já referimos, não existir consenso entre os diferentes intervenientes na educação em ciências relativamente aos objectivos que de facto se atingem com o trabalho laboratorial realizado nas escolas, existe algum acordo em torno da ideia de que, para atingir um dado objectivo, a actividade laboratorial tem que ser estruturada e integrada com a teoria de modo adequado (Woolnough & Allsop, 1985; Gott & Duggan, 1995; Silva & Leite, 1997).

Os objectivos que têm a ver com motivação e com o desenvolvimento de atitudes científicas devem estar sempre presentes em qualquer actividade laboratorial, embora o primeiro não possa ser gratuitamente assumido como estando garantido pela mera realização de uma actividade laboratorial (Hodson, 1994) e a consecução do segundo seja prejudicada, entre outros, pelo facto de as actividades assumirem frequentemente a forma de receitas e de haver grande preocupação com a obtenção de algo que poderia designar-se por resposta correcta, frequentemente de natureza quantitativa, quando as condições laboratoriais não a permitem. A consecução dos restantes três objectivos gerais identificados por Hodson (1993) requer a realização de diversos tipos de actividades, tal como se mostra no quadro 2.

Quadro 2 Tipologia de actividades laboratoriais

Objectivo primordial		Tipos de actividades
Aprendizagem de conhecimento procedimental		* Exercícios
	Reforço de conhecimento conceptual	* Experiências para a aquisição de sensibilidade acerca de fenómenos * Experiências ilustrativas
Aprendizagem de conhecimento conceptual	Construção de conhecimento conceptual	* Experiências orientadas para a determinação do que acontece * Investigações
	(Re)construção de conhecimento conceptual	* Prevê-Observa-Explica-Reflecte (Procedimento apresentado) * Prevê-Observa-Explica- Reflecte (Procedimento a ser definido pelo aluno)
Aprendizagem de metodologia científica		* Investigações

Nota: adaptado de Silva & Leite, 1997

Assim, a aprendizagem de técnicas e o desenvolvimento de outros *skills* laboratoriais podem ser realizados

à custa de actividades de tipo exercício (Woolnough & Allsop, 1985; Silva & Leite, 1997). A aprendizagem da metodologia científica requer, como já referimos, o desenvolvimento de competências de resolução de problemas e, no contexto laboratorial, exige a realização de investigações. No que respeita à aprendizagem de conhecimento conceptual, vários casos se podem dar:

- O conhecimento pode ter sido previamente apresentado aos alunos e a actividade serve para confirmar esse conhecimento ou para concretizá-lo (experiências ilustrativas) ou para dar uma noção mais exacta do fenómeno ou das características dos materiais (experiências para aquisição de sensibilidade acerca de fenómenos);
- A actividade serve como ponto de partida para a construção de conhecimento conceptual que só posteriormente vai surgir. Isto pode fazer-se à custa de actividades de resolução de problemas (ou seja, investigações) ou de actividades altamente estruturadas, que conduzem o aluno ao (provavelmente) único resultado possível (experiências orientadas para a determinação do que acontece);
- A actividade serve para promover a reconstrução das ideias que os alunos possuem sobre um dado assunto e que precisam de testar, a fim de encontrarem dados que as suportem ou que as ponham em causa (prevê-observa-explica-reflecte). Nestas actividades o procedimento laboratorial pode, ou não, ser dado ao aluno, mas tem sempre que ser este a fazer previsões fundamentadas, a interpretar os dados, a tirar as conclusões e a comparar as previsões com essas mesmas conclusões.

Quando está em causa a aprendizagem de conhecimentos conceptuais, uma mesma actividade laboratorial (ex.: combustão da vela) pode frequentemente ser estruturada e integrada com a teoria de diversas formas. Pode usar-se para confirmar que a percentagem de oxigénio diminui durante a combustão (experiência ilustrativa), pode usar-se para determinar o que acontece à percentagem de oxigénio devido à combustão da vela realizada em determinadas condições (experiência orientada para a determinação do que acontece) ou pode servir (como se mostra em Leite, 1999d) para ajudar os alunos a reconstruir a concepção alternativa de que a vela se apaga porque o oxigénio acabou.

Dos tipos de actividades apresentados, apenas as investigações e as Prevê-Observa-Explica-Reflecte que não incluem o procedimento podem aproximar-se de situações em que ocorrem descobertas científicas. Por isso, mesmo nos casos em que o aluno não conhece antecipadamente a resposta à actividade, o que ele faz é obter um dado resultado que, desde que tudo funcione como previsto, é o único resultado possível. A actividade serve para ele determinar o que acontece nas condições dadas, mas não para descobrir, no verdadeiro sentido da palavra. Não há necessariamente mal em que isso aconteça. Mas se é verdade que essa actividade pode resultar em algum acréscimo de motivação e até num aumento da qualidade da aprendizagem realizada, também é verdade que os alunos não estão a aprender a fazer ciência. Seria bom os educadores terem consciência das limitações deste tipo de actividades para não ficarem satisfeitos com algo que

não corresponde ao que eles gostariam de permitir aos seus alunos fazer.

Execução do procedimento: Demonstrações versus trabalho realizado pelos alunos

As actividades laboratoriais podem exigir, entre outros, envolvimento cognitivo (ex.: fazer previsões, analisar dados, etc.) e psicomotor (ex.: utilizar equipamentos e manipular materiais em segurança, etc.). O primeiro pode ocorrer sem que os alunos executem o procedimento laboratorial e é, portanto, compatível com uma demonstração. O segundo requer que sejam os alunos a executar os procedimentos. Assim, quando numa aula queremos ensinar conceitos ou leis não é imprescindível que os alunos manipulem os materiais e equipamentos. Às vezes nem é mesmo aconselhável, devido aos perigos que advêm da utilização de determinados reagentes (ex.: ácido sulfúrico, metais alcalinos) ou da formação de determinados produtos de reacção (ex.: monóxido de azoto), da utilização de alguns tecidos (ex.: o tecido sanguíneo), à necessidade de condições laboratoriais potencialmente perigosas (ex.: elevadas diferenças de potencial), ou à necessidade de dados de qualidade, que permitam fazer uma utilização quantitativa da actividade (ex.: colisões numa mesa de ar), os quais são mais fáceis de obter pelo professor (que domina a parte técnica) do que pelos alunos. Na verdade, como salientam Corominas e Lozano (1994), "a condição necessária para que uma demonstração não se reduza a um simples entretenimento é a de implicar os alunos na mesma, evitando que a sua atitude seja passiva" (p. 25). Por isso, ao observarem a execução da actividade pelo professor, os alunos têm que participar activamente na previsão, na interpretação e na explicação do que aconteceu. Este envolvimento cognitivo é o mais importante para a aprendizagem de conceitos.

No entanto, se se pretender que, para além de aprender conceitos, os alunos aprendam ou aperfeiçoem técnicas laboratoriais e *skills* associados à manipulação de equipamentos, então têm que ser eles a executar o procedimento laboratorial. Em alguns casos, o facto de o aluno poder começar por observar uma demonstração pelo professor pode facilitar a aprendizagem da técnica, mas depois tem que ter ele próprio a oportunidade de a executar, para adquirir a capacidade de a usar com perfeição.

Identificar as actividades em que é de facto importante que sejam os alunos a executar o procedimento e aquelas em que eles não ganhariam muito com isso é uma forma de rentabilizar o tempo e de tornar possível o envolvimento cognitivo com as actividades em que ele é fundamental.

Conhecimento conceptual e conhecimento procedimental: integração ou separação?

O facto de se fazer a distinção entre dois tipos de conhecimento – conceptual e procedimental – não significa que se defenda o desenvolvimento independente de cada um deles, ao contrário do que por vezes se pensa dever acontecer. De facto, actualmente (De Pro Bueno, 1999) como há cerca de 15 anos atrás (Woolnough & Allsop, 1985), defende-se que os conhecimentos procedimentais precisam de ser ensinados e requerem, portanto, atenção no processo de ensino aprendizagem. A aprendizagem de muitos destes conhecimentos exige repetição, mas tornar-se-ia fastidioso dedicar aulas ao seu ensino, sem ter qualquer

outro objectivo em vista. Por outro lado, os conhecimentos procedimentais não são os fins da ciência mas antes meios para alcançar esses fins (Millar, 1991) e de modo equivalente devem ser tratados no ensino das ciências. Para além disso, a sua dependência do contexto e a conseqüente difícil transferência, já anteriormente referidas, torná-los-iam pouco úteis se não fossem desenvolvidos em diversos contextos temáticos. Assim, embora seja necessário ensinar conhecimentos procedimentais, o seu ensino não deve fazer-se de uma forma conceptualmente descontextualizada, mas antes devem ser ensinados quando forem necessários para a aprendizagem de um dado conhecimento conceptual e merecer a atenção quando tiverem que ser usados de novo, a fim de irem sendo aperfeiçoados. Por isso, Gott e Mashiter (1991) defendem a organização do currículo em torno de tarefas cuja realização exija, simultaneamente, o desenvolvimento de processos e a sua utilização no aperfeiçoamento de conceitos.

Na verdade, as actividades laboratoriais e a razão são igualmente relevantes na construção do conhecimento científico (Valadares, 1997) devido à relação de interdependência interactiva que existe entre teorias e experiências e que resulta do facto de as actividades laboratoriais contribuírem para a construção da teoria e de esta, por sua vez, determinar não só o tipo de actividades que pode e deve ser realizado mas também o modo como os dados devem ser interpretados (Hodson, 1998). Assim, e como afirma Millar (1998), o trabalho laboratorial realizado nas aulas de ciências “tem que ser entendido e avaliado como uma estratégia de comunicação, como um meio de aumentar o que pode ser conseguido com a palavra, a imagem e o gesto. Paralelismos com a actividade de ‘verdadeiros cientistas’ em laboratórios de investigação não ajudam e são enganadores.” (p. 30), na medida em que dariam uma imagem errada do modo como os verdadeiros cientistas fazem ciência. Esta envolve muito raciocínio, reflexão e até criatividade, pois as actividades laboratoriais mostram o que acontece mas não mostram porque é que isso acontece. Este último aspecto exige a utilização de conhecimentos prévios que são muito diferentes entre alunos e cientistas. Por outro lado, as evidências que possam ser recolhidas num laboratório nunca são suficientes para que os alunos estabeleçam uma ideia (Millar, 1998). O que eles podem é perceber a origem dessas ideias, mas as ideias propriamente ditas têm que ser co-construídas em conjunto com o professor e os colegas.

O processo de construção de conhecimento é mais complexo do que apenas modificar o conhecimento existente (Leach, 1999). Gil e Carrascosa (1985) defendem mesmo que essa mudança só será possível se for acompanhada de uma adequada mudança metodológica, ou seja, de uma mudança nos conhecimentos procedimentais que os alunos usam para construir o seu conhecimento conceptual. O desenvolvimento integrado de conhecimentos conceptuais e procedimentais não só é sugerido pelos programas de Ciências Físico-Químicas como é defensável do ponto de vista teórico (Woolnough & Allsop, 1985; De Pro Bueno, 1998) e como parece ainda ser consistente com resultados de investigações recentes (Leite, 1999c), que indicam que professores e alunos ficariam satisfeitos se deixassem de existir as disciplinas de Técnicas Laboratoriais e fossem criadas condições para realizar convenientemente a componente laboratorial na disciplina de Ciências Físico-Químicas.

Avaliação do trabalho laboratorial dos alunos: potencialidades e limitações dos relatórios

Os relatórios são um instrumento de avaliação tradicionalmente associado ao trabalho laboratorial e a que os próprios programas atribuem importância. Contudo, importa analisar criticamente a validade dos relatórios para esse efeito, tomando como referência, por um lado, as características do trabalho laboratorial realizado nas escolas e, por outro lado, a multiplicidade e a diversidade de conhecimentos que o trabalho laboratorial pode permitir desenvolver.

Um dos conhecimentos procedimentais a desenvolver nos alunos tem a ver com comunicação (De Pro Bueno, 1998), sendo os relatórios tradicionais frequentemente apontados como um forma de promover a aprendizagem desse tipo de conhecimentos. O relatório tem semelhanças estruturais com um artigo científico e, por isso, tal como este, pode permitir desenvolver a capacidade de comunicar ciência. Contudo, a consecução ou não desse objectivo depende do envolvimento que é exigido ao aluno para elaborar o referido relatório. Quando o relatório incide numa investigação, dado que o aluno não dispõe de um protocolo, constitui uma oportunidade para o próprio aluno fazer a descrição da actividade realizada e justificar não só as decisões, de diversa natureza, que teve que tomar ao longo do processo como as conclusões que dela retirou. Nos casos em que existe um protocolo para os alunos seguirem, o que estes se limitam a fazer é a transcrever a fundamentação teórica, a lista de materiais e equipamentos e o procedimento, a completar os cálculos (caso existam) e a retirar uma conclusão que frequentemente já conhecem *a priori*. O relatório tradicional terá nestes casos uma importância duvidosa, no que respeita à promoção e avaliação de conhecimentos procedimentais relacionados com comunicação. Como alternativa, talvez se pudesse usar o V de Gowin (Novak & Gowin, 1988) que, pelo menos, obriga os alunos a sintetizar e a reorganizar as informações fornecidas pelo protocolo, contribuindo para o desenvolvimento de capacidades de síntese.

Por outro lado, diversos e importantes conhecimentos procedimentais que podem ser desenvolvidos aquando da realização de actividades laboratoriais com um grau de abertura inferior ao das investigações e até mesmo acompanhadas por protocolos, pela sua natureza, só podem ser avaliados por observação do trabalho realizado pelo aluno no laboratório. Estão nesta situação, entre outros, os relacionados com observação, medição, domínio de técnicas e destrezas manuais. Na verdade, ainda que num relatório o aluno demonstre que conhece uma dada técnica, o que acontece é que, salvo casos excepcionais, não pode aí mostrar o grau de perfeição com que a executa. Alguns outros conhecimentos procedimentais (ex.: formulação de problemas, realização de previsões, planificação de actividades, análise de dados) podem ser avaliados durante as aulas laboratoriais, mas podem também ser avaliados através de relatórios (desde que, como já referimos, estes incidam em investigações) e até mesmo de testes escritos.

A complexidade e a diversidade de conhecimentos associados às actividades laboratoriais exige a utilização conjunta de diversas técnicas de avaliação (Tamir, 1990; Giddings, Hofstein & Lunetta, 1991; Doran *et al.*, 1993), para que as aprendizagens dos alunos sejam convenientemente avaliadas. Os relatórios são apenas uma delas e podem ter vantagens, mas têm muitas limitações.

Nota final

Ao longo dos tempos, a forma e os objectivos do trabalho laboratorial no ensino das ciências têm sofrido alterações radicais e mais ou menos cíclicas. Actualmente, e pese embora a importância que lhe foi atribuída pela última reforma educativa, continua a haver grande insatisfação com a quantidade e a qualidade do trabalho laboratorial realizado e/ou que se pode realizar nas escolas. Ele continua a ter um baixo grau de abertura, a servir, essencialmente, para confirmar conteúdos previamente leccionados e a exigir pouco envolvimento da parte dos alunos. No entanto, os manuais escolares continuam a incluir actividades laboratoriais e os professores continuam a sentir-se culpados se não usarem trabalho laboratorial nas suas aulas de ciências.

Se é verdade que usamos trabalho laboratorial porque as ciências são disciplinas práticas, não é menos verdade que ensinamos ciências porque as ciências são disciplinas teóricas (Millar, 1998) que nos fornecem conceitos capazes de melhorar a nossa compreensão do mundo. Por isso, e pese embora o facto de o trabalho laboratorial não ser ainda tão popular nas nossas escolas quanto gostaríamos, temos que concordar com Gunstone (1991) quando afirma que "para que o trabalho prático tenha algum efeito sério na reconstrução das ideias dos alunos e no relacionamento de conceitos, os alunos precisam de passar mais tempo a interagir com ideias e menos tempo a interagir com *aparatus*." (p. 74). Com isto queremos significar que não é tanto a quantidade de trabalho laboratorial que é importante mas mais a qualidade desse trabalho. Essa qualidade passa não só pela utilização de actividades de tipos diversificados, adequadamente seleccionadas e executadas em condições consistentes com os objectivos a atingir, mas também pela avaliação da consecução destes objectivos com recurso a técnicas de avaliação devidamente seleccionadas.

Um recurso didáctico sobre o qual desde sempre ouvimos falar, que nos habituamos a usar ou que lamentamos não ter disponível, não pode ser usado simplesmente porque 'a ciência é uma actividade prática'. Ele não é o remédio para todos os males da educação em ciências, mas quando bem usado pode ser um bom catalisador dessa mesma educação. Não devemos usá-lo nem por tradição nem por obrigação; devemos usá-lo se ele servir para melhorar a qualidade da aprendizagem que, sem ele, proporcionaríamos aos alunos.

Referências

- AFONSO, A. (1999). *Avaliação de uma abordagem construtivista de "O som e a audição": Um estudo com alunos do 8º ano de escolaridade*. Dissertação de mestrado (não publicada), Universidade do Minho.
- AFONSO, G. (1997). *Para um ensino construtivista da Química: Um estudo centrado nas Reações Químicas*. Dissertação de mestrado (não publicada), Universidade do Minho.
- CACHAPUZ, A. et al. (1989). O trabalho experimental nas aulas de Física e Química. *Gazeta de Física*, 12(2), 65-69.
- CHALMERS, A. (1994). *Que es esa cosa llamada ciencia?*. Madrid: Siglo veintiuno.
- COROMINAS, J., & LOZANO, M. (1994). Trabajos prácticos para la construcción de conceptos: Experiencias e experimentos ilustrativos. *Alambique*, 2, 21-26.
- DE PRO BUENO, A. (1998). Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias?. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 21-41.
- DEB (1995). *Programa de Ciências Físico-Químicas- 3º ciclo*. Lisboa: DES.
- DES (1979). *Aspects of secondary education in England. A survey of HM Inspectors of schools*. Londres: HMSO.
- DES (1985). *Science 5-16: A statement of policy*. Londres: HMSO.
- DES (1995). *Programa de Ciências Físico-Químicas - 10º ano*. Lisboa: Ministério da Educação.
- DORAN, R. et al. (1993). Alternative assessment of high school laboratory skills. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1121-1131.
- DUARTE, M. (1993). *Mudança conceptual e ensino das Ciências da Natureza – Uma proposta de intervenção pedagógica no 2º ciclo do ensino básico*. Tese de Doutoramento (não publicada), Universidade do Minho.
- DUIT, R. & TREGUST, D. (1998). Learning in science - From behaviourism towards social constructivism and beyond. In Fraser, B. & Tobin, K. (Ed.). *International handbook of science education*. Dordrecht: Kluwer Academic publishers, 1- 25.
- FREIRE, A. (1993). Um olhar sobre o ensino da Física e da Química nos últimos cinquenta anos. *Revista de Educação*, 3(1), 37-49.
- GIDDINGS, G., HOFSTEIN, A. & LUNETTA, V. (1991). Assessment and evaluation in the science laboratory. In Woolnough, B. (Ed.). *Practical Science*. Milton Keynes: Open University Press, 167-177.
- GIL, D. & CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science education*, 7(3), 231-236.
- GOTT, R. & DUGGAN, S. (1995). *Investigative work in the science curriculum*. Buckingham: Open University Press.
- GOTT, R. & MASHITER, J. (1991). Practical work in science – A task-based approach. In Woolnough, B. (Ed.). *Practical Science*. Milton Keynes: Open University Press, 53-66.
- GUNSTONE, R. (1991). Reconstructing theory from practical experience. In Woolnough, B. (Ed.). *Practical Science*. Milton Keynes: Open University Press, 67-77.
- HENNESSY, S. (1993). Situated cognition and cognitive apprenticeship. *Studies in Science Education*, 22, 1-41.
- HEWSON, P., BEETH, M. & THORLEY, R. (1998). Teaching for conceptual change. In Fraser, B. & Tobin, K. (Ed.). *International handbook of science education*. Dordrecht: Kluwer Academic publishers, 199-218.
- HODSON, D. & HODSON, J. (1998). From constructivism to social constructivism. *School Science Review*, 79(298), 33-41.
- HODSON, D. (1988). Experiments in science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 53-66.
- HODSON, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 70(256), 33-40.
- HODSON, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *School Science Review*, 22, 85-142.
- HODSON, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.
- HODSON, D. (1996). Practical work in school science: Exploring some directions for change. *International Journal of Science Education*, 18(7), 755-760.
- HODSON, D. (1998). Is this really what scientists do?. In Wellington, J. (Ed.). *Practical work in school science: Which way now?*. Londres: Routledge, 93-108.
- JENKINS, E. (1998). The schooling of laboratory science. In Wellington, J. (Ed.). *Practical work in school science: Which way now?*. Londres: Routledge, 35-51.
- JIMENEZ-ALEIXANDRE, M. (1996). *Dubidar para aprender*. Vigo: Xerais.
- KLAININ, P. (1988). Practical work and science education. In Fensham, P. (Ed.). *Development and dilemmas in science education*. Londres: Falmer Press, 169-188.
- LAYTON, D. (1990). Student laboratory practice and the history and philosophy of science. In Heggarty-Hazel, H. (Ed.). *The student laboratory and the science curriculum*. Londres: Routledge, 37-59.

- LEACH, J. (1999). Students' understanding of the co-ordination of theory and evidence in science. *International Journal of Science Education*, 21(8), 789-806.
- LEITE, L. (1997). O trabalho laboratorial visto por professores e por futuros professores de Ciências Físico-Químicas. *Boletim das Ciências*, 29, 7-15.
- LEITE, L. (1999a). O ensino Laboratorial de "O Som e a Audição". Uma análise das propostas apresentadas por manuais escolares do 8º ano de escolaridade. In Castro, R. et al. (Org.). *Manuais escolares: Estatuto, funções, história*. Braga: Universidade do Minho, 255-266.
- LEITE, L. (1999b). Heat and temperature: An analysis of how these concepts are dealt with in textbooks. *European Journal of Teacher Education*, 22(1), 75-88.
- LEITE, L. (1999c). *Trabalho laboratorial no ensino das Ciências*. Relatório Científico do Projecto nº 03/98, IIE-SIQE medida 2.
- LEITE, L. (1999d). Promover a reflexão e argumentação em laboratórios computadorizados. *Boletim das Ciências*, 40, 115-125.
- LOCK, R. (1988). A history of practical work in school science and its assessment, 1860-1986. *School Science Review*, 70(250), 115-119.
- LOPES, J. (1994). *Resolução de problemas em Física e Química*. Lisboa: Texto Editora.
- LUNETTA, V. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In Fraser, B. & Tobin, K. (Ed.). *International handbook of science education*. Dordrecht: Kluwer Academic publishers, 249-262.
- MILLAR, R. (1991). A means to an end: The role of processes in science education. In Woolnough, B. (Ed.). *Practical science*. Milton Keynes: Open University press, 44-52.
- MILLAR, R. (1998). Rhetoric and reality: What practical work in science is really for?. In Wellington, J. (Ed.). *Practical work in school science: Which way now?*. Londres: Routledge, 16-31.
- NETO, A. (1998). *Resolução de problemas em Física*. Lisboa: IIE.
- NOVAK, J. & GOWIN, B. (1988). *Aprendendo a aprender*. Barcelona: Martinez Roca.
- PEDRINACI, E., SEQUEIROS, L. & GARCIA, E. (1992). El trabajo de campo y el aprendizaje de la Geología. *Alambique*, 2, 37-45.
- PEREIRA, M. & DUARTE, M. (1999). O manual escolar como facilitador da construção do conhecimento – O caso do tema "reações de oxidação-redução" do 9º ano de escolaridade. In Castro, R. et al. (Eds.). *Manuais escolares: Estatuto, funções, história*. Braga: Universidade do Minho, 367-374.
- PEREIRA, M. (1999). *Ensino e aprendizagem do tópico "Reações de oxidação-redução"*. Um estudo de intervenção pedagógica com alunos do 9º ano de escolaridade. Dissertação de mestrado (não publicada), Universidade do Minho.
- SANTOS, M. (1991). *Mudança conceptual na sala de aula*. Lisboa: Livros Horizonte.
- SILVA, J. & LEITE, L. (1997). Actividades laboratoriais em manuais escolares: Proposta de critérios de análise. *Boletim das Ciências*, 32, 259-264.
- SILVA, J. (1996). *O sistema de aquisição e tratamento de dados como um meio de promover a mudança conceptual dos alunos: Um estudo sobre "Fotossíntese" com alunos do 10º ano de escolaridade*. Dissertação de mestrado (não publicada), Universidade do Minho.
- SOLOMON, J. (1980). *Teaching children in the laboratory*. Londres: Croom Helm.
- TAMIR, P. (1990). Evaluation of student laboratory work and its role in developing policy. In Heggarty-Hazel, E. (Ed.). *The student laboratory and the science curriculum*. Londres: Routledge, 242-266.
- TAMIR, P. (1991). Practical work in school science: An analysis of current practice. In Woolnough, B. (Ed.). *Practical science*. Milton Keynes: Open University Press, 13-20.
- VALADARES, J. (1997). O ensino experimental e o construtivismo. *Gazeta de Física*, 20(1), 30-32.
- VALENTE, M. (1997). O trabalho do laboratório. Limites e possibilidades. Uma perspectiva histórica. *Gazeta de Física*, 20(1), 33-34.
- VASCONCELOS, F. (1997). *O ensino/aprendizagem de tópicos de electricidade (8ºano) numa perspectiva de mudança conceptual*. Dissertação de mestrado (não publicada), Universidade do Minho.
- WELLINGTON, J. (1998). Practical work in science: Time for a reappraisal. In Wellington, J. (Ed.). *Practical work in school science: Which way now?*. Londres: Routledge.
- WELZEL, M. (1997). Student-centred instruction and learning processes in Physics. *Research in Science Education*, 27(3), 383-394.
- WOOLNOUGH, B. & ALLSOP, T. (1985). *Practical work in science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- WOOLNOUGH, B. (1991). Setting the scene. In Woolnough, B. (Ed.). *Practical science*. Milton Keynes: Open University Press, 3-9.