

“FLOGISTO”, “CALÓRICO” & “ÉTER”

ARMANDO A. DE SOUSA E BRITO

*Sociedade Portuguesa dos Materiais
Associação Portuguesa de Arqueologia Industrial
Instituto de Ciência e Engenharia de Materiais e Superfícies – IST*

Três estranhas e enigmáticas entidades, criadas pela Química e pela Física, permitindo certos avanços nessas Ciências, mas que na realidade nunca existiram !

*Não se conhece plenamente uma Ciência
enquanto se não conhece a sua História”
Auguste Comte*

INTRODUÇÃO

A análise histórica do desenvolvimento das Ciências é considerada fundamental sob diversos aspectos dos quais se destacam: *i)* o conhecimento dos princípios estabelecidos na elaboração das teorias e os seus critérios de avaliação; *ii)* a maior percepção das características específicas do conhecimento científico; *iii)* a apreciação dos factores sociais, económicos e mesmo políticos que em cada época influenciam ou determinam o desenvolvimento da Ciência e das suas aplicações tecnológicas; *iv)* finalmente, fornecendo material para um auto-exame crítico da ciência, aumenta o nosso apreço pelo estado de conhecimento a que chegamos.

O interesse em historiar a ciência não é recente, embora tenha predominado o caso de *cientistas-historiadores*, ou sejam cientistas que em dada altura da sua actividade passam a dedicar-se à história da ciência, geralmente restringindo-se ao domínio da sua formação. Mais recente é o caso de historiadores profissionais que se dedicam a historiar o desenvolvimento da ciência.

Como exemplo do primeiro caso pode-se citar Joseph PRIESTLEY (1733-1804), eminente químico, filósofo e teólogo britânico, cuja contribuição para a estruturação da Química como ciência foi importante (embora tenha aderido em certos casos a concepções hoje postas de parte por erróneas, como se verá adiante). Reconhecendo a necessidade de se historiar o desenvolvimento das ciências, afirmou:

“Para facilitar o avanço de qualquer ramo da ciência útil, duas coisas se requerem como principais; primeiro, o conhecimento histórico do seu aparecimento, progresso e estado actual; depois um canal fácil de comunicação de todas as novas descobertas”.

Escreveu em 1767 a obra *“The History and Present State of Electricity”*, que o consagrou como professor e historiador da ciência.

Por sua vez o filósofo francês Auguste COMTE (1798-1857), o criador do positivismo e da sociologia, e também autor de uma classificação das ciências, defendia o mesmo ponto de vista, bem expresso na epígrafe que encabeça este artigo. Chegou a propor a criação de uma cadeira de história da ciência no Collège de France.

Posteriormente Pierre-Maurice DUHEM (1861-1916), físico francês, cuja obra de maior vulto é como historiador da ciência, afirmava:

“O único método legítimo, seguro e fecundo de preparar o espírito para receber uma hipótese física é o método histórico”.

Igual atitude defendia o grande físico austríaco Erwin SCHRODINGER (1887-1961) que realizou um profundo estudo sobre a filosofia grega com vista ao esclarecimento de algumas questões conceptuais da física moderna.

Bastam estes quatro exemplos, entre muitos outros que se poderiam citar, para mostrar como grandes figuras da erudição, em diferentes áreas, defenderam a necessidade de historiar a evolução do conhecimento científico.

Todavia, contrariamente ao que sucede com os cientistas estrangeiros, nomeadamente anglo-saxónicos, não tem havido entre os cientistas portugueses contemporâneos, salvo raríssimas excepções, a preocupação de historiar o desenvolvimento dos ramos da Ciência a que estão afectos. Entre essas excepções (pelo menos as que o autor deste artigo conhece), contam-se, na área das ciências físico-químicas, o Prof. Amorim da COSTA do Departamento de Química da Universidade de Coimbra (*“Introdução à História e Filosofia das Ciências”*), o Prof. Armando GIBERT, da Faculdade de Ciências de Lisboa (*“Origens Históricas da Física Moderna”*), o Prof. Rómulo de CARVALHO, cuja obra é por demais conhecida, e mais recentemente a Prof. Raquel GONÇALVES-MAIA da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (*“Uma viagem na História da Ciência”*). Na área da Matemática já se tornou clássica a *“História da Matemática em Portugal”*

do Doutor Francisco GOMES TEIXEIRA, publicada em 1934 por iniciativa da Academia das Ciências de Lisboa, um ano após a morte do autor, mas ainda uma obra de referência. Em 2006 saiu uma edição fac-similada da mesma¹.

Assim a História das Ciências é bem recente em Portugal, quer se tratando de historiadores que se dedicam às ciências, quer de cientistas interessados pela história. Uns e outros deparam sempre com a dificuldade inerente à exiguidade de bibliografia, clássica ou recente, disponível no País².

* * *

Um dos aspectos mais cativantes e de maior interesse no conhecimento da História das Ciências, é o facto não raro de que por vezes a Ciência consegue progredir a partir de hipóteses que posteriormente se demonstra serem falsas, mas que em determinado momento, ou mesmo durante séculos, não deixam de ser fecundas, resolvendo de modo satisfatório as necessidades imediatas dessas épocas. Assim trilhando doutrinas erradas chega-se a conclusões verdadeiras. Claro que mais cedo ou mais tarde surgem problemas aos quais essas hipóteses não se conseguem adaptar ou até se mostram contraditórias, deixando de ter sentido. Então há que abandoná-las, banindo da linguagem científica os termos que as designavam e os conceitos a eles referentes, não deixando contudo de lhes reconhecer o contributo que deram ao progresso do conhecimento.

Essas hipóteses, geralmente criados por cientistas eminentes, conquistam logo numerosos adeptos, em nada porém diminuindo o seu valor. São “acidentes de percurso” na já longa história do conhecimento científico. Todos os ramos da ciência apresentam situações desse tipo. O problema só se torna grave quando se pretende dogmatizar qualquer conceito. Não foram raros esses casos e as suas nefastas consequências – que o digam Galileu ou Darwin... Não são porém desse tipo os casos que aqui irão ser abordados.

O que aqui se propõe historiar, embora sucintamente, são três casos exemplares do domínio da Física e da Química, verificando que, apesar das suas incongruências, chegaram efectivamente a dar algum contributo para o progresso dessas ciências. Trata-se dos conceitos de “*Flogisto*”, de “*Calórico*” e de “*Éter*”.

Começa-se por recordar que os passos iniciais da Química como Ciência, foram precisamente no âmbito da constituição da matéria e das suas transformações. Já os filósofos da Antiguidade abordaram esse tema defendendo

os *princípios primitivos* dos corpos ou sejam os quatro *elementos* – *terra, água, ar e fogo*, propostos em meados do séc. V a.C. por EMPÉDOCLES (~ 490-430 a.C.) – filósofo, poeta, político e mago grego de Agrigento, Sicília – e posteriormente adoptados por Platão e sobretudo por Aristóteles.

Mais tarde, os alquimistas preconizaram que a matéria seria composta de três *princípios fundamentais* – o *enxofre*, *princípio activo, masculino* (o fogo, o sol), o *mercúrio*, *princípio passivo, feminino*, (a terra) e o *sal*. (Notar que esses princípios alquímicos nada tinham a ver com as substâncias químicas agora designadas pelos mesmos nomes). PARACELSO³ (1493-1541), médico-alquimista suíço, pai da medicina hermética, tornou-se o mais destacado defensor dessa corrente.

Na Física o princípio que mais perdeu desde a Antiguidade até aos nossos dias, embora com diversas “nuances” foi a do *éter* que seria uma substância subtil dos corpos celestes, a *quinta essência*, imponderável e invisível que preenchia todos os espaços, e mais sublime que os quatro elementos terrestres aristotélicos.

Esses misteriosos *princípios*, que ninguém definia rigorosamente, reuniam quase sempre propriedades inconciliáveis e contraditórias (intangibilidade, invisibilidade, imponderabilidade ...), fugindo assim a qualquer tentativa experimental de comprovação física, conhecendo-se apenas os seus efeitos. O adjectivo “*subtil*” acompanhava-os sempre ...

1. O “FLOGISTO” CRIADO PELA ALQUIMIA E APROPRIADO PELOS QUÍMICOS

É geralmente atribuída ao médico e químico alemão George Ernst STAHL (1660-1734) a criação da *teoria do flogisto*, um princípio material responsável pela combustibilidade das substâncias. Na realidade essa teoria foi proposta em 1669 pelo alquimista, também alemão, Johann Joachim BECHER (1635-1682), num livro intitulado “*Physica Subterrânea*”. Esse princípio seria talvez uma mistura dos conceitos de *fogo* aristotélico e de *enxofre* alquímico.

Stahl, no início do séc. XVIII, quando professor de medicina na Universidade de Halle, retoma as ideias de Becher e, em 1703 na obra “*Specimen Beccherianum*” promove o *flogisto* considerando-o um *princípio inflamável*. Afirma que qualquer metal é formado pela combinação de uma *matéria terrosa* (que se designou por “*cal*”), variável consoante o metal, com uma substância (o dito *flogisto*) que é sempre a mesma. A palavra “*flogisto*” derivou do termo “*arder*” em grego.

A combustão era então explicada como o resultado do facto do *flogisto* abandonar a matéria que estava a ser queimada, indo para o ar; quando um metal é queimado, o *flogisto* abandona-o deixando as cinzas, que já não possuindo essa

¹ Esta edição fac-similada teve uma tiragem de apenas 90 exemplares (!), dos quais o autor deste artigo tem o privilégio de possuir um.

² Toma-se como exemplo a obra “*A Experiência Matemática*” de P. J. Davis e R. Hersh, sobre a essência da matemática, a sua história e filosofia e o processo de descoberta e desenvolvimento do conhecimento matemático, editada em 1981 por Birkhauser Bóston, e considerada nos E.U. como o melhor livro do ano; na bibliografia respectiva os autores mostram terem consultado cerca de quatro centenas de obras sobre os temas abordados. Um autor português que se dispusesse a escrever sobre tema idêntico não teria, com certeza, acesso nem a um décimo desse número. A edição portuguesa dessa importante obra, é da Gradiva – 1985. Merece a pena a sua leitura.

³ O seu verdadeiro nome era Phillipus Aureolus Theopastus Bombast von Hohenheim. Ele próprio adoptou o nome de Paracelso significando ser “maior que Celsus”, o célebre escritor de temas médicos do séc. I d.C.

substância, deixa de arder. Do mesmo modo pelo aquecimento dessas cinzas o *flogisto* reentra nas mesmas, regenerando o metal (*cal + flogisto = metal*). Por outro lado a não verificação da combustão na ausência do ar, era explicada pela necessidade da presença do ar para absorver o *flogisto*: assim quando uma vela arde dentro de um recipiente fechado, acaba por se apagar porque o ar saturado de *flogisto* libertado não pode contê-lo mais. Stahl levava mesmo mais longe as propriedades dessa entidade, atribuindo-lhe o princípio da cor e do odor dos corpos⁴.

Este elaborado modelo tornou-se assim na primeira teoria que no âmbito de determinados fenómenos químicos conseguiu reuni-los num único sistema explicativo. Os princípios genéricos que orientavam essa teoria foram resumidos, por Macquer (1718-1784) num artigo constante do “*Dictionnaire de Chimie*”, publicado em 1778, donde se transcreve apenas alguns passos:

“O *flogisto* deve ser tomado como o fogo elementar combinado e tornado num dos princípios constitutivos dos corpos combustíveis; sempre que o *flogisto* se combina com uma substância não inflamável, dá lugar a um novo composto capaz de se inflamar; o *flogisto* não tem a mesma afinidade para todas as substâncias; combina facilmente com os sólidos mas tem dificuldade em se combinar com os materiais fluidos leves e voláteis [...]”.

Mas este modelo, permitindo explicar vários aspectos dos fenómenos de combustão e calcinação, não era isento de falhas e contradições: se as cinzas de determinadas substâncias são menos pesadas que o produto inicial (na realidade por perda na atmosfera de produtos da combustão), o composto produzido pela calcinação de um metal é mais pesado que o metal de partida, havendo então excesso de peso. Esse problema não deve ter incomodado Stahl, nem tão pouco alguns dos sucessivos adeptos da teoria que meteram a sua colherada no tema, tentando tranquilamente ultrapassar as falhas que iam surgindo com as mais estranhas e inconcebíveis explicações, inclusive atribuindo ao *flogisto* um “peso negativo”!

No séc. XVIII, a Química começava a desabrochar como ciência, tendo-se destacado os nomes de vários cientistas que abordaram as reacções químicas. Entre eles sobressaíram Joseph BLACK (1728-1799), médico e químico escocês, Henry CAVENDISH (1731-1810), físico⁵ e químico inglês, Joseph PRIESTLEY (1733-1804), químico inglês, Carl Wilhelm SCHELLE (1742-1786), químico e farmacêutico suéco, Antoine Laurent de LAVOISIER (1743-1794), químico francês e Daniel RUTHERFORD⁶ (1749-1819) químico escocês.

Todos esses cientistas estiveram envolvidos na descoberta ou, pelo menos, na caracterização de diversos gases. Ver-se-á como cada um encarou o problema do *flogisto*.

Recorde-se que a palavra *gás* foi criada, em 1625, por Jan Baptiste VAN HELMONT (1579-1644), químico flamengo (e discípulo de Paracelso), a partir do termo grego *khaos* (*caos*), referenciando as libertações que observava em determinados fenómenos químicos, ou, segundo alguns autores, a partir da palavra flamenga *ghoast*, significando espírito⁷. O termo difundiu-se por todas as línguas da Europa, mas nessa altura preferia-se o termo “*ar*”.

Surgiram assim com as descobertas dos cientistas citados diversos “*ares*”, todos eles de algum modo relacionados com o *flogisto*.

Um dos primeiros gases a ser identificado foi o dióxido de carbono, o “*ar fixo*”, por Black, em 1754 no decorrer de reacções químicas envolvendo produtos sólidos. Porém certos autores atribuem a descoberta desse gás a van Helmolts, em 1622, dando-lhe o nome, algo poético, de “*gás silvestre*”.

Priestley identificou vários gases graças a um dispositivo que inventou para a recolha de gases solúveis em água. Em 1768 isolou o dióxido de carbono produzido na fermentação da cerveja⁸. Mas a sua maior descoberta foi a do oxigénio, em 1774. Pensava que era um gás sem *flogisto* chamando-o de *ar desflogisticado* ou *ar bom*. Escreveu “*Experiências e Observações sobre as Diferentes Espécies de Ar*” onde explicava as suas descobertas em termos do modelo *flogístico*, conceito que o acompanhou até ao fim da vida.

A par do anterior, o nome de Sheele está também indubitavelmente ligado à descoberta do oxigénio. Scheele realizou importantes trabalhos de química experimental, nomeadamente sobre a composição do ar atmosférico, tendo reportado a existência do oxigénio, na sua obra “*Tratado Químico de Ar e Fogo*” (1779) onde também se revela adepto da teoria do *flogisto*. Apesar de Priestley ser considerado o descobridor desse gás, crê-se que Sheele teve a primazia entre 1770 e 1774⁹. Todavia publicou o seu livro atrás citado demasiado tarde quando a descoberta já estava atribuída a Priestly (de factos semelhantes está a História cheia...).

O hidrogénio foi descoberto em 1766, por Cavendish no decorrer de reacções de ataque de metais por ácidos, verificando que o gás libertado era muito leve e distinto dos que até aí tinha conhecido. Pensou que esse gás provinha dos metais envolvidos na reacção (sabe-se hoje que provém

⁴ Como médico, Stahl foi também adepto da teoria *animista*, mantendo muitos apoiantes e não menos contraditores.

⁵ Na física o nome de Cavendish está ligado, como se sabe, a um importante facto – a determinação rigorosa, feita pela primeira vez, da *constante de gravitação universal (G)*, graças a um dispositivo por ele criado, conhecido como Balança de Cavendish ou Balança de Torção.

⁶ Não confundir com Ernest Rutherford (1871-1937), físico britânico neozelandês que, mais de um século depois, se distinguiu no campo da radioactividade, propôs o modelo do átomo que leva o seu nome e identificou o próton, recebendo o Prémio Nobel de Química em 1908.

⁷ Como se sabe, em inglês, a palavra “espírito” é *ghost*.

⁸ Consequindo recolher esse gás e dissolvendo-o na água, Priestley produziu a água gasificada, que teve então enorme êxito comercial.

⁹ Teria também descoberto, ou pelo menos identificado, o cloro, o flúor, o manganês, o bário, o molibdénio, o tungsténio, o azoto e diversos compostos; com excepção do cloro, as descobertas dos restantes elementos citados não lhe são reconhecidas, talvez por terem sido publicadas depois de outro pessoa ter feito independentemente a mesma descoberta. Era basicamente um experimentalista e crê-se que morreu envenenado (foi encontrado morto) aos 43 anos, devido à sua mania de aspirar e provar as substâncias com que trabalhava.

dos ácidos), e, como era muito leve e extremamente inflamável identificou o gás como *flogisto*. Cavendish publicou “*Experiments on Air*”, definindo, em resultado de precisas análises, que o ar era composto por 79,167 % de *ar flogisticado* (agora sabido ser azoto e argon) e 20,833 % de *ar deflogisticado* (na realidade oxigénio).

Também neste caso há outro candidato à atribuição da descoberta do azoto. Em 1772, Daniel Rutherford, discípulo de Black, identificou esse gás, chamando-lhe *ar flogisticado* ou *ar nocivo*. Como Cavendish, terá igualmente determinado, de forma correcta, a sua proporção no ar.

Resumindo, surgiram assim diversos “ares” – *ar fixo*, o dióxido de carbono, *ar inflamável*, o hidrogénio; *ar flogisticado* ou *ar morto*, o azoto; *ar deflogisticado* ou *ar vital*, o oxigénio, além de outros. Foi Lavoisier quem posteriormente deu a esses gases os nomes actuais.

O processo de combustão estava portanto longe de ser adequadamente compreendido. Cavendish, como muitos outros, pensava que essa reacção envolvia, não a remoção do oxigénio do ar, mas, pelo contrário, a captação de *flogisto* pelo ar. Explicou também a produção do ácido nítrico a partir do “*ar flogisticado*” (azoto). Por outro lado demonstrou que a água não era um elemento simples mas sim um composto. Este facto iria ser fundamental para a demolição do modelo do *flogisto* e na compreensão da realidade da combustão. Foi porém Lavoisier quem veio a afirmar que a água é formada a partir da combinação do “*ar inflamável*” (hidrogénio) e “*ar deflogisticado*” (oxigénio).

Assim enquanto a química ainda não era propriamente uma ciência, mas um conjunto de conhecimentos vagos e essencialmente qualitativos, o modelo do *flogisto* foi funcionando. Bastaria alguém começar a tomar nota dos pesos dos reagentes e dos produtos das reacções, isto é, a quantificar o que se passava na combustão, para concluir que com ela as substâncias tornavam-se mais pesadas e não mais leves, pois com a reacção algo entrava, ou seja estava a combinar com essas substâncias e não a escapar delas. A *balança* passaria a ser o instrumento fundamental da Química.

Foi Joseph Black, e os seus sucessores, quem deu início a medições exactas do que se passava nas reacções, verificando que o modelo do *flogisto* estava condenado. Black, fez várias experiências nas quais a balança era o instrumento básico, com tudo a ser cuidadosamente pesado no decorrer das mesmas; pôde até determinar o peso do “*ar fixo*” ganho ou perdido nas várias reacções. Os resultados dessas investigações eram sobretudo apresentados aos seus alunos das Universidades de Glasgow e de Edimburgo, onde leccionou, não tendo porém publicado quase nada¹⁰. Black também mostrou o seu cepticismo em relação ao *flogisto* ao verificar que na transformação do calcário em cal há perda de peso, o que os defensores do *flogisto* prontamente tentaram explicar pela referida *propriedade anti-peso* desse elemento!

¹⁰ É também devida a Black a identificação do magnésio como elemento químico, a partir da análise da magnésia (óxido de magnésio)

Seria porém o grande químico Lavoisier, quem destronaria a *teoria do flogisto*, interpretando de modo correcto as reacções de oxidação, como combustões, calcinações etc., e lançando os fundamentos da análise química quantitativa. É por isso considerado o *fundador da Química moderna*.

Efectivamente, Lavoisier ousou pôr em causa a teoria do *flogisto*, explicando os fenómenos da combustão e da calcinação sob um aspecto totalmente diferente do que até aí era considerado. Nos finais da década de 1760 e inícios da seguinte, Lavoisier havia realizado uma série de experiências, baseadas em meticolosas medições, com uso sistemático da balança, nas quais se provava que quando um metal arde ganha peso em vez de o perder. Isso seria o primeiro passo em direcção à completa compreensão do fenómeno da combustão – processo que na realidade envolve a combinação do oxigénio do ar com a substância que está a sofrer a queima.

Em 1774 Lavoisier apresentou à Academia de Ciências de Paris, para a qual havia sido eleito em 1768, uma memória sobre a calcinação do estanho num vaso fechado. Introduziu o estanho, previamente pesado, num balão cujo peso havia sido igualmente determinado. Fechando o recipiente hermeticamente, pesou o conjunto. Procedeu seguidamente à calcinação do metal, que terminou após um certo tempo, não tendo conseguido prosseguir o processo. Pesou então novamente o conjunto, constatando que o seu peso mantivera-se. Retirado o produto da calcinação verificou que o seu peso era ligeiramente superior ao do estanho inicialmente introduzido. Como evidentemente o peso do próprio balão não se alterara, concluiu que o aumento do peso do metal calcinado só poderia ser originado pela combinação do metal com uma *certa parte* do ar contido no recipiente. Repetiu os ensaios com outros materiais, como chumbo, enxofre e fósforo. Tirou daí duas importantes conclusões: 1) *a calcinação resultava da combinação do metal com um certo constituinte do ar*; conseqüentemente: 2) *o ar não era um elemento simples, mas formado por uma mistura de diferentes substâncias*.

Em 1775 tendo sido nomeado comissário da indústria da pólvora, instalou o seu laboratório no Arsenal de Paris. Aí pode demonstrar a superioridade do seu modelo de combustão sobre o do *flogisto*. A balança, de grande precisão, é o seu principal instrumento a par do calorímetro de sua invenção e de outros aparelhos laboratoriais por ele criados.¹¹

Posteriormente, sempre procedendo a repetidas experiências, utilizando o método quantitativo, com todo o cuidado e rigor, e discutindo com Priestley (que o havia procurado em Paris), os trabalhos deste sobre os diferentes “ares”, Lavoisier chegou à conclusão de que o ar atmosférico é composto de dois gases diferentes – o *ar vital*, que mais tarde haveria de designar *oxigénio*, e o *azoto*. Aprofundou também o fenómeno da combustão e o da respiração. Explicou igualmente, com base nos seus

¹¹ Lavoisier casara-se em 1771 com uma jovem de catorze anos, Marie Anne, que se tornou sua auxiliar no laboratório e sobretudo desenhava primorosamente os aparelhos por ele criados e utilizados, e que figuram no “*Traité de Chimie*”.

princípios, os resultados obtidos por Cavendish sobre a combinação do hidrogénio com o oxigénio formando a água.

Assim verifica-se uma profunda alteração na explicação de uma série de conceitos – substâncias até aí consideradas elementos passaram a compostos e vice-versa, e a pretensa incorporação do *flogisto* não era mais que a retirada do oxigénio.

Finalmente em 1783 apresenta à Academia de Ciências de Paris nova memória intitulada “*Reflexões sobre o Flogisto, para Servirem de Continuação à Teoria da Combustão e da Calcinação*”. Nesse documento afirma:

“[...] cada um liga a esse termo (o flogisto) uma ideia vaga, que ninguém definiu rigorosamente, reunindo-se assim, no mesmo conceito, propriedades inconciliáveis e contraditórias [...] umas vezes tem peso, outras não; tanto é fogo livre com fogo combinado com o elemento terroso; tão depressa passa através das paredes dos vasos como estes são impermeáveis para ele; explica a causticidade e a não causticidade [...]”.

A demolição definitiva da teoria do *flogisto*, foi concretizada após trabalhos realizados sobre a respiração dos animais, em artigo publicado em 1786 nas “*Memoires*” da Academia.

Mas como atrás se historiou, e como nota o Prof. Amorim da Costa¹²

“Lavoisier não foi, certamente, o produto dos seus precursores, mas também não foi o herói que nada deve a quantos o precederam, bem como a muitos dos seus contemporâneos com quem trabalhou e discutiu os seus resultados”.

Efectivamente, embora Priestley e Cavendish fossem adeptos do *flogisto*, efectuaram também experiências que se poderão considerar como primeiros passos no sentido do derrube dessa teoria – em 1774 Priestley havia mostrado a existência do oxigénio a partir da calcinação do óxido vermelho de mercúrio e em 1781 Cavendish realizara a síntese da água a partir do oxigénio e do hidrogénio (o “*ar inflamável*” que havia sido descoberto por si anos antes). E, como atrás se afirmou, Lavoisier tivera discussões em Paris com Priestley sobre os seus avanços.

Em 1787 Lavoisier, conjuntamente com Claude Louis BERTHOLLET (1748-1822), Louis Bernard Guiton de MORVEAU (1737-1816) e Antoine FOURCROY (1755-1809) publicou a obra “*Méthode de Nomenclature Chimique*”, no qual dá início à formulação da nova terminologia química, que correspondesse às exigências impostas pela nova Ciência¹³

Mas entre os seus escritos destaca-se a monumental obra-prima “*Traité Élémentaire de Chemie*” onde resumiu o

¹² Citado na Bibliografia.

¹³ Recorde-se que por essa altura o naturalista sueco Karl LINNAEUS – Lineu – (1707-1778) havia introduzido na Zoologia e na Botânica um sistema lógico de classificação das espécies, que havia causado forte impressão no mundo científico.

trabalho da sua vida, lançando as bases da Ciência Química. A obra, iniciada cerca de dez anos antes, foi editada em Paris em 1789, ano da tomada da Bastilha. Há quem considere que ela corresponde para a Química o que os “*Principia*” de Newton significam na Física. Nele são descritos os motivos da rejeição da teoria do *flogisto*, descrevendo as experiências por si realizadas evidenciando o papel fulcral do oxigénio.

O conjunto da obra deste grande cientista – a rejeição do *flogisto* e a interpretação correcta dos fenómenos da combustão (e da respiração como forma daquela), a *Lei de Conservação da Massa*, a composição do ar, a análise e a síntese da água, o método de trabalho experimental essencialmente quantitativo, o sistema lógico de *Nomenclatura Química*, estabelecendo a diferença entre os elementos simples e os compostos, etc. – leva-o a ser considerado o *fundador da Química* como Ciência.

Infelizmente, e como é sabido, o génio de Lavoisier não foi reconhecido pelos seus contemporâneos, mais envolvidos na turbulência da Revolução do que nos progressos da Ciência (“*A Revolução não precisa de cientistas*”...). Pelo facto de anteriormente ter exercido um cargo público ligado ao sistema fiscal, o cientista foi preso e julgado sumariamente durante o Terror implantado pelo feroz jacobino Maximiliano Robespierre, sendo guilhotinado a 8 de Maio de 1794, e tendo o seu corpo ido parar à vala comum¹⁴. O matemático Louis LAGRANGE diria mais tarde:

“um instante bastou para ceifar esta cabeça, mas nem cem anos chegarão para produzir outra parecida”.

Por sua vez o químico alemão Just LIEBIG, um dos mais notáveis do séc. XIX, assim se referiu a Lavoisier:

“não descobriu nenhuma substância, nenhum propriedade, nenhum fenómeno que não fossem já conhecidos; mas a sua glória será imortal pelo facto de ter instilado na Ciência um novo espírito”.

É interessante referir-se aqui às repercussões que as teorias de Lavoisier tiveram em Portugal. Elas foram divulgadas e defendidas pelo Prof. Vicente Coelho de SEABRA (1764-1804), do Laboratório de Química da Universidade de Coimbra, criado pela reforma pombalina. Esse cientista português, acompanhando com bastante oportunidade as novas teorias, realizou diversas experiências que deram origem à obra “*Elementos de Chimica*”, em dois volumes, publicados em 1788 e 1790. Repare-se que a primeira data é um ano anterior ao “*Traité*” do sábio francês. Naturalmente também em Portugal havia convictos defensores do *flogisto*, liderados por Manuel Henriques de Paiva, que naturalmente se envolveram em acesa polémica com Coelho de Seabra.

¹⁴ Um dos que mais contribuiu para a desgraça de Lavoisier foi o célebre revolucionário e panfletário Jean-Paul Marat. Efectivamente Marat havia tido anteriormente pretensões a cientista, tendo apresentado à Academia uma teoria sobre a combustão, que sendo de facto errada, foi alvo de comentários negativos por parte de Lavoisier. Marat nunca lhe perdoou, não tardando a surgir uma oportunidade de vingança. Mas acabou por preceder Lavoisier na morte, tendo, como se sabe, sido assassinado ... Robespierre também não se ficou a rir - subiria ao cadafalso escassos três meses após o cientista.

Dever-se-á também referir que a Biblioteca do Departamento de Química da Universidade de Coimbra tem o privilégio de possuir um magnífico exemplar das obras de Lavoisier, que inclui o “*Traité Élémentaire de Chemie*”, editado em 1854 pela Imprimerie Imperial de Paris.

2. LAVOISIER REPUDIA O “FLOGISTO” MAS ADOPTA O “CALÓRICO”

Como anteriormente se referiu, na Antiguidade o *fogo* foi considerado como um dos quatro elementos da matéria, propostos por EMPÉDOCLES, como “*as raízes de todas as coisas*”. HERÁCLITO (~550-~480 a.C.), filósofo grego da escola de Mileto, reconhecia ser o fogo o princípio primeiro de todas as coisas, sendo em simultâneo a matéria originária de tudo quanto existe e o princípio explicativo do movimento¹⁵. ARISTÓTELES (384-322 a.C.) considerava o fogo como o *movimento de partículas extremamente pequenas*.

Esse carácter material do *fogo (fluido subtil)* foi igualmente adoptado pelos alquimistas e persistiu ao longo dos séculos. Vamos encontrá-lo no século XVIII com o nome de *calórico.*, conceito que perdurou até meados do séc. XIX, só sendo eliminado pela *Termodinâmica* e pela *Teoria Cinética dos Gases*.

Roger BACON (1214-1294) e posteriormente Johannes KEPLER (1571-1630) terão tido a intuição de que o calor seria devido ao movimento de partículas internas da matéria. Mas contrariamente, GALILEU (1564-1642) e NEWTON (1642-1727) seguiam os princípios do fluido de Aristóteles.

Posteriormente as atenções sobre o fenómeno do calor e as suas transformações deixam o âmbito das especulações qualitativas, entrando progressivamente no domínio da análise quantitativa. Mas surgiam algumas dificuldades resultantes de se pensar poder tratar o calor segundo os princípios da concepção mecanicista do universo. As tentativas de considerar o calor como substância material sujeito a pesagem resultavam em fracasso pois verificava-se que os corpos aquecidos não pesavam mais do que quando frios. Para sair dessa dificuldade não se hesitou em optar pela atribuição ao calor da propriedade de *imponderabilidade*. E eminentes cientistas abraçaram de bom grado essa teoria.

Joseph Black, por volta de 1760, distanciou-se dos seus trabalhos no âmbito da química (a que se fez referência no capítulo anterior) e dedicou-se a estudar o calor, tema que o fascinava. Sempre utilizando o seu método de rigorosas medições, realizou ensaios estudando a transição entre os estados líquido e sólido que o levaram à definição de *calor latente* (1761) Facto igualmente importante foi Black ter feito uma distinção crucial entre os conceitos de *calor* e *temperatura*¹⁶.

¹⁵ A filosofia de Heráclito traduz-se na sua célebre metáfora: “*Não nos podemos banhar duas vezes na mesma água do rio*”.

¹⁶ Black foi professor de Química nas Universidades de Glasgow e Edimburgo, em plena Revolução Industrial. O seu ensino era baseado em métodos de raciocínio e de experimentação, depois aplicados a fins industriais, o que atraiu muitos jovens, como James Keir, que foi pioneiro

Todavia é-lhe atribuída a sugestão da hipótese do *calórico* para explicar os fenómenos caloríficos. E mais uma vez esse fluido vinha cuidadosamente envolvido por uma série de estranhos atributos – indestrutível, imponderável, dotado de grande elasticidade, e auto repulsivo, tendo ainda a capacidade de, sob a influência de causas exteriores bem definidas, penetrar em todos os corpos. Deste modo cada corpo possuía o referido *calórico* que quando fluía para fora do mesmo fazia sentir esse facto pelo abaixamento da temperatura, e vice-versa.

Essa explicação do calor em termos do *calórico* (com o sentido de *matéria do calor* ou *fluido térmico*) foi largamente aceite até meados do século seguinte. Teve sem dúvida bastante influência, ajudando a explicar muitos (mas não todos!), aspectos do fenómeno do calor.

Assim, os diferentes *calores específicos* das diferentes substâncias eram explicados considerando que o *calórico* era atraído de modo desigual pelas diferentes espécies de matéria; por sua vez a dilatação produzida pelo aquecimento explicava-se pela auto-repulsão do *calórico*; a água era uma combinação do gelo com *calórico* numa determinada proporção, e o vapor era outra combinação da água com uma maior percentagem de *calórico*; daí facilmente se explicava a passagem da água do estado sólido ao líquido e desse ao de vapor. Como essas, outras engenhosas explicações foram surgindo para todos as dúvidas levantadas... A condição de *imponderabilidade* do *calórico* foi o maior motivo de discussão.

Como foi realçado no capítulo anterior, Lavoisier, desembaraçou a química de conceitos vagos despojando essa ciência emergente dos últimos vestígios da alquimia. Entre outras notáveis contribuições estabeleceu a primeira tabela de elementos químicos, embora como se calcula muito incipiente, mas sem dúvida núcleo da posteriormente formada. Porém, por estranho que pareça, incluiu nessa tabela, a par do oxigénio, azoto, enxofre, ouro, etc., num total de 33 elementos, esse pseudo-elemento, designado “*calórico*”¹⁷. Chega a escrever “*o calórico combina-se com o sólido formando o líquido, que combinando-se com o calórico forma o gás*”. Alguns autores atribuem mesmo a Lavoisier a criação do termo.

Contudo, numa memória apresentada em 1783, juntamente com Pierre Simon LAPLACE (1749-1827)¹⁸, à Academia das Ciências, Lavoisier reconhece estarem os físicos divididos quanto à natureza do calor – um fluido que penetra nos corpos consoante a sua temperatura e a sua capacidade para o reter, ou o resultado da agitação das partículas constituintes da matéria. E, hesitando, afirma a possibilidade das duas hipóteses se verificarem ...

das indústrias química e de vidro, James Watt, etc. Teve estritas relações com a ciência continental.

¹⁷ Lavoisier também incluiu como elementos simples a cal e a magnésia, que na realidade são óxidos de cálcio e magnésio, respectivamente, mas ao tempo desconhecia-se como decompô-los.

¹⁸ Introduzindo os métodos quantitativos na teoria do calor através da medição, Lavoisier e Laplace inventam 1782 um aparelho, que posteriormente Lavoisier designará por *calorímetro*, permitindo o controle das trocas de calor com o exterior nas experiências de mistura ou de mudança de estado.

Nos alvares da Revolução Industrial, o tema do calor começava a despertar o interesse de muitos sectores da Física e várias razões ajudaram a por de parte a hipótese do *calórico*, admitindo-se que a temperatura de um corpo, noção intimamente ligada à do calor, seria uma consequência da maior ou menor agitação das moléculas constituinte desse corpo. Destacam-se, entre outros, os sucessivos trabalhos de Benjamin THOMPSON (1753-1814), físico americano, Humphrey DAVY (1778-1829), físico e químico inglês, James Prescott JOULE (1818-1889) físico britânico, Julius Robert von MAYER (1814-1878), médico e físico alemão, e o seu compatriota Rudolf Julius Emmanuel CLAUSIUS (1822 -1888).

Thomson, trabalhando como engenheiro militar ao serviço do governo da Baviera, onde obteve mais tarde o título de conde de Rumford, investigou experimentalmente, por volta de 1798, a produção de calor por *atrito* numa fábrica de canhões de Munique. Essas experiências consistiram em fazer rodar uma peça metálica sobre outra, ambas mergulhadas num recipiente com água, podendo assim medir a elevação da temperatura da água, resultante do calor produzido pelo atrito entre as peças. Verificou que levando a água à ebulição, o que sucedeu ao fim de escassas duas horas, o processo poderia continuar enquanto as peças se movessem uma sobre outra. Verificou ainda que não se produzia qualquer alteração do peso dos corpos. Das conclusões que tirou, Rumford publicou em 1798 nos “*Philosophical Transactions*” um artigo em que punha em dúvida o carácter material da tal substância, afirmando:

“aquilo que um corpo isolado ou um sistema de corpos pode continuar a fornecer sem limitação não pode ser uma substância material”,

atribuindo antes ao movimento a explicação dos fenómenos observados. Thompson praticamente elimina o *calórico* e preconiza os fundamentos do **1º Princípio da Termodinâmica...**

Davy, professor na Royal Institution de Londres (cujos trabalhos científicos levaram-no ao título de Sir), publicou igualmente os resultados de experiências, baseadas também na fricção, concluindo em 1812 que “*a causa imediata dos fenómenos caloríficos é o movimento*”. Contudo nem as conclusões de Rumford nem as de Davy, foram suficientes para demover os partidários do *calórico* como calor-substância.

O próprio genial Sadi CARNOT (1796-1832), chegou a utilizar a linguagem do *calórico*, como entidade material, nos seus primeiros textos. Ao formular em 1824, em “*Reflexion sur la Puissance Motrice du Feu*”, o que viria a constituir o **2º Princípio da Termodinâmica**, considera que uma potência motriz (trabalho) unicamente pode ser produzida numa máquina por uma “*queda de calórico*” de um corpo quente para um corpo frio. No entanto pela leitura dos seus escritos verifica-se que esse conceito merecia-lhe reservas, mas hesitando em contestá-la frontalmente, propunha a realização de ensaios que esclarecessem a sua natureza. Reconheceu posteriormente (em trabalhos que não chegaram a se publicados em vida¹⁹), o erro do conceito de *calórico*.

¹⁹ O malogrado Léonard Nicolas Sadi Carnot (1796-1832) foi ceifado pela cólera aos 36 anos, e, em virtude do tipo de doença, a maioria dos seus

Porém, ao desenvolvimento e evolução da Física no que se refere ao verdadeiro conceito do calor e à sua equivalência ao trabalho, foram estranhas as contribuições desse genial cientista, uma vez que só depois dos trabalhos de Joule e Mayer, que a seguir se descrevem, vieram a ser conhecidos os de Carnot²⁰.

Joule, depois de uma investigação mal sucedida no campo do electromagnetismo, dedicou-se a estudar, por meio de longas séries de experiências, as relações entre o trabalho e diferentes formas de energia. De início, tinha então 23 anos, estudou as relações entre a electricidade e o calor, de que resultou a conhecida *Lei de Joule*, tendo depois desenvolvido a clássica experiência na qual demonstrou que o trabalho se converte em calor. Essa experiência, hoje já clássica e bem conhecida dos alunos das escolas secundárias, consistiu em agitar um sistema mecânico com pás num recipiente com água, verificando que a temperatura desta aumentava, tendo medido esse aumento, o que lhe permitiu determinar o **equivalente calorífico do trabalho**.

Joule, que não tinha ainda 30 anos tornou-se famoso com esse trabalho, merecendo que o seu nome fosse dado à unidade de energia²¹.

Deve-se no entanto a Mayer, em 1840, o primeiro enunciado claro da equivalência entre calor e trabalho, e uma precisa determinação do **equivalente mecânico do calor**, dando os passos finais no sentido de uma correcta interpretação do calor. O **Primeiro Princípio da Termodinâmica**, que traduz essa equivalência é hoje também conhecido por **Princípio de Mayer**.

Todavia, como o seu trabalho fora realizado a partir de observações médicas, e não num laboratório de física, foi de início amplamente ignorado pela comunidade científica, não lhe reconhecendo credibilidade, embora tenha sido publicado numa revista de mérito (os “*Annales der Chemie*”), em 1842.. Isso levou o seu autor a uma profunda depressão e à tentativa de suicídio. Tinha pouco mais de 30 anos...

Só muito mais tarde as teorias de Mayer vieram a ser reconhecidas, graças a Rudolf Clausius.

Mas por essa altura havia surgido uma disputa, sobre a prioridade das descobertas de Joule e Mayer, disputa de contornos mais nacionalistas que científicos, uma vez que as pátrias dos dois cientistas se rivalizavam politicamente.

Em plena revolução industrial os cientistas e projectistas de máquinas tinham aderido incondicionalmente ao **Princípio de Carnot**, embora alicerçado, como atrás referido, no

manuscritos, que infelizmente não tinham ainda sido publicados, foram queimados juntamente com os seus haveres pessoais. As poucas páginas que lograram salvar-se dão conta da grandeza do seu trabalho e do que ainda poderia fazer. A sua obra ficou ignorada até 1834, ano em que Clapeyron a comenta e acrescenta-lhe a formalização analítica. Mas só em 1848 Lorde Kelvin chamou a atenção do mundo científico para esse fundamental trabalho.

²⁰ O que não o impede de poder ser considerado o verdadeiro fundador da Termodinâmica, como é justo.

²¹ Joule realizou também posteriores estudos sobre a dinâmica dos gases, sendo eleito membro da Royal Society em 1850.

conceito de *calórico*. Clausius estava consciente da veracidade do princípio, mas considerava que o “fluido calórico” seria na realidade uma energia.

Num monumental trabalho iniciado em 1850, Clausius teorizou que o calor e o trabalho não eram mais que duas vertentes de um único fenómeno que viria a ser denominado *energia*, o que significava que uma unidade de trabalho podia ser convertida numa unidade de calor sem afectar a energia total do universo que permanecia constante. Esse conceito inovador, abrangendo todas as formas de energia, veio a ser designado por *Princípio da Conservação da Energia – num sistema isolado a energia total permanece constante quaisquer que sejam as transformações sofridas pelo sistema*.

O *calórico* foi assim o mais efémero dos conceitos aqui abordados. Foi influente em grande parte do séc. XVIII, mas nos finais da década de 1790 já era óbvio que se tornara muito controverso e em meados do séc. XIX passara à História...

Em 1921 o físico alemão Max BORN (1882-1970), ao formular um novo enunciado do *1º Princípio da Termodinâmica*, estabeleceu uma definição precisa de quantidade de calor, que resulta da energia cinética global das moléculas de um corpo.

3. O “ÉTER”, SÓ ETERNO PARA OS POETAS

O conceito de *éter* tem vindo a evoluir na semântica filosófica e nos princípios físicos, desde a Antiguidade até aos nossos dias, deparando-se com duas questões fundamentais – a da sua existência e a da sua natureza.

Muitos filósofos da Antiguidade insistiram na necessidade de postular a existência de um meio intangível que preenchesse o Universo. O nome *éter* provem então dos escritos desses eruditos, tendo origem nos termos latino *aesthere* e grego *aither*.

Alguns filósofos admitiram mesmo a existência de diversos *éteres*, cada um ocupando determinada região do universo. Para os filósofos gregos o elemento *éter* seria a substância subtil dos corpos celestes, o *5º elemento*, mais sublime que os quatro dos corpos terrestres a que atrás fizemos alusão. EMPÉDOCLES, PITÁGORAS, PLATÃO, ANAXÁGORAS e ARISTÓTELES dedicaram a esse conceito muito das suas especulações filosóficas. Aristóteles, por exemplo, considera-o “*substância divina e incorruptível do céu e das estrelas*” acentuando: “*a terra está no ar, o ar está no éter e o éter no céu...*”. Na Idade Média S. Tomás de AQUINO e os escolásticos, receando divinizar a natureza dos corpos celestes, evitam o termo *éter*, preferindo “*substância sublime e luminosa*”. Os nossos filósofos Conimbricenses,²² reduzem-no ao quarto elemento, o “*fogo subtil*”.

²² Filósofos que seguiam o curso de sistematização da filosofia da autoria de mestres jesuítas do Colégio das Artes de Coimbra, publicado entre os finais do séc. XVI e o início do seguinte.

A partir do séc. XVII, com o desenvolvimento de conceitos mais precisos da Física, o hipotético “*éter*” passou a constituir um fluido que permearia todo o espaço e inclusivamente preencheria os interstícios da matéria, servindo para suporte da transmissão das forças gravítica, eléctrica, e magnética exercidas à distância por um corpo sobre outro, ou de condução da luz. Em relação a este último aspecto é que se produziram maiores teorias, debates e controvérsias, sobre a necessidade da existência desse meio etéreo.

Efectivamente o espaço tem sido tradicionalmente concebido como uma imutável e passiva parte do universo, não afectando nem sendo afectado pelas transformações dinâmicas ocorridas nos componentes materiais desse universo. Consequentemente tornou-se necessária a assunção da existência de um meio mais activo, preenchendo todo o espaço e tomando parte activa no movimento e outros fenómenos ocorridos no universo.

Por outro lado, a natureza da luz foi sempre, ao longo da evolução do conhecimento científico, objecto das mais diversas especulações e controvérsias. Passando por cima das divagações filosóficas da Antiguidade e da Idade Média, apontamos os nomes de René DESCARTES (1596-1650), Isaac NEWTON (1642-1727), Christiaan HUYGENS (1629-1690), Robert HOOKE (1635-1703), Thomas YOUNG (1773-1829), Augustin-Jean FRESNEL (1788-1727), Dominique François Jean ARAGO (1786-1853), James Clerk MAXWELL (1831-1879), até Albert EINSTEIN (1879-1955), entre muitos outros, que abordaram o problema da luz, atribuindo-a quer uma natureza corpuscular quer ondulatória.

Deve-se frisar desde já que o que realmente interessava e preocupava os cientistas era a complexidade da natureza de luz e o seu modo de propagação; a existência do *éter* vinha como corolário, não sendo mais que o meio necessário à propagação da luz; consequentemente as diversas “nuances” do conceito de *éter* evoluíram basicamente em função dos conceitos atribuídos à luz. Assim, os modelos utilizados para definir a estrutura íntima do *éter* apresentam grande diversidade. O tratamento matemático é no entanto muito mais avançado que os dos dois fluidos anteriormente descritos, conduzindo a diversas formalizações analíticas.

Mas por razões óbvias, não se abordará neste artigo, senão no essencial, o longo, agitado e controverso desenvolvimento das teorias sobre as naturezas da luz e do éter. Do mesmo modo só se fará referencia aos mais importantes cientistas intervenientes no tema, deixando de fora muitíssimos outros que embora em menor escala nele participaram. Ir-se-á portanto historiar a evolução do conceito de “*éter*”, a partir do séc. XVII, em vários períodos.²³

²³ Em Química designa-se por *Éter* uma classe de compostos orgânicos com a fórmula genérica R-O-R', onde O é naturalmente o átomo de oxigénio, ligado a dois radicais, R e R', grupos alquilo ou arilo. O termo *éter* parece ter sido aplicado em 1730 por F.G. Frobenius a produto usado em farmácia, chamando-o *spiritus aethereus* ou *vini vitriolatus*, donde se presume que a aplicação do termo seja devido à extrema volatilidade do produto, parecendo associar-se ao “*éter*” físico que aqui estamos tratando.

3.1 Séc. XVII – de Descartes a Newton, Huygens e Hooke

A partir do séc. XVII os físicos postulam a existência do *éter* como um meio mecânico elástico para explicar os fenómenos ópticos e magnéticos e eléctricos.

O filósofo e matemático francês René Descartes, por volta de 1638, defendeu a ideia do *éter* como um simples meio subtil e penetrante, o que veio a exercer uma influência dominante em todas as posteriores teorias sobre o mesmo tema.

A principal característica da cosmologia cartesiana é a sua rejeição da *acção-à-distância*, defendendo que as forças actuariam unicamente por contacto. A luz e o calor eram formas de pressão transmitidas instantaneamente, e por conseguinte a luz e o calor do Sol só poderiam actuar sobre a Terra, assumindo-se que o espaço entre os dois astros seria forçosamente preenchido por qualquer forma de matéria – o imperceptível *éter*. Assim Descartes retirava à luz qualquer natureza material, exigindo porém um meio elástico, o *éter*, para se transmitir.

A teoria da luz de Descartes evoluiu em vários aspectos. Para Isaac Newton, a luz era de natureza *corpúscular*. A sua explicação da reflexão e refacção da luz, algo confusa, baseia-se fundamentalmente nesse meio etéreo. Por um lado parece opor-se à ideia do *éter* que entravaria a marcha dos planetas, mas propósito da experiência dita dos “*aneis de Newton*”, parece afirmar o contrário²⁴.

Christiaan Huygens e Robert Hooke, contrapuseram-lhe, a *teoria ondulatória*. Ao conceberem a hipótese ondulatória da luz, admitiram igualmente a existência de uma substância material, subtil e elástica, formado por partículas em contacto, preenchendo todo o espaço vazio e impregnando todas as coisas nele mergulhadas. Comparam então a luz com o som, resultante das vibrações do ar.

Quando se fala da *teoria ondulatória* da luz é o nome de Huygens que vem ao de cima, esquecendo-se sistematicamente de Hooke. Efectivamente Huyghen foi o primeiro a propô-la (1690). Mas é preciso destacar que, contrariamente a Huygens, que considerava as vibrações longitudinais, Hooke de modo genial defendia a transversalidade das mesmas, o que mais tarde se comprovou (ver adiante - Fresnel). Em memória apresentada à Royal Society afirma:

“*O movimento da luz, quando produzido num meio homogéneo, propaga-se por impulsos ou onda simples, de forma constante, perpendiculares à direcção de propagação*”.

Um dos argumentos de Newton para rejeitar a teoria ondulatória foi o facto de não admitir um éter com vibrações transversais. Hooke e Newton envolveram-se, como se sabe, em longas e agressivas controvérsias sobre diversos temas da Física, nomeadamente a Óptica. Mercê do seu prestígio a

plêiade dos seus adeptos de Newton não cessou de aumentar.

O conceito de *éter* também preocupou os filósofos. O alemão Immanuel KANT (1724-1804), por exemplo, no seu “*Princípios Metafísicos da Ciência da Natureza*”, publicado em 1786, considera que a matéria de um corpo que preenche um espaço se opõe à invasão da matéria circundante, contrariando-lhe o movimento. Assim o vazio não poderá existir em nenhuma região do espaço, porquanto seria invadido pela matéria circundante. Uma matéria subtil, o *éter*, preencherá então todo o espaço.

3.2 Séc. XIX (1ª metade) – Young, Fresnel e Arago

O primeiro triunfo da *teoria ondulatória* da luz surge com os trabalhos de Young, no início do séc. XIX, seguido uma década depois, pelos de Fresnel, sobre a difracção, fenómeno para o qual os adeptos da teoria corpuscular não tinham uma explicação satisfatória. Young e Fresnel completam assim o triunfo da teoria ondulatória, aniquilando o dogma newtoniano da emissão corpuscular.

Em 1802 Young retoma a experiência dos “*anéis de Newton*”, e interpretando os resultados, admite a luz como um fenómeno periódico, uma vibração do *éter*.

Fresnel, convicto da veracidade da concepção ondulatória, efectuou importantes trabalhos no campo dessa teoria, e manteve a ideia da luz como uma vibração do éter. Consagrou-se entre 1815 e 1819 a esclarecer a difracção. Retoma os trabalhos de Young, seguindo a sugestão de Arago, e explica a polarização da luz demonstrando que só a teoria ondulatória poderia explicar o fenómeno da interferência, supondo de início a luz como vibração longitudinal. Em 1817 em concurso para a Academia de Ciências de Paris, havia apresenta parte dos seus trabalhos que foram muito contestados, só dois anos depois sendo aceites.

Em 1818, num rasgo de génio, Fresnel assegura teórica e experimentalmente, que a concepção ondulatória está só por si habilitada a explicar todos os fenómenos luminosos observados. Acrescenta ainda a comprovação da *transversalidade das vibrações luminosas*. Em 1821, Fresnel e Arago num trabalho conjunto fizeram experiências confirmando que a luz polarizada tem propriedades só explicáveis admitindo essa transversalidade.

Fresnel merece efectivamente a glória de ter provado o carácter transversal das vibrações luminosas, mas dever-se-á aqui recordar o génio de Robert Hooke, sempre esquecido²⁵, que, mais de um século e meio antes já havia defendido essa transversalidade, contrariando Huygens que defendendo com ele a teoria ondulatória, optava por ondas longitudinais.

Contudo essa magnífica conclusão suscitava uma dúvida sobre qual o meio que vibrando dava origem à onda transversal. Fresnel então retomou a existência desse meio subtil, o *éter*, que serviria de suporte à propagação.

²⁴ Ver por exemplo “*História da Física*” de Robert Locqueneux, citado na bibliografia.

²⁵ Convida-se o leitor a ler neste mesmo número da Revista o artigo “*Quem Tramou Robert Hooke*”, da mesma autoria.

Mas um fluido é incapaz de transmitir ondas transversais. Para explicar o carácter transversal das vibrações era preciso definir o *éter* como um *sólido totalmente rígido*, mas que não podia deixar de ser também um *fluido tão subtil que não oferecia praticamente qualquer resistência ao movimento dos planetas...* ou seja esse enigmático meio, precisava de possuir as seguintes propriedades; total imobilidade, rigidez comparável a de um corpo sólido, imponderabilidade, invisibilidade, e simultaneamente não poder ser detectado por qualquer tipo de instrumento...

Nessa nova versão o *éter* não é consequentemente um mero suporte mecânico; é bem mais complexo e misterioso, apresentando facetas contraditórias: simultaneamente rígido como o aço, para vibrar e ser portador de ondas transversais, e subtilmente fluido não perturbando o movimento dos corpos e partículas nele mergulhados!!!

Fresnel, com base nesse conceito de *éter*, chegou a prever um fenómeno que só pode ser demonstrado depois da sua morte – o do *arrastamento parcial do éter* por um meio refringente em movimento.

3.3 Séc. XIX (2ª metade) – Maxwell e a Teoria Electromagnética

Em meados do séc. XIX já estava perfeitamente estabelecido que a natureza da luz era a de uma onda transversal. Persistiam no entanto dúvida sobre a substância transmissora da energia de onda através do espaço vazio, como por exemplo a luz do sol,

Haveria então uma única solução para a teoria ondulatória, que no entanto não deixava de causar enorme perplexidade. Acreditando numa visão mecânica da natureza, mesmo os físicos de renome desse período não viram outra solução senão a de admitir a existência de um meio misterioso, o *éter*, permeando todo o Universo e preenchendo os interstícios da matéria. Seria então esse o ambiente transmissor das ondas luminosas. Continha naturalmente alguns elementos contraditórios (como atrás se frisou) – por várias razões físicas respeitáveis seria necessário que o *éter* fosse absolutamente imóvel, sem peso, invisível, mas que simultaneamente possuísse uma rigidez superior à do aço além de não poder ser detectado por instrumento algum. (!).

Entretanto, físico escocês James Maxwell, desenvolveu matematicamente o verdadeiro conceito de radiação electromagnética determinando o sistema de equações fundamentais ao qual o seu nome ficará para sempre ligado. As “*Equações de Maxwell*” apresentadas em 1873 no seu famoso “*Treatise on Electricity and Magnetism*”, culminam décadas de estudo neste campo,²⁶ e formalizam as noções dos campos eléctrico (E) e magnético (H), cuja forma geométrica é a onda electromagnética.

Mas Maxwell e seus seguidores consideraram inconcebível a possibilidade da onda se propagar no espaço vazio. Voltaram então a admitir o meio chamado *éter* que materializa o espaço vazio dos campos e transmite as vibrações electromagnéticas. Mais precisamente o campo seria um estado de tensão desse *éter* e as ondas electromagnéticas transversais as suas oscilações rápidas provocadas pelas variações alternadas de E e H.

Portanto o “*éter luminífero*”, com comportamento *electrodinâmico* proposto por Maxwell, como meio adequado para a propagação dos fenómenos electromagnéticos, sem perturbar o seu movimento, é igualmente um modelo mecânico – simultaneamente infinitamente rígido e infinitamente elástico, uma entidade totalmente diferente de tudo o mais, matéria uniforme e homogénea, não dividida em partículas, que impregnaria todo o universo.

Mais uma vez a admissão de uma substância com essas características, revelava-se altamente artificial e anti-natural, que longe de resolver dificuldades as tornava ainda maiores.

A hipótese de a luz ser uma vibração electromagnética levava naturalmente ao abandono da hipótese de Fresnel de uma luz originada na vibração do *éter*, embora o conceito de *éter* em si é que não poderia ser bruscamente posto de lado.

3.4 A famosa experiência Michelson-Morley (1887)

Durante grande parte do séc. XIX a hipótese do *éter* foi sendo aceite, embora surgissem divergências quanto às suas propriedades, mas já nas últimas décadas sofreria um abalo com a conhecida “*Experiência Michelson-Morley*”, preparada especificamente para determinar o movimento da Terra em relação àquele hipotético meio.

A ideia unânime era de que o sol e as estrelas estariam fixos no *éter*, e este por sua vez, fixo no espaço absoluto, o que frequentemente levava à confusão entre um e outro. Deste modo o movimento da Terra atravessando o *éter*, deveria provocar um *vento de éter* que modificaria a velocidade da luz. Para comprovar este fenómeno diversas experiências foram tentadas.

A mais conhecida, e celebrada é a experiência realizada em 1887 por Albert Abraham MICHELSON (1852-1931) físico americano, em colaboração com Edward Williams MORLEY (1838-1923) químico inglês, e na qual se fez uma tentativa para medir a velocidade da Terra em relação ao *éter*. Propunha-se então comparar a velocidade da luz medida nas direcções paralela e perpendicular à suposta esteira criada pelo movimento da Terra em relação ao *éter*.²⁷

Não obstante as medições terem sido realizadas com elevado grau de precisão, a comprovação desse *vento de éter* revelou-

²⁶ Maxwell deverá ser considerado um dos maiores génios das ciências; com a sua teoria do electromagnetismo previu matematicamente a existência de ondas com comprimentos de onda muito superiores às da luz visível, que foram confirmadas experimentalmente em 1888 pelo físico alemão Heinrich Hertz, constituindo as ondas de rádio ou ondas hertzianas.

²⁷ Para não alongar o texto deste artigo, dispensa-se a descrição dessa famosa experiência, que o leitor poderá encontrar por exemplo em John Gribbin ou Michael Guillen, ambos referenciados na bibliografia. Notar que essa experiência não tinha por finalidade a determinação da velocidade da luz, mas verificar que essa velocidade é a mesma em qualquer direcção. Mais tarde em 1926 Michelson determinou com grande precisão a velocidade da luz.. Michelson recebeu o Prémio Nobel de Física em 1907, sendo o primeiro americano a recebê-lo.

se impossível, e deste modo a decisiva experiência, ficou célebre pelo seu carácter negativo “*provavelmente o resultado negativo mais famoso de toda a história da Física*”, como alguém a designou. Ela provou que não existia qualquer indício de que a Terra se movesse em relação ao éter imóvel (referencial absoluto), concluindo-se então que o *éter* ou seria arrastado completamente pelos corpos em movimento ou não existia, o que seria mais provável. Este facto perturbador abriu uma grande crise na história da Física.

3.5 Séc. XX – Einstein e a Teoria da Relatividade

A partir do séc. XX as críticas oponentes foram ganhando volume, pois verificava-se a não necessidade desse fluido para a explicação dos fenómenos citados. Um restrito número de cientistas manteve-se, no entanto, ligado aos antigos conceitos, invocando que de outro modo surgiam dificuldades quanto ao conceito de *acção-à-distância*.

Mas com a sua *Teoria da Relatividade* Einstein demonstrou que as propriedades atribuídas ao *éter* podiam igualmente ser imputadas ao novo conceito de *espaço-tempo*.

Consequentemente a nova teoria passou a defender que o campo electromagnético das equações de Maxwell, é uma entidade em si mesma que se propaga no espaço vazio, e consequentemente não impõe a existência do *éter*.

Da concepção original do espaço passivo e *éter* dinâmico evoluciona-se gradualmente para a presente concepção do *espaço-tempo* dinâmico.

E quanto à natureza da luz? Depois de Fresnel, como se viu, parecia não haver razões para por em causa a natureza puramente ondulatória da luz. Acontece porém que nos inícios do séc. XX, descobriram-se novos fenómenos que só por intermédio da concepção corpuscular, já posta de parte, poderiam ser convenientemente explicados. Entre esses fenómenos destacou-se o *efeito foto-eléctrico*. Foi Einstein que reflectindo sobre o insólito problema, chegou à conclusão de que, pelo menos dentro de certa medida, seria necessário retomar à hipótese corpuscular, o que pôs a comunidade científica no âmbito da física perante uma situação algo embaraçosa. Então única maneira de ultrapassar essa dificuldade seria a de admitir como simultaneamente válidos os dois aspectos do comportamento da luz!

Concebido na Antiguidade, reavivado por Descartes e apoiado sucessivamente por uma plêiade de grandes físicos, o *éter* adquiriu na Física, até meados do séc XIX uma posição fulcral para explicar a propagação da luz no espaço vazio. Mas nunca foi fisicamente detectado. A experiência Michelson-Morley deu uma machadada mortal nessa crença. Não havia portanto nenhuma evidência da existência do *éter*.

No séc. XX Einstein pronunciou-se definitivamente contra a existência do *éter*. Tanto a sua *Teoria da Relatividade Restrita* e como a *Teoria da Relatividade Generalizada* postulando a constância da velocidade da luz, em todas as direcções e a sua independência do movimento da fonte luminosa, e a introdução do conceito de *espaço-tempo*, tornam dispensável a existência do *éter*.

Em “*A evolução da Física – de Newton à Teoria dos Quanta*”,²⁸ que escreveu com Leopold ENFIELD, afirma categoricamente:

“*Todas as suposições relativas ao éter não conduziram a nada; a experiência vetou-as todas. Olhando para trás vemos que o éter, logo após ter nascido, se tornou o “enfant terrible” do clã das substâncias físicas. Primeiramente a construção de uma imagem mecânica do éter revelou-se impossível, sendo abandonada. Isso foi em grande parte a causa do desmoronamento da teoria mecanicista [...]. O éter não revelou a sua estrutura mecânica nem revelou o movimento absoluto. Nada ficou de todas as propriedades do éter, salvo aquela para que fora inventado: a capacidade de transmitir as ondas electromagnéticas. As tentativas para descobrir as suas propriedades levaram a dificuldades e contradições. Depois desta odisseia, chegou o momento de esquecermos o éter e de nem sequer lhe pronunciarmos mais o nome. Devemos dizer: o espaço tem a propriedade de transmitir ondas, evitando deste modo a enunciação de uma palavra morta*”.

* * *

A neblina etérea, quintessência que durante mais de dois milénios ofuscara o Universo perante os sensores da Ciência, desaparecera finalmente!

Mas a natureza dessa intrigante substância influiu e continua a influir tanto nos conceitos do nosso dia-a-dia, que as palavras *éter* e *etéreo* e outras derivadas ultrapassaram o sentido original, passando também a usar-se, sobretudo na linguagem poética e teológica, como sinónimos de algo puro, delicado, sublime, celestial, diáfano. Delas derivam (do latim *aetheriu*) os termos *eterno*, *eternidade*, *eterizar* (desvanecer-se).

Se para os cientistas o *éter* é para esquecer, como bem propõe Einstein, não deverá sê-lo, felizmente, para os poetas, que constantemente o evocam. A Poesia tem o direito de sonhar!

Recordemos então, para amenizar um pouco a leitura deste já longo artigo, dois grandes cultores da poesia.

Do nosso imortal Luís de CAMÕES as quadras iniciais de um dos mais belos dos seus sonetos:

“*Alma minha gentil que te partiste
Tão cedo desta vida descontente,
Repousa lá no céu eternamente
E viva eu cá na terra sempre triste.*”

“*Se lá no assento etéreo onde subiste,
Memória desta vida se consente,
Não te esqueças daquele amor ardente
Que já nos olhos meus tão puro viste*”.

²⁸ Ver Bibliografia deste artigo

E do grande poeta brasileiro António Gonçalves DIAS²⁹:

*"Solta-se a alma das prisões terrenas
Embalada num éter deleitoso
Como Alcíone nas águas adormecida...."*

CONCLUSÃO – HISTORAR É PRECISO ...

As mudanças básicas ocorridas em todas as ciências, nomeadamente a Física, a Química e ciências afins, vão frequentemente de encontro a modos de pensar firmemente enraizados, dificilmente admitindo contestação e constituindo densas barreiras epistemológicas.

Há sempre uma inércia que contraria o aparecimento de teorias que contrapõem às rigidamente estabelecidas. Temos como exemplo mais gritante o abandono das teorias geocêntricas (embora neste caso também tivessem prevalecido princípios religiosos demasiado retrógrados).

Esses factos foram mais marcantes enquanto a atitude teórica, ou melhor, especulativa, prevalecia sobre o conhecimento experimental. Foi gradualmente, no seguimento de Francis BACON (1561-1626) com o seu "*Novum Organum*", preconizando a atitude experimental na investigação científica, que se verificou o interesse pela medição e quantificação dos fenómenos, bem como a apreciação dos erros, reconhecendo simultaneamente as condições a que uma teoria deveria satisfazer para ser aceite ou preferida a outra.

No âmbito da Física, a revolução científica de 1550 a 1750, marcou o início dessa nova atitude. Boyle, Pascal, Hooke, Newton, Torricelli., entre outros, surgem como expoentes dessa mentalidade. Na Química (que se estabeleceu como ciência bastante mais tarde), podemos apontar os nomes de Black e Lavoisier, como os mentores de novos avanços, (embora, como se viu, não tivessem deixado, pelo menos, pontualmente, de seguir também teorias erradas).

No entanto, também se deve reconhecer que, como afirma o Prof. Amorim da Costa, ideias que hoje se revelam à saciedade como absurdas, foram noutras épocas tidas como plausíveis, e muitos erros de antanho foram os reais indicadores dos verdadeiros caminhos por onde veio a enveredar-se posteriormente.

"Muitos erros do passado estavam muito mais prenhes de inteligência que muitas ideias absolutamente correctas e exactas que se lhes seguiram".

No presente artigo foram abordados três casos exemplares de conceitos criados pela Física e pela Química, que a despeito de hoje não serem válidos, não deixaram, em dado momento, de dar contributo importante à ciência. Pergunta-se então:

"Devemos julgar uma teoria científica apenas à luz da sua eficácia ou devemos esperar dela a indicação sobre a própria estrutura do real?"

²⁹ Gonçalves Dias (1823-1864), um dos maiores poetas brasileiros, de profunda inspiração lírica, nasceu no Maranhão, mas estudou em Portugal, formando-se em Direito na Universidade de Coimbra. Aqui compôs algumas das suas melhores obras, sendo admirado pelo nosso Herculano.

A Ciência é na realidade uma entidade que anda muitas vezes para a frente e para trás, nem sempre progredindo do modo racional, lógico e nobre que tendemos a idealizar, mas acabando por evoluir em saltos e tropeços, em direcção à perfeição. A sua história está repleta desses casos.

O ilustre filósofo racionalista austríaco Karl POPPER (1902- 1994) na sua inovadora obra prima, "*A Lógica da Descoberta Científica*", publicada em 1934, ataca o progresso científico baseado no método indutivo, não aceitando ser adequado inferir-se leis universais a partir

de um número finito de observações particulares e acentua que por muito numerosas que possam ser as verificações de uma teoria, elas não permitem concluir a sua veracidade, pois um só facto que não a respeite poderá ser suficiente para a condenar. Como racionalista Popper leva muito longe a análise dos *limites do possível* da investigação científica, refutando a existência de experiências *cruciais* como elementos de prova de uma teoria, considerando-as aceitáveis apenas como refutadoras de outra ou outras que o facto experimental contraria. Popper chegou mesmo a sugerir que talvez não haja uma teoria definitiva para a física, pelo que, cada explicação que se encontrasse precisaria sempre de outra explicação, produzindo-se assim uma cadeia infinita de mais e mais princípios fundamentais.

Por seu lado o filósofo e historiador da ciência americano Thomas Samuel KUHN (1922-1996), que foi professor no MIT, atribui em "*A Estrutura das Revoluções Científicas*", de 1962, considerado um dos livros mais influentes do séc. XX, a aceitação de teorias sobretudo a atitudes sociais e psicológicas, defendendo que a história das ciências não se alicerça no confronto entre teorias, mas nas relações de cada teoria com o seu contexto e no seu poder explicativo.

De Herbert BUTERFIELD, temos essa afirmação de 1965, citada por Amorim da Costa:

"A História lembra-nos as complicações subjacentes às nossas certezas e mostra-nos que todos os nossos juízos são meramente relativos, sujeitos ao tempo e circunstância"

Para terminar, refira-se a Einstein. Como muitos outros gigantes da Ciência, desenvolveu a sua própria visão de como a história da física deveria ser apresentada, afirmando que é missão da história das ciências reconstituir os conceitos e princípios exemplares que sirvam para a estruturação do desenvolvimento da ciência. Da sua voz inquestionável, ouvimos:

"Quase todos os grandes avanços da ciência decorrem de uma crise da teoria antiga e do esforço para resolver as dificuldades criadas. Temos de analisar velhas ideias, velhas teorias, embora sejam coisas do passado, porque é o único meio de compreendermos a importância das novas".

Magister dixit e portanto historiar é preciso!

AGRADECIMENTOS

As referências a K. Popper e a T. S. Kuhn, foram possíveis graças à leitura da magnífica obra “*Os 100 Livros que mais influenciaram a Humanidade*”, de Martin Seymour-Smith, uma história do pensamento dos tempos antigos aos dias de hoje, editada no Brasil e creio que ainda não existente em Portugal, que me foi gentilmente oferecida pelo amigo, colega e nosso consócio na S.P.M., Prof. Celso Pinto PEREIRA, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de S. Paulo, pólo de Guarantiguetá, Brasil. A leitura estimulante desse livro e os conhecimentos que dele absorvi, obrigam-me a expressar aqui os meus agradecimentos ao estimado amigo e colega Celso Pereira.

BIBLIOGRAFIA

- Carvalho, Rómulo de, “*Que é a Física*”, Arcádia, s/ data.
- Costa, A. M. Amorim, “*Introdução à História e Filosofia das Ciências*”, ed. Europa-América, 1986.
- Dampler, William C. “*História da Ciência*”, IBRASA, S.Paulo, 1986
- Einstein, Albert e Infeld, Leopold , “*A Evolução da Física, de Newton à Teoria dos Quanta*” , Livros do Brasil, 1977.
- Gavroglu, Kostas, “*O passado das Ciências como História*”, Porto Editora, 2007,
- Gibert, Armand “*Origens Históricas da Física Moderna*” ed. Fundação C. Gulbenkian, 1982 .
- Gonçalves-Maia, Raquel, “*Uma viagem na História da Ciência*”, Escolar Editora, 2006.
- Gribbin, John, “*Science – A History 1543-2001*” Penguin Books, Londres, 2002.
- Guillen Michael “*Cinco Equações que Mudaram o Mundo*”, Gradiva, 1998.
- Hall, A. Rupert, “*The Revolution in Science 1500-1750*”, Longman, 1983.
- Hankins, Thomas L., “*Ciência e Iluminismo*”, Porto Editora, 2002.
- Locqueneux, Robert, “*História da Física*”, Europa-América, 1989.
- Rezende, Lisa, “*Chronology of Science*”, Checkmark Books, N. Y., 2007.
- Seymour-Smith, Martin “*Os 100 Livros que Mais Influenciaram a Humanidade*”, Difel, Rio de Janeiro, 2002.
- *British Encyclopedia*, Ed. Univ. Chicago, 2005,
- *Enciclopédia Larousse*, Ed. Temas e Debates, 2007.
- *Enciclopédia Verbo*, Ed. Verbo, Lisboa, 2006.