

# MICHAEL FARADAY

1791-1867



Carlos Fernandes e Moisés Piedade

*There is no better, there is no more open door by which you can enter into the study of science than by considering the physical phenomena of a candle...*

Handwritten signature of Michael Faraday.

Esta é uma história que poderia servir de base a uma obra do mundo da fantasia ficcional. É no entanto a história real de como, a partir de uma origem modesta, se chega a um dos maiores cientistas de todos os tempos.

## Os primeiros anos

Michael Faraday nasceu no seio de uma família humilde a 22 de setembro de 1791 em Newington, uma aldeia nos arredores meridionais de Londres e que hoje se situa no município de Southpark, uma zona do centro-sul da capital britânica.

Em plena Revolução Industrial e como resultado dos seus efeitos, os seus pais tinham migrado do norte de Inglaterra, no início de 1791, para uma zona mais perto de Londres, onde as condições que pudessem oferecer aos seus filhos fossem à partida mais favoráveis.

Terceiro de quatro filhos de um modesto ferreiro de Yorkshire, Michael Faraday teve uma educação muito marcada pela formação religiosa de seu pai e pelo carácter de sua mãe, que sempre procurou proteger emocionalmente os seus filhos, criados num contexto de infância muito difícil. O pai, John Faraday, estava frequentemente doente e incapaz de trabalhar de uma forma estável.

A família Faraday pertencia a uma pequena seita cristã, chamada *Sandemanians*<sup>1</sup>, que foi a base espiritual de Faraday e que haveria de influenciar o modo como se relacionou com a natureza ao longo da sua vida.

Depois de ter saído da escola primária, Faraday começou a trabalhar aos 13 anos. Foi inicialmente aprendiz e, imediatamente a seguir, aprendiz de encadernador do livreiro George Riebau.

Durante este período da sua vida, Faraday reunia-se com um grupo de amigos em sessões que funcionavam como um fórum de discussão de ideias. Gastava as suas poucas economias na compra de livros científicos e realizava experiências baseadas no que lia.

Com um dos seus amigos mais chegados, Benjamin Abbott, comungava o seu gosto pelas experiências químicas. Assim, conseguiu fabricar uma máquina eletrostática tendo por base uma garrafa e bocados de madeira. São conhecidos os conteúdos de várias cartas trocadas entre os dois.

## Vida adulta (1812-1830)

E é na sequência desse seu gosto pela química que, a partir de 1812, Faraday passou a assistir na *Royal Institution* (RI)<sup>2</sup> a palestras do maior cientista inglês da época, Sir Humphry Davy<sup>3</sup>. Graças ao seu carácter eclético, muitos dos bilhetes

---

1. *Sandemanian* (nome original *Glazite*) é a designação de um membro de uma seita cristã fundada em cerca de 1730 na Escócia por John Glas (1695-1773), um ministro presbiteriano na Igreja da Escócia. Robert Sandeman, genro de Glas, foi um líder reconhecido da seita, cujos membros eram chamados *sandemanians* em Inglaterra e na América.

2. A *Royal Institution* (RI) é uma organização de educação científica e de investigação, sediada em Londres (Westminster), desde 1799.

3. Humphry Davy (1778-1829) químico e inventor inglês, considerado o fundador da Eletroquímica. Foi presidente da *Royal Society* e um dos primeiros cientistas de profissão, inventor da primeira lâmpada elétrica, a lâmpada Davy, muito usada pelos mineiros e em iluminações especiais. Em 1812 recebe o título nobiliárquico de Cavaleiro (*Knight*) e em 1818 é agraciado com o título de Barão (*Baronet*), graças aos inúmeros trabalhos científicos da sua autoria.

de ingresso nessas palestras foram-lhe oferecidos pelo seu amigo William Dance, diretor da *Royal Philharmonic Society*, pianista e violinista muito conceituado.

Faraday tirava notas num caderno, que chegou a ter cerca de 300 páginas manuscritas. Tinha 21 anos quando escreveu uma carta a Sir Humphry, pedindo-lhe emprego. Via deste modo a possibilidade de abandonar a profissão que até então exercia apenas por questões de sobrevivência. Faraday anexou à carta o manuscrito onde fez as anotações das conferências a que assistiu, tendo Sir Humphry ficado extremamente surpreendido com a qualidade das mesmas. A resposta não se fez esperar, tendo sido favorável à solicitação de Faraday.

Por coincidência, em 1813, Sir Humphry, que acabara de ser agraciado como Cavaleiro pela rainha Vitória, sofrera um acidente grave numa vista em trabalhos experimentais, e, na sequência desse facto, chamou Faraday para colaborar consigo como assistente no seu laboratório na RI. E assim, por um acaso feliz, Michael Faraday teve uma entrada VIP na RI, começando logo a trabalhar com o apoio do cientista mais respeitado, na altura, no Reino Unido.

Melhor não poderia suceder aos anseios de Faraday, uma vez que Davy tivera um percurso muito similar ao seu. Davy começou em 1797 a dar os primeiros passos na área da Química, pois até essa altura não tinha nem conhecimentos, nem possibilidade de executar trabalhos nesse domínio. Os seus interesses até essa data centravam-se na matemática, na metafísica e na ética. O seu equipamento era rudimentar: frascos, copos de vinho, cadinhos e chávenas de chá. Utilizou ácidos minerais e alcalinos, assim como algumas drogas comuns para as suas experiências. E apesar dos estudos básicos que possuía em química, os seus progressos foram brilhantes e muito rápidos, graças a uma enorme determinação e muita dedicação.

A 18 de Março de 1813 Faraday começou a trabalhar como ajudante de preparador na RI, onde se manteve como assistente de Davy até 1826. No início desta fase da sua vida, a correspondência trocada com o seu amigo Benjamin Abbott evidencia bem o espírito inquieto de Faraday na sua paixão pela via experimental e de análise crítica do observado.

Nesses relatos, Faraday descrevia com uma minúcia impressionante os diversos acidentes ocorridos no laboratório, reafirmando com veemência que, na opção pela via experimental, continuava em frente, aproveitando os meios laboratoriais que finalmente dispunha e as sábias sugestões e ensinamentos de Davy.

*Nothing is so dangerous to the progress of the human mind than to assume that our views of science are ultimate, that there are no mysteries in nature, that our triumphs are complete and that there are no new worlds to conquer*

é uma citação atribuída a Sir Humphry que foi marcante na postura de Faraday ao longo da sua vida como cientista.

A partir de 1814, Faraday acompanhou Sir Humphry Davy e sua mulher numa viagem pela Europa durante 1 ano e meio como assistente do ilustre cientista. Estava aberta a via para a partilha do conhecimento com os grandes cientistas da época, como Ampère, Volta e Gay-Lussac<sup>4</sup>.

Só em 1820, Faraday arranhou um emprego estável na RI e, em 1821, casou-se com Sarah Barnard, passando a viver no sótão desta instituição. Deste modo, não perderia tempo em transportes para chegar da casa ao emprego e poderia dedicar-se com mais intensidade às suas explorações científicas.

Em 1824, Faraday foi eleito membro da *Royal Society*, a Academia das Ciências do Reino Unido e a mais antiga instituição científica nacional do mundo. No ano seguinte, foi nomeado diretor do laboratório dessa instituição. Alguns relatos sugerem que algumas nuvens negras passaram a ensombrar as relações entre os dois cientistas a partir dessa altura até à morte de Sir Humphry Davy em 1829, mostrando que nem tudo era um mar de rosas.

## As contribuições para a Química

Os seus trabalhos iniciais nesta área foram feitos como assistente de Davy na RI. As primeiras experiências foram bastante rudimentares mas influenciaram de forma indelével o *modus vivendi* no mundo atual. Esta afirmação pode ser fundamentada com alguns exemplos que se apresentam nos próximos parágrafos.

Faraday inventou para uso experimental uma forma primária do que viria a ser o “bico de Bunsen”<sup>5</sup>, que tem hoje um uso generalizado nos laboratórios científicos de todo o mundo como uma fonte de calor.

---

4. Louis Joseph **Gay-Lussac** (1778-1850) foi um físico e químico francês. É conhecido sobretudo por ter sido o primeiro a formular a segunda lei dos gases, que estipula que um gás, a pressão constante, se expande proporcionalmente à sua temperatura absoluta.

5. Robert Wilhelm Eberhard von **Bunsen** (1811-1899) famoso químico e professor alemão.

De entre os inúmeros exemplos citados em (Faraday and Crookes (ed.) 1908), ressaltamos o entusiasmo revelado por Faraday na descrição da decomposição do sulfato de magnésio. Ou ainda, o excerto em que Faraday descreve um tipo de comportamento distinto do dos compostos em algumas substâncias, que designa por “corpo único” por se manterem coesas. O facto de o provar por via experimental é de salientar, por constituir uma via alternativa importante ao que lhe estava vedado por outro tipo de abordagens. E o que poderia parecer mais um pormenor no avanço da ciência, foi afinal um passo de gigante quando visto de forma mais abrangente. Mais de cinco décadas depois, Dmitri Mendeleev<sup>6</sup>, designou os “corpos únicos” de Faraday por “elementos” com assento garantido na “assembleia” que constitui a famosa tabela periódica, que em 2019 as Nações Unidas designaram como uma das criações mais importantes no domínio da Ciência.

Pelo caminho vão aparecendo muitos resultados das experiências de Faraday, evidenciando o seu espírito prático e sedento de saber. Por exemplo, ao indicar o uso do éter nos hospitais para provocar anestesia como alternativa aos métodos químicos muito invasivos usados na altura.

Mas Faraday continuava imparável. Na mesma sequência de atividades na área da Química, liquefez gases como o dióxido de carbono e o cloro, por sugestão de Sir Humphry Davy, iniciando estudos que levaram às modernas técnicas de refrigeração muito utilizadas nos dias de hoje.

Outro episódio demonstrativo do seu génio deu-se quando procurava uma alternativa ao gás então utilizado na iluminação pública de Londres. Os seus trabalhos relacionados com este objetivo levaram-no à descoberta da molécula de benzeno em 1825, a partir da benzina, uma mistura de vários hidrocarbonetos. Sendo a base de todos os hidrocarbonetos aromáticos, o benzeno cedo encontrou toda uma plêiade de aplicações associadas ao seu aroma doce e agradável. Mas muitas dessas aplicações foram entretanto deixadas cair, devido ao perigo demonstrado pelo uso do benzeno que é altamente inflamável, tóxico e cancerígeno. Atualmente, beneficiando de um controlo de qualidade na área de produção infinitamente maior, a benzina é usada principalmente para produzir

---

6. Dmitri Ivanovich **Mendeleev** (1834-1907) famoso químico e inventor russo, conhecido por formular a lei periódica e criar uma versão clara da tabela periódica dos elementos, que conduziu à correção de algumas propriedades químicas de elementos conhecidos e previu a descoberta de outros.

outras substâncias químicas de uso frequente como solvente e ainda nos serviços de limpeza a seco, por ser altamente volátil.

Faraday publicou as Leis da Eletrólise. Na primeira lei, segundo Faraday a deposição química devido ao fluxo de corrente através de um eletrólito é diretamente proporcional à quantidade de eletricidade que passa por ela. Na segunda lei, Faraday afirmava que, quando a mesma quantidade de eletricidade passa através de vários eletrólitos, a massa das substâncias depositadas é proporcional ao seu peso equivalente.

Faraday introduziu os conceitos de ânodo e de cátodo, depois de pedir ao seu amigo William Whewell<sup>7</sup> nomes para estas definições que fossem etimologicamente corretos. Através das leis da eletrólise, Faraday quantificou o conceito de massa transportada entre o ânodo e o cátodo. O peso desta contribuição foi tal que, na área da Eletrodeposição, alicerça as leis básicas da galvanoplastia moderna.

Faraday foi pioneiro ao relatar o que mais tarde veio a ser chamado de *nano partículas* metálicas. Passou-se em 1847, quando descobriu que as propriedades óticas dos coloides de ouro diferiam das do metal correspondente. Foi provavelmente a primeira observação relatada dos efeitos do tamanho quântico, e pode ser considerada de certo modo como o nascimento da Nano Ciência.

A sua interminável lista de experiências na Química conduziram-no a pistas de investigação multidirecionais com consequências que, estamos em crer, nem o próprio Faraday imaginaria na altura. Por exemplo, ao investigar as ligas de aço e ao produzir vários novos tipos de vidro muito densos destinados a fins óticos estava a abrir as portas de ligação da Química à Magneto-ótica e ao Magnetismo. A Eletricidade viria por arrasto.

## As pontes entre a Química e o Eletromagnetismo

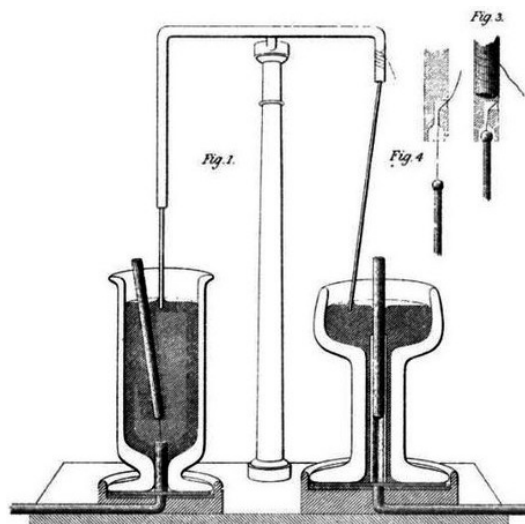
Os primeiros trabalhos de Faraday foram feitos na área da Química, mas os contactos com Volta e Ampère entusiasmaram Faraday para fazer experiências com eletricidade e magnetismo.

---

7. William **Whewell** (1794-1866) foi um Inglês polímata, cientista, padre anglicano, filósofo, teólogo e historiador da ciência. Um dos maiores dons de Whewell para a ciência foi a arte de escrever.

Em 1819, Hans Ørsted mostrou que a corrente elétrica interagiu com uma agulha magnética. Logo em 1820, Ampère quantificou a direção do campo magnético gerado, mas foram os físicos franceses Jean Biot<sup>8</sup> e o seu colega Félix Savart<sup>9</sup> que quantificaram a distribuição espacial do campo magnético gerado por uma corrente elétrica. Segundo eles, o movimento da agulha magnética era explicado por uma força resultante de interação de massas. Só algumas décadas mais tarde, em 1895, Lorentz<sup>10</sup> mostraria que a interação de campos elétricos e magnéticos geram forças sem a presença de massas.

Mas, dando vida aos efeitos verificados e estudados um ou dois anos antes por Ørsted, Ampère, Biot e Savart, o brilhante e intuitivo Faraday, nas suas experiências em 1821, realizou o primeiro motor elétrico capaz de originar movimento rotativo de um condutor através da interação de uma corrente elétrica com um campo magnético.



**Figura 1:** A primeira experiência de Faraday mostrando a transformação de energia eletromagnética em energia mecânica.

8. Jean-Baptiste **Biot** (1774-1862) foi um físico francês que se tornou célebre por descobrir em 1820, juntamente com Félix Savart, a lei básica da magneto-estática (lei de Biot-Savart) que dá o campo magnético produzido por uma corrente elétrica constante.
9. Félix **Savart** (1791-1841) foi um físico e matemático francês, conhecido principalmente pela lei do eletromagnetismo Biot-Savart, que descobriu juntamente com o seu colega Jean-Baptiste Biot. O seu principal interesse era a acústica e o estudo dos corpos vibrantes.
10. Hendrik Antoon **Lorentz** (1853-1928) foi um físico holandês que recebeu o Nobel da Física em 1902 pela sua teoria da radiação eletromagnética. Completando a teoria eletromagnética de Maxwell, permitiu uma explicação mais satisfatória dos fenômenos de reflexão e refração da luz.

No lado direito da Figura 1 pode observar-se um recipiente contendo mercúrio, um metal líquido bom condutor, no centro do qual foi colocado um ímã permanente cilíndrico. Se se fizer passar uma corrente no fio suspenso, a interação entre a corrente e o campo magnético provoca um movimento circular do condutor. Na parte esquerda da mesma figura mostra-se um sistema equivalente em que o fio condutor é fixo e o ímã é móvel, obtendo-se do mesmo modo energia mecânica a partir de uma interação eletromagnética.

Seguramente ainda devido à influência do seu mentor Davy, que é considerado unanimemente o fundador da Eletroquímica, dedicou-se ao estudo da Química Física e, em 1831, descobriu a indução magnética, provocando “forças eletromotrizes” num circuito ligado a um galvanómetro, por influência de interrupções sucessivas de corrente num circuito vizinho que foi obrigado a fazer nas suas experiências. Isto foi o princípio da invenção, ainda em 1831, de um dispositivo revolucionário: o “transformador elétrico”. Este dispositivo permitiu transmitir energia elétrica de uma bobina para outra, eletricamente isolada desta, através de um campo magnético que ligava as duas. Esta descoberta está na base da construção dos modernos transformadores elétricos, máquinas centrais para a implementação das redes de distribuição de energia.

A descoberta da indução magnética foi logo complementada, com os trabalhos de Lenz<sup>11</sup>, que indicavam o sentido da força eletromotriz induzida e, mais de uma década depois, pela formulação matemática atribuída a Franz Neumann<sup>12</sup> em 1845.

Este marco da história do conhecimento científico foi afinal uma consequência natural do seu génio criador e da sua enorme habilidade como experimentalista, mas também fruto de uma admirável intuição, que talvez tenha falhado a Ampère e a Jean-Daniel Colladon<sup>13</sup> nos estudos efetuados neste domínio. Faraday também teve conhecimento das experiências do cientista francês François<sup>14</sup> realizadas em 1825 relatando a interação entre agulhas magnéticas.

---

11. Heinrich Friedrich Emil **Lenz** (1804-1865) foi um físico russo conhecido pela sua formulação da lei que hoje é conhecida pelo seu nome, na área da eletrodinâmica.

12. Franz Ernst **Neumann** (1798-1895) foi um mineralogista, físico e matemático alemão.

13. Jean-Daniel **Colladon** (1802-1893) foi um físico suíço que trabalhou nos laboratórios de Ampère e de Fourier. É recordado por conjuntamente com Sturm ter medido a velocidade de propagação do som.

14. Dominique **François Jean Arago** (1786-1853) foi um físico, astrónomo e político francês. Foi nomeado secretário do Observatório de Paris onde esteve envolvido na medida do meridiano terrestre.



Faraday já sabia criar eletricidade a partir de um campo magnético, e a ideia de construir uma máquina elétrica que transformasse energia mecânica em elétrica já fervilhava na sua brilhante mente. Foi assim, que chegou à construção daquele que é considerado o primeiro gerador eletromecânico: o *disco de Faraday* – que permitiu gerar uma corrente elétrica, fazendo girar um disco de cobre entre os polos de um poderoso íman (Vaz Guedes outubro, 1996), tal como se mostra na Figura 2.

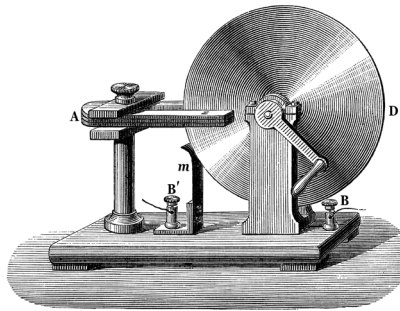


Figura 2: Disco de Faraday.

O ano de 1845 constituiu um período particularmente profícuo na vida de Faraday. Além da descoberta e denominação de uma propriedade apresentada por alguns materiais não magnéticos, o diamagnetismo<sup>15</sup>, observado pela primeira vez mais de 6 décadas antes pelo botânico e médico neerlandês, Sebald Brugmans<sup>16</sup>, Faraday verificou experimentalmente a alteração de polarização de um raio luminoso na presença de um campo magnético. A sua interpretação deste fenómeno, designado por *efeito Faraday* ou por *rotação de Faraday* em sua honra, representou a primeira ligação entre luz e magnetismo. Este fenómeno viria a ser muito estudado e quantificado pelo cientista francês Emille Verdet<sup>17</sup>.

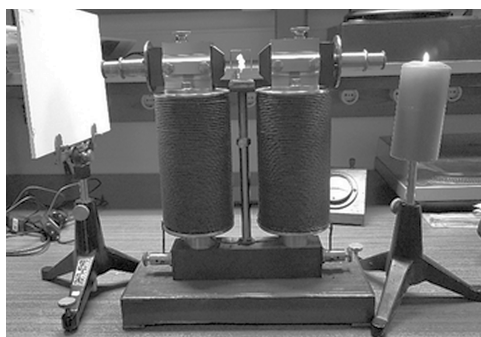
15. O diamagnetismo é o termo utilizado para designar o comportamento de materiais que são repelidos na presença de campos magnéticos, ao contrário dos materiais paramagnéticos e ferromagnéticos que são atraídos por campos magnéticos. O diamagnetismo é um efeito quântico que existe em todos os materiais, mas é tão fraco que normalmente não pode ser observado quando o material possui uma das outras duas propriedades: ferromagnetismo ou paramagnetismo.

16. Sebald **Brugmans** (1763-1819) foi professor na Universidade de Freneker (Alemanha) a partir de 1785. Com conhecimentos nas áreas da matemática e da física, os seus interesses incidiam sobretudo nas ligações entre a química e a medicina, onde se tornou conhecido como especialista nos tratamentos de gangrena. (<https://www.apexmagnets.com/news-how-tos/sebald-justinus-brugmans/>).

17. Emille **Verdet** (1824-1866) foi um físico francês que editou os trabalhos de Fresnel. Era especialmente interessado no estudo de fenómenos magnéticos. A constante que mede a rotação

A rotação de Faraday é um efeito magneto-ótico que está presente nas ondas de rádio quando elas percorrem o espaço interestelar. A sua observação em pulsares é um dos meios de estudo atuais mais importantes dos campos magnéticos galácticos. Um exemplo claro, mais um, no qual a influência de Faraday permitiu ultrapassar as fronteiras terrenas.

Bem mais à moda antiga, recriando um ambiente dos meados do século XIX, poderá assistir, usando a luz de uma vela, à manifestação do efeito de Faraday no Museu Faraday do Instituto Superior Técnico (Figura 3).



**Figura 3:** Experiência da Rotação de Faraday – Museu Faraday.

Estava alicerçado o caminho trilhado muitos anos mais tarde por James Maxwell que levou à descoberta de “ondas elétricas”. Caminho esse que viria a entroncar num outro, que entretanto ligaria Maxwell a mais um grande nome da ciência, Heinrich Hertz, através da verificação experimental dessas ondas e da criação de novos dispositivos para as gerar (antenas).

As ondas elétricas de Maxwell propagam-se à mesma velocidade da luz, o que permitiu suspeitar de que a luz também poderia ser um campo eletromagnético. O efeito Faraday já fazia prever essa ligação entre magnetismo e luz. É assim legítimo afirmar que a contribuição experimental de Faraday invadiu os vastos domínios das oscilações elétricas e das suas posteriores utilizações práticas: a radiotelefonia, a radiodifusão e a televisão.

Para as conclusões a que Faraday chegou na interação da luz com a matéria através de um campo magnético aí desenvolvido, foi provavelmente importante o contacto com Jean Biot, que tinha já feito trabalhos com luz polarizada. A

---

no plano de polarização da luz quando esta atravessa um campo magnético como resultado do efeito de Faraday é designada, em sua homenagem, por constante de Verdet.

polarização da luz tinha sido descoberta 4 anos antes por Etienne Malus<sup>18</sup>, com estudos complementados por François Arago, que na sua paixão pela astronomia tinha verificado que a luz da lua era polarizada.

Os diferentes olhares sobre um mesmo assunto eram para Faraday fascinantes e estimulantes. Em 1850 nas trocas de impressões com o Professor de *Natural Philosophy* na RI John Tyndall (Faraday and Crookes (ed.) 1908) traduziu claramente esse sentimento, afirmando que quando a ciência é uma república só há a ganhar

*I am no republican in other matters, I am in that*

Pelo caminho, são inúmeras as evidências do espírito multidisciplinar de Faraday. A verdade pode emergir com mais facilidade do erro do que da confusão. Parece ter sido este o lema que levou Faraday a redirecionar a área da Eletricidade, afastando-a da Química, curiosamente o seu campo inicial de interesses, e deslocando-a no sentido da Física, o mundo da Natureza.

Em 1857, numa carta enviada por Faraday ao Reverendo E Jones, Pastor de West Peckham em Kent, (Faraday and Crookes (ed.) 1908), afirmava

*“Who can be right altogether in physical science, which is essentially progressive and corrective?”*

Para Faraday o “erro” ajusta-se bem ao avanço do conhecimento; pelo contrário, “a confusão” conduz inevitavelmente a um retrocesso, mais cedo ou mais tarde. Assim exprimiu a importância da clareza, numa carta a Benjamin Abbott no último dia do ano de 1816 (Faraday and Crookes (ed.) 1908).

*“It is my wish, if possible, to become acquainted with a method by which I may write... in a more natural and easy progressive. I would, if possible, imitate a tree in its progression from roots to a trunk, to branches, twigs and leaves...”*

Em linguagem matemática, os fenômenos elétricos e magnéticos são governados por leis conhecidas como Equações de Maxwell, em honra do físico e matemático escocês, sendo cada uma delas resultante de contribuições distintas que foram unificadas em definitivo por Maxwell em 1861.

---

18. Etienne **Malus** (1775-1812) foi um engenheiro militar, físico e matemático francês que se notabilizou nos estudos relacionados com a interferência luz-matéria.

Maxwell usou, reconhecidamente, as experiências descritas por Faraday e deu-lhes uma interpretação matemática.

Faraday, muito embora não tivesse conhecimentos sobre campos vetoriais, inventou as “suas linhas de força” para explicar as suas observações. Ørsted e outros cientistas como Heinrich Hertz reconhecem o gênio de Faraday ao referir-se às equações de Maxwell como as equações de Faraday-Maxwell.

Faraday afirmava que só haveria lugar à indução magnética se houvesse alteração do chamado estado eletrotônico, um conceito filosófico introduzido por Faraday e que Maxwell haveria de formalizar nos conceitos de potencial elétrico e vetor potencial magnético (Doncel and Lorenzo 1996).

Em 1857, Faraday solicitou humildemente a Maxwell, a quem reconhecia uma formação matemática formidável, uma tradução das suas equações usando conceitos acessíveis àqueles que não tivessem uma idêntica formação (na carta enviada (Faraday and Crookes (ed.) 1908), chega mesmo a designar por “formação popular”, que, curiosamente, considera a sua).

*“There is one thing I would be glad to ask you. When a mathematician engaged in investigating physical actions and results has arrived at his own conclusions, may they not be expressed in common language as fully, clearly and definitely as in mathematical formulae? If this be possible, would it not be a good thing if mathematicians, writing on these subjects, were to give us their results in this popular useful working state as well as in that which is their own and proper to them?”*

E foi assim que quando Faraday verificou experimentalmente que para criar uma corrente num fio era necessário uma força elétrica  $e$  que atuasse nos portadores de carga, que designou por força eletromotriz, a formulação matemática sugerida por Maxwell conduziu a

$$e = -\frac{d\phi}{dt}$$

sendo  $\phi$  o fluxo magnético através de uma superfície  $A$ , apoiada no contorno  $C$  onde se movem os portadores de carga. O sinal negativo na formulação matemática dada por Maxwell não é afinal uma das duas possibilidades abertas matematicamente. Ou seja, não é uma escolha, mas sim uma exigência experimental, derivada das observações de Faraday e sugerida por ele.

A Matemática, como poderoso veículo no avanço da teoria nas áreas da Eletricidade e do Magnetismo, teve de formar uma “parceria” com a Física, que interpretava os fenômenos da natureza.

A variação temporal de um campo magnético induz a variação espacial de um campo elétrico. É um campo induzindo o surgimento do outro na caminhada irreversível para o Eletromagnetismo. Percurso que teve indubitavelmente a presença e o contributo de Michael Faraday.

## **O fabuloso legado de Faraday**

Desde o início de sua existência, o ser humano busca respostas para explicar e compreender os fenômenos da natureza. Segundo Einstein, “a coisa mais importante é não parar de questionar porque a curiosidade tem as suas próprias razões para existir”. Faraday foi um curioso militante e o mundo ganhou muito com isso. Há mais de 150 anos, Faraday já sabia que uma teoria é dinâmica por natureza, pois é alimentada não só pela prática, como também pela reorientação descritiva do olhar sobre o objeto, que passa a ser múltiplo na sua especificidade. São vários os exemplos que constituem o valioso legado deste cientista para a posteridade.

Baseado na relação entre correntes elétricas e campos magnéticos da autoria de Ørsted, Faraday conseguiu fazer um movimento circular de uma peça de metal em torno de um campo eletromagnético existente no espaço atravessado pela peça. Foi esse trabalho inicial sobre a rotação eletromagnética que conduziu ao primeiro motor elétrico, que mais tarde desaguaria na infinita lista de aplicações com que esbarramos no nosso quotidiano, dos mais elementares aos mais complexos e sofisticados.

Faraday, novamente a partir das teorias de Ørsted, observou o aparecimento de correntes em circuitos elétricos se ocorressem variações do, que chamou, *fluxo magnético* que estão na base de forças eletromotrizes, como já foi referido neste texto. Mais uma vez o seu espírito de observação teve consequências marcantes. As teorias das forças eletromotrizes e da indução eletromagnética são a base dos geradores e dos transformadores, dois dispositivos que fazem parte do nosso dia-a-dia.

Ao realizar a experiência da gaiola, onde mostrou que uma superfície condutora eletrizada possui um campo elétrico nulo no seu interior, Faraday estava seguramente muito longe de imaginar como a sua contribuição seria importante e determinante para os argumentos de outro génio da ciência, Nikola Tesla. Como também não imaginou como a gaiola viria a ser amplamente utilizada hoje em dia como inibidores nos edifícios com uma estrutura metálica<sup>19</sup>, nos elevadores, nos aparelhos de micro-ondas ou nos aviões, para citar apenas alguns exemplos quotidianos bem conhecidos.

E no âmbito do seu legado, não seria possível deixar de referir o fabuloso espólio que constitui o conjunto dos seus registos. Autênticas pérolas, complementares às experiências laboratoriais.

Desde o início da sua carreira como assistente até ao final da sua vida no laboratório, Faraday manteve sempre o (bom) hábito com que conquistou a simpatia de Sir Humphry Davy em 1812: o de constituir um conjunto de registos muito variado, com pormenores, frequentemente acompanhados por desenhos elucidativos sobre as características dos materiais/ equipamentos utilizados e sobre as condições ambientais presentes durante a execução das experiências.

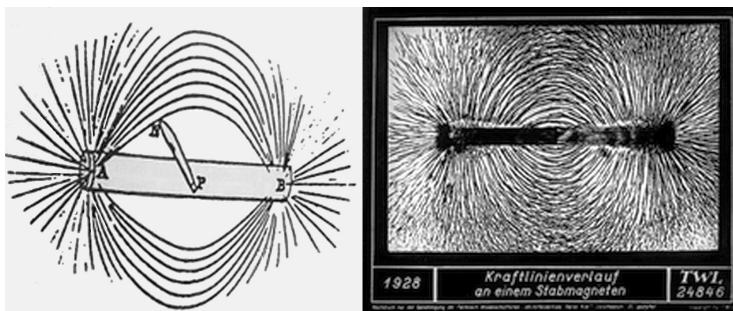
Sendo um procedimento usual em qualquer experimentalista, o que se torna assinalável no caso de Faraday é a qualidade e a quantidade de informação registada que chegou aos nossos dias. Como bem sabem os documentalistas ou as equipas de tratamento da informação de qualquer museu, esse tipo de “objetos” tem do ponto de vista de espólio um valor intrínseco muitas vezes bem superior à própria peça. Mais um contributo importante deixado por Faraday para o património científico universal. Nesses registos, Faraday fez-nos chegar todas as suas descobertas usando uma linguagem descritiva muito elaborada acompanhada, como atrás referido, por esquemas e desenhos, evitando assim o uso de equações. A clareza que pretendeu imprimir aos seus escritos exigia uma normalização no uso dos termos utilizados e nesse sentido Faraday contribuiu para a filologia, ao recorrer com frequência a neologismos para as designações dos fenómenos que observava ou dos conceitos que postulava. Para manter o

---

19. Nos edifícios com cobertura metálica os telemóveis ficam sem rede, pois é criada, propositadamente ou não, uma espécie de gaiola de Faraday, impedindo que as ondas penetrem ou saiam do edifício. As aeronaves podem receber descargas numa viagem, mas o seu exterior funciona como uma gaiola, impedindo que essas descargas passem e causem danos aos circuitos e às pessoas a bordo.

rigor e a honestidade, que eram seu apanágio, fê-lo de acordo com os seus princípios, com os ensinamentos da vida e de Sir Humphry Davy, recorrendo à ajuda de especialistas amigos e à etimologia. E assim entraram em cena no palco da Química o “ião”, “catião” e o “ânio”. A Física não lhe ficou atrás, entrando os termos “elétrodo”, “ânodo”, “cátodo”, “dielétrico” ou “diamagnetismo” para a posteridade.

São também da sua autoria expressões como “linhas de força magnética”, “fluxo de força magnética” ou, mais genericamente, o conceito de linhas de força, que previam a atuação à distância sem a existência de um meio material suporte. Na altura, este conceito constituiu uma autêntica pedrada nos meios científicos, que recorriam à existência de um meio de transporte dessas forças, comumente designado por “éter” e para o qual não havia qualquer prova de existência física.



**Figura 4:** Linhas de Força: Desenho de Faraday (esquerda) e diapositivo com imagem de linhas de força usado no ensino nos anos 30 do século XX (direita). (Coleção do Museu Faraday / IST).

## O Pedagogo

Em 1825 iniciou um ciclo de palestras na RI designadas por *Christmas Lectures*. São de destacar, uns anos mais tarde, as que constituíram uma série de seis (“*The Chemical History of a Candle*” (Faraday and Crookes (ed.) 1908)) dedicada a um público juvenil, onde demonstrou os seus dotes excepcionais de orador e pedagogo.

O êxito da iniciativa ficou bem patente pela afluência de público, que foi de tal ordem, que a rua de acesso à RI em Londres passou a ser, desde essa altura, de sentido único para colmatar os enormes engarrafamentos de carruagens que

se verificavam. A 27 de dezembro de 1855 teve a presença do príncipe Alberto, consorte da Rainha Vitória, com três dos seus filhos. Atualmente, essas palestras são transmitidas pela televisão nacional todos os anos, sendo a principal série científica do Reino Unido.

Na correspondência trocada com os amigos (Faraday and Crookes (ed.) 1908), para além da curiosidade pelas coisas que o rodeavam, Faraday demonstra uma imaginação e uma ousadia invulgares. A coletânea de cartas é absolutamente fascinante como documento revelador da personalidade de Faraday, sem dúvida uma referência incontornável no mundo da ciência e protagonista de uma alteração profunda de paradigmas na história do conhecimento.

No prefácio desta 1.<sup>a</sup> edição, o cientista William Crookes [1832-1919] afirma que, “do primitivo maçarico até à vela de parafina, foram inúmeros e bem distintos os meios adotados pela humanidade para iluminar a sua casa à noite”. Atração e temor sempre estiveram ligados ao mistério do fogo. Talvez por isso, segundo Crookes, “se os meios e materiais a ele associados pudessem falar, teriam certamente muitas histórias para contar”. Fazê-lo, exigiria uma cadeia de raciocínio forjada átomo a átomo. Graças à experiência do grande pedagogo que foi Faraday, alguns elos desta enorme engrenagem, tecidos com uma certa ligeireza no passado, cederam lugar a um trabalho melhor.

O que não deixa de ser curioso, pois, paradoxalmente com início numa diversão, graças a si a ciência começou a ser mais uma profissão do que um entretenimento.

*“And now, my boys and girls, I must first tell you of what candles are made. Some are great curiosities.”*

Assim disse Faraday, na sua lição n.º 1 de um curso dado para uma audiência juvenil na *Royal Institution* em Londres em 1848 (Guedes 1996) (Day 1999).

E foi assim que, ainda citando Crookes, “a criança que assistiu a estas conferências ficou a saber mais sobre o fogo do que Aristóteles”.

A magia pode ser sentida ainda hoje no laboratório da RI onde Faraday fez as suas principais descobertas há cerca de 200 anos, no Museu Faraday em Londres (“Michael Faraday’s Magnetic Laboratory” n.d.). Tudo foi mantido de modo a recriar o ambiente pouco iluminado onde Faraday fazia os trabalhos que utilizava feixes de luz. Mais acessível poderá fazê-lo à luz de uma vela no Museu Faraday no IST em Lisboa.



As estratégias de ensino e a divulgação da ciência em âmbito geral demonstradas por Faraday nestas palestras são incrivelmente atuais. Faraday frequentemente afirmou publicamente que muito mais importante do que as respostas dadas por aquele que comunica, são as perguntas formuladas pela audiência, pois denotam o interesse, induzem o espírito crítico e incitam à procura de uma solução.

E desta forma conseguiu que um assunto tão aparentemente estéril e desinteressante à partida como uma vela em “The Chemical History of a Candle” se revelasse afinal um tema de sucesso para uma audiência muito diversificada e, simultaneamente, um campo muito rico de investigação.

Novidade? Não é necessária muita perspicácia para descobrir que essa sua característica já se revelara muitos anos antes quando, nas discussões da sua juventude no fórum de ideias, analisara questões de índole diversa, mas procurando sempre uma transversalidade que as fizesse ter sentido, fazendo-as múltiplas na sua especificidade. Por exemplo, quando em considerações filosóficas sobre o que é a verdade e a perenidade afirmou em cartas enviadas para Abbot em agosto e setembro de 1812:

*“I have given you this theory, not as the true one, but as the one which appears true to me, and when I perceive the errors in it I will immediately renounce it in part or wholly as my judgement may direct. From this, dear Friend, you will see that I am very open to conviction but from the manner in which I shall answer your letter you will also perceive that I must be convinced before I renounce”*

Ou quando em Julho de 1812, também numa carta para Benjamin Abbott faz uma viagem com paragens pela mecânica dos fluidos, atrito, geometria descritiva, astrologia, numa verdadeira demonstração de que o seu pensamento voava sempre célere e em ziguezague...

## **Em homenagem a Faraday**

Normalizar os pesos e medidas foi uma necessidade sentida há séculos de modo a regulamentar a metrologia internacional. Nesse contexto a França esteve quase sempre na vanguarda, sobretudo após a Revolução Francesa em 1789. A 20 de Maio de 1875, 17 países liderados pela França assinaram em Paris

a *Convention du Mètre*. Portugal foi um dos países da lista, que, curiosamente, não tinha o Reino Unido incluído. A parceria foi oficializada em Portugal no ano seguinte, enquanto o Reino Unido o fez apenas em 1884.

Ao atrasar-se 9 anos em relação a outros países no Mundo em matéria de regulamentação, o Reino Unido não assegurou uma posição compatível com o facto de ser a maior potência económica do mundo. Alguns anos mais tarde, já no século XX, este facto traduzir-se-ia numa adversidade adicional com que os apoiantes de Faraday tiveram de contar: a nacionalidade de Faraday não seria à partida um fator de mérito a tomar em linha de conta quando comparada com a francesa, alemã ou italiana, onde proliferavam nomes sonantes na área das ciências<sup>20</sup>.

Mas o inevitável acabou por acontecer: a comunidade científica acabou por prestar-lhe homenagem ao atribuir o seu nome para a unidade de *Capacitância* do Sistema Internacional de unidades (SI).

Em Junho de 1832, a Universidade de Oxford concedeu a Faraday o grau de *Doutor Honoris Causa* de Direito Civil. Tal como a Sir Humphry Davy, foi-lhe oferecido um título de Cavaleiro em reconhecimento pelos seus serviços à ciência, título que Faraday recusou por motivos religiosos. Recusou também, e por duas vezes, ser Presidente da *Royal Society*, apesar de ser membro eleito desde 1824.

Em 1832, Faraday foi eleito Membro Honorário Estrangeiro da *American Academy of Arts and Sciences*. Tornou-se em 1833, o primeiro Professor Catedrático de Química na RI. A cátedra de Química foi da sua responsabilidade até à sua morte. Foi eleito membro estrangeiro da “Real Academia Sueca de Ciências” em 1838.

Em 1840, foi eleito para a *American Philosophical Society*. Foi um dos oito membros estrangeiros eleitos para a francesa *Académie des Sciences* em 1844, e, em 1849, foi eleito como membro associado do “Instituto Real dos Países Baixos”.

---

20. Em 1901 o físico e engenheiro elétrico italiano Giovanni **Giorgi** (1871-1950) propõe um sistema de medição que seria precursor dos Sistema Internacional de unidades (SI). De acordo com a sua proposta o sistema de unidades teria 4 unidades fundamentais (o metro, o quilograma, o segundo e uma unidade elétrica, que seria o ampere, o volt ou o ohm). Esse sistema de certa forma abria as hipóteses a uma homenagem a um cientista francês, italiano ou alemão. Vinte anos depois a convenção permitiu a inclusão de novas unidades relacionadas com qualquer grandeza física.

## Os dois lados do espelho

A História tem múltiplas versões, dependentes de quem a conta, do modo como é vivida e da altura em que é revisitada. Contar a sua história é sempre um desafio. Uma biografia pode ser sempre recontada. Talvez aí residam o encanto, a magia e os perigos. Afinal seguir a fórmula que, há cerca de 200 anos atrás, Faraday tão bem soube propor: “quando algo parece ser, muito provavelmente é”.

Mas, às vezes não é. Ao facultar de forma brilhante os seus ensinamentos a uma audiência jovem, Faraday pretendia que as pessoas de ascendência humilde não fossem privadas de um ensino elitista que apenas beneficiava uma percentagem diminuta da população. Mas seria só generosidade?

Quando fez estudos sobre os malefícios de uma iluminação que polui e podia envenenar uma população em Londres, e cujas vantagens apenas beneficiavam uma minoria da população, Faraday foi uma pessoa solidária. Mas se assim foi, por que razão buscou imediatamente características nos mesmos materiais que pudessem ser benéficas e aproveitadas para outros fins?

Faça-se luz então segundo a sugestão final do prefácio de Crookes (1832-1919) em *The Chemical History of a Candle* (Faraday and Crookes (ed.) 1908), *alere flammam*. Não foi por acaso que a luz que sempre Faraday procurou lhe fosse sugerida por uma vela. Afinal esta era só aparentemente insignificante, não sendo de modo nenhum um tema estéril. E tão democraticamente espalhada pela população londrina, contrariamente à iluminação a gás.

A magia pode ser sentida ainda hoje no laboratório da RI onde Faraday fez as suas principais descobertas há cerca de 200 anos, no Museu Faraday em Londres (“Michael Faraday’s Magnetic Laboratory,” n.d.). Tudo foi mantido de modo a recriar o ambiente pouco iluminado onde Faraday fazia os trabalhos que utilizavam feixes de luz.

## Últimos Anos

Faraday sofreu um colapso nervoso em 1839, mas acabou por regressar às suas investigações sobre o eletromagnetismo. Em 1848, Faraday foi agraciado com uma casa em Hampton Court, no Middlesex, livre de todas as despesas e

manutenção. A partir de 1858, esta passou a ser a sua residência, que mais tarde se designaria por *Casa Faraday*, sita no n.º 37 da *Hampton Court Road*. Apesar de ter frequentemente colaborado com o governo britânico, recusou-se a participar numa comissão de aconselhamento sobre a produção de armas químicas para a Guerra da Crimeia (1853-1856), invocando razões éticas. Faraday morreu na sua casa em Hampton Court a 25 de Agosto de 1867, com 75 anos de idade. Está sepultado na secção dos não anglicanos do Cemitério de Highgate West.

## Notas finais

A noção da dinâmica do conhecimento científico em Faraday está bem patente quando afirma categoricamente que não se devem manter imperturbáveis os conceitos científicos quando existirem evidências experimentais não explicadas à luz da teoria estabelecida. Dizer claramente que essa atitude não teria permitido o avanço da ciência é realmente revolucionário para a época.

A 18 de Agosto de 1832, Faraday publicou *in octavo* no *Quarterly Journal of Science* os seguintes comentários (Day 1999) (Tyndall 1894):

“Alguns, penso eu, na sua época, eram bons, outros sofríveis e outros medíocres. Mas coloquei-os a todos num volume das minhas Memórias, pela utilidade que lhes conferi – os maus ainda mais do que todos os outros – dando-me a indicação para o futuro, cada vez que os relesse, dos erros a que deveria estar atento para que fossem evitados.”

*(excerto retirado do opúsculo Faraday Inventeur, tradução para francês feita em 1868 por M. Moigno do documento Faraday Discoverer de John Tyndall (Tyndall 1894))*

Nos perigos das escolhas a fazer na elaboração de um documento biográfico, fomos lançando dúvidas e pintando o cenário de cinzentos. Em homenagem a este brilhante cientista com uma formação matemática não significativa, que foi considerado o maior experimentalista de todos os tempos, resolvemos usar um relato com apenas uma equação.

Rigor, criatividade, intuição, incentivo ao espírito crítico, interdisciplinaridade e humildade foram os legados desde grande senhor, que disse um dia, ao presentear com mais um título, “quero ser simplesmente Michael Faraday”.

E não pedia pouco, se atendermos ao que disse um dia Sir Humphry Davy, considerado por muitos o fundador da Eletroquímica:

“Faraday é a minha maior descoberta”.

## **Bibliografia**

- DAY, Peter, ed. 1999. *The Philosopher's Tree: Michael Faraday's life and work in his own words*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- DONCEL, M., and J. Lorenzo. 1996. “The Electrotonic State, a Metaphysical Device for Maxwell Too?” *European Journal of Physics* 17.
- FARADAY, Michael, and William Crookes (ed.). 1908. *The Chemical History of a Candle*. London, UK: Chatto; Windus.
- “Michael Faraday's Magnetic Laboratory.” n.d. The Royal Institution.
- TYNDALL, John. 1894. *Faraday as a Discoverer*. London, UK: Longmans, Green; Co.
- VAZ GUEDES, M. outubro, 1996. “O Gerador de Faraday.” *Revista Electricidade* 337 (outubro, 1996): 243-45.