

## **Aspectos materiais da cultura científica – instrumentos didácticos de Física e Química**

Isabel Malaquias

CIDTFF, Departamento de Física, Universidade de Aveiro  
3810-193 Aveiro (Portugal)  
[imalaquias@ua.pt](mailto:imalaquias@ua.pt)

### *Resumo*

No presente contributo, far-se-á uma aproximação à relevância que os instrumentos científicos têm no estudo da cultura experimental, contextualizando historicamente a sua génese e evolução até à importância do ensino científico e à existência de colecções didácticas antigas que podem ter ainda significado pedagógico, histórico e museológico, nas escolas portuguesas. Ilustrar-se-á com as ampolas de descarga, objectos, antigos e actuais, de trabalho experimental no domínio da Física e da Química.

### *Aspectos de contextualização histórica*

A ciência moderna surgiu com um novo paradigma: o de que é possível conhecer e dominar a natureza pela experimentação e através do recurso a instrumentos idealizados para esse efeito, aliada a uma possível matematização dos fenómenos observados. Para os Antigos, o “conhecimento absolutamente certo” constituía o que designavam por ciência e, neste conceito, apenas cabia a matemática, a lógica formal e a astronomia, enquanto fórum de aplicação da matemática<sup>i</sup>. Assim, realça-se, já na era moderna, uma dimensão de prática tida outrora por indesejável, desapropriada, no sentido em que o sábio devia ao pensamento muito mais do que à mão e ao artefacto. A nova prática científica recorre a “objectivos, linguagens e métodos específicos” que determinam “atitudes, expectativas e comportamentos próprios nos membros da comunidade” científica. Para tal faz recurso ao “uso de instrumentos que permitirão uma observação experimental controlada como uma das condições necessárias de validação.” No entanto, antes de confiar nas informações dadas por estes “meios artificiais” houve que encará-los com cepticismo, até “que a precisão do dispositivo pudesse ser exaustivamente testada”.<sup>ii</sup>

A palavra instrumento tem sido entendida como o objecto simples ou constituído por várias peças, que se usa para levar a efeito uma acção física qualquer, fazer alguma observação ou medição (em geral trabalhos delicados e de precisão) e também, em sentido figurativo, como recurso ou pessoa que se utiliza para chegar a um resultado.<sup>iii</sup>

Francis Bacon (1561-1626) reportava-se à designação de “instrumento” para descrever quer o utensílio físico quer o método.

O Homem, ministro da natureza e intérprete, actua e compreende apenas tanto da Natureza, quanto tenha observado pela assistência da Experiência e Razão: mais, ele não duvida, nem consegue apreender. Nem a mão sozinha, nem o entendimento deixado a si próprio, pode fazer muito. As coisas são feitas pelos instrumentos e ajudas, o que é tão querido para o entendimento quanto para a mão. Agora tal como os instrumentos da mão a assistem e governam o seu movimento, semelhantemente os instrumentos do entendimento aconselham-no e advertem-no.<sup>iv</sup>

O sentido científico é iluminado em exemplos como “um trabalhador ou artífice tem as suas *ferramentas*, um desenhador, cirurgião, dentista, observador astronómico, os seus *instrumentos*.”<sup>v</sup>

### *Instrumentos científicos e cultura experimental*

A partir do século XVI-XVII o uso de instrumentos científicos constituiu a base de legitimação da investigação sobre fenómenos naturais, possibilitando a repetição experimental em qualquer parte do planeta o que conduziu à “aceitação da ciência moderna como o dispositivo cognitivo inerente à cultura da modernidade.”<sup>vi</sup>

A génese da cultura experimental remonta aos finais do século XVI, com Francis Bacon a advogar a ratificação teórica pela via da experimentação, numa concepção nova de ciência - ciência moderna -, a que se acrescenta também a via técnica por parte dos seus praticantes. Assim, para a história da ciência, e concordando com Maurice Daumas,

“A partir do momento em que o instrumento intervém, é preciso atender, na marcha do progresso, à parte do cientista e também à do construtor. Por muito que o instrumento tenha sido construído sobre dados teóricos, a sua invenção não está verdadeiramente acabada senão quando o artífice consegue dar-lhe forma material.”<sup>vii</sup>

Iniciava-se um novo modo de apreciar e apreender a natureza, de certa forma ridicularizado nas célebres *Viagens de Gulliver*, onde ao frenesim da medição se contrapunha o grotesco do resultado final. A concepção de novos dispositivos que permitissem o aliar da imaginação à evidenciação de novos fenómenos e conceitos, originou um avultado arsenal de instrumentos que passaram a constituir, durante todo o século XVIII, os gabinetes de física ou mesmo o laboratório de química.

O estatuto conferido aos instrumentos diferiu ao longo dos séculos, desde a idade moderna. Aos instrumentos filosóficos era atribuída uma maior importância face aos instrumentos matemáticos ou de navegação, pois aqueles deveriam ilustrar as verdades da natureza. A sua utilização era destinada aos filósofos; os práticos, cartógrafos, engenheiros, astrónomos, navegantes recorreriam ao outro tipo nas suas tarefas práticas de medição.

Jim Bennett considera que os instrumentos podem servir para moldar e definir uma disciplina, ilustrando com os chamados ‘instrumentos matemáticos’, do início da idade moderna, entendidos numa categoria definida não simplesmente pelas técnicas de produção e comércio, mas por uma disciplina de conhecimento e prática que se

caracterizou a si própria como ‘matemática’.<sup>viii</sup> O surgimento do termo ‘instrumento científico’ foi estudado por Deborah Warner, que datou o aparecimento da designação inglesa, no século XIX, motivado em parte por interesses comerciais.<sup>ix</sup> Muitos dos objectos que hoje são descritos como instrumentos científicos eram produzidos e designados, nos séculos dezassete e dezoito, por instrumentos ‘matemáticos’, ‘ópticos’ ou ‘filosóficos’. Em certa extensão estas distinções estiveram associadas às corporações de instrumentistas, reflectindo, do ponto de vista do negócio e comercialização, algumas práticas especializadas de manufactura. Estas designações evoluíram também no tempo.<sup>x</sup>

Durante os séculos XIX e XX, termos como ‘ciência’ e ‘instrumentos científicos’ foram, gradual e crescentemente, usados em contextos nos quais expressões como ‘filosofia natural’, ‘filosofia experimental’, e ‘instrumentos filosóficos’ teriam prevalecido em períodos anteriores. A nova terminologia foi sendo adoptada e substituída lentamente, ao mesmo tempo que também se desenvolveu o conjunto de objectos descritos como instrumentos científicos.

#### *Instrumentos e ensino das ciências*

O século das Luzes caracterizou-se pelo seu secularismo, racionalismo e pela crença na ordem natural das coisas e dos processos da natureza. E foi a interligação destes três grandes traços caracterológicos que contribuiu para “criar um humanismo de vistas largas” que existira na época grega clássica e atingiu o seu grau de perfeição neste século. “A ciência em si foi o fruto destas novas atitudes”, que tiveram o seu berço em Inglaterra no século XVII e se desenvolveram no século XVIII na restante Europa, transpondo-se para a própria sociedade.<sup>xi</sup>

A importância da aprendizagem das ciências e, dentro delas, a da física, é realçada, num espírito verdadeiramente baconiano, pois dela deveria sair um homem novo, mais culto e também mais rico, com maiores capacidades para retirar da natureza o que esta tem de bom e útil.

Remonta assim a este período, um esforço grande no sentido de interessar pelas ciências um público cada vez mais numeroso, de criar um verdadeiro ensino experimental da ciência, tanto nas escolas como nas universidades, na corte como nos salões.<sup>xii</sup> Em 1700, a física ensinada nas escolas era ainda qualitativa e literária e englobava todos os ramos da ciência natural; buscava as essências ou princípios das coisas, e não a quantificação necessária para a interpretação dos fenómenos e para a criação de modelos, para os quais era fundamental o conhecimento rigoroso sobre as formas, posições dos corpos, velocidades, e outras grandezas físicas necessárias a essa interpretação.<sup>xiii</sup> A física experimental foi surgindo, pouco a pouco, nas escolas.

Agudizou-se a necessidade de basear na experimentação as formulações teóricas, na boa tradição galileana, e em oposição ao sistema cartesiano, então muito disseminado, que não se preocupava com os resultados experimentais e admitia que através da dedução e da matemática, era possível interpretar os fenómenos naturais.

Na Holanda, a física encontrava-se já no terreno da experimentação, desde o início do século XVIII, ao mesmo tempo que era influenciada pelo empirismo inglês, que naturalmente era favorável à física experimental.

Pierre Brunet considera o ano de 1715 como o ponto de partida para todo o desenvolvimento posterior desta nova corrente de defensores da física experimental. Neste mesmo ano, pode encontrar-se nas palavras do discurso de Boerhaave (1668-1738), pronunciado na sua Universidade em Leiden, *De comparando certo in physicis*, a preocupação de buscar na experimentação o meio verdadeiro de fazer progredir a ciência com segurança.<sup>xiv</sup> Um ano depois, ‘sGravesande (1688-1742), regressado a Leiden, foi incumbido de reger matemática e astronomia e, posteriormente, filosofia (física). ‘sGravesande modelou o seu ensino na universidade pelos *Principia* e *Opticks* de Newton, introduzindo pela primeira vez as demonstrações experimentais dos princípios de física e astronomia que ensinava. É considerado como o primeiro expoente da filosofia newtoniana no continente e, juntamente com Boerhaave, chamariam à universidade de Leiden milhares de estudantes estrangeiros. Sucedeu a ‘sGravesande como professor de física, o igualmente famoso Pieter van Musschenbroek (1692-1761), filho e irmão de instrumentistas famosos, que idealizaram e produziram uma panóplia de instrumentos que serviram de modelo a múltiplas cópias que foram produzidas para vários gabinetes de física, um pouco por toda a Europa, e também em Portugal. São disso exemplo vários dos instrumentos do Gabinete de Física da Universidade de Coimbra.

Este novo ensino da física foi disseminado por outros países, nomeadamente a França, através das lições do Abbé Sigorgne (1719-1809) e do muito famoso Abbé Nollet (1700-1770) e também por vários demonstradores itinerantes responsáveis pela disseminação do conhecimento científico sobre mecânica prática, magnetismo, astronomia, hidrostática, pneumática, calor, óptica, electricidade e química. Diversas peças instrumentais foram concebidas para facilitar as demonstrações. Alguns instrumentistas “Faziam e vendiam toda a espécie de Instrumentos Matemáticos e Filosóficos acabados com precisão de acordo com os melhores melhoramentos dos mais eminentes Professores”.<sup>xv</sup> Com o seu cartão de comércio anunciavam quer textos quer instrumentos.

A conferência – demonstração transformou-se na melhor maneira de ensinar ciência para todos os que com pouco, ou nenhum, conhecimento dela viam como funcionava.<sup>xvi</sup> Também em Portugal, tivemos destes demonstradores que, portugueses ou estrangeiros, integraram este movimento.<sup>xvii</sup>

No século XVIII, a concepção e melhoramento de vários instrumentos foram incrementados, para: a ilustração e estudo de muitos fenómenos, alguns novos; a evidenciação das verdades naturais; a busca da maior precisão possível nas medições; e também para a expansão da capacidade instrumental.

Maurice Daumas, historiador dos instrumentos científicos, foi um dos primeiros autores a salientar a importância dos filósofos e dos seus artífices no desenvolvimento de uma nova cultura em que os instrumentos científicos passaram a operar.

Após um percurso inicial originado “por circunstâncias de natureza cognitiva”,<sup>xviii</sup> a ciência surge, com a génese da revolução industrial, fortemente ligada e motivadora da actividade económica e social no final do século XIX. O seu papel deixou assim de poder ser ignorado, minorado ou disfarçado. Francis Bacon afirmara “scientis potestas est” no sentido de que o conhecimento científico traduz uma capacidade de poder, o que se tem verificado a partir de então. Sobretudo a partir de oitocentos, a cultura da ciência foi-se desenvolvendo e articulando fortemente “até se tornar parte integrante da cultura das sociedades europeias industrializadas”.<sup>xix</sup>

### *Colecções de instrumentos didácticos*

De alguma forma o programa educativo idealizado, em meados do século XVIII, pelo poder absoluto em Portugal, vira a necessidade de criar um cidadão novo que, a partir de uma nova educação, onde se incluía a vertente científica, pudesse claramente estar de posse dessa capacidade de poder que deveria permitir alcançar a riqueza da nação e a apropriação lucrativa de todos os recursos existentes.<sup>xx</sup>

O século XIX testemunhou, numa linha claramente admiradora e crente no “progresso”, a importância de dar uma particular atenção ao ensino das novas áreas, de forma a propiciar uma educação nova e sólida com base nas ciências. Já não era apenas o ensino universitário que estava em causa, embora devesse ser renovado e assente numa base investigativa a que o modelo humboldtiano dava suporte. Era agora o ensino intermédio/ secundário, mediador entre um ensino inicial, dito primário e o ensino universitário que capturava fortemente as atenções em diferentes países e também em Portugal.

O debate incidiu sobre a necessidade de inclusão do ensino das ciências, propiciador do desenvolvimento e progresso em que acreditavam convictamente alguns sectores da sociedade. Entre 1820 e 1836, foram feitas reformas do ensino português, sendo apontada a necessidade e importância do ensino das ciências e das artes (técnicas) para o progresso do país. Foram promulgadas e revogadas várias propostas até 1836, ano em que foi estabelecido um sistema uniforme e nacional. Desta época há vestígios da existência de um ensino de tipo liceal anexo à Universidade de Coimbra, e dela dependente. Após várias vicissitudes, começou a leccionar-se, em 1854/55, no Liceu Nacional de Coimbra a disciplina de *Princípios de Physica e Chimica e História Natural*, que se alargou, posteriormente, a outros liceus de capitais de distrito.<sup>xxi</sup> Davam-se os primeiros passos no sentido da existência de um ensino secundário, onde o ensino experimental das ciências tinha lugar. A criação desta disciplina marca formalmente o início da existência de um espaço e um tempo dedicados aos estudos das áreas científicas em referência.

A atenção à experimentação conduziu à aquisição de instrumentos didácticos cuja função era ilustrar os fenómenos ou a iniciação às técnicas de medição possibilitada pelos mesmos.

A referência a instrumentos *didácticos* aponta para os que se consideram ser “destinados a demonstrar vários efeitos físicos e a auxiliar a exposição de um assunto científico”.<sup>xxii</sup> Indica frequentemente que deverão ser robustos, de dimensões apreciáveis, utilizando bons materiais. Relembrando Ganguillem, e sobre a difusão da evolução dos conceitos científicos, este considerou o século XIX, como o século da vulgarização da ciência.<sup>xxiii</sup> A preocupação com o público - a ciência para o público -<sup>xxiv</sup> e a evolução da tecnologia conduziram à procura de métodos de projecção que permitissem que, desejavelmente todos os fenómenos, físicos e químicos, pudessem ser vistos facilmente pelas plateias, escolares e civis. Surgiram assim instrumentos científicos, adaptados para o efeito.<sup>xxv</sup> O fim principal desses instrumentos era permitir uma interpretação, à luz da ciência, da ocorrência de um fenómeno. A acção do instrumento didáctico nem sempre seria uma prova para uma asserção científica, podendo ser somente a sua ilustração.<sup>xxvi</sup>

A iniciação à prática laboratorial nas escolas secundárias deu-se de forma generalizada tardiamente, pelos finais de oitocentos, tendo-se iniciado primeiro no ensino universitário, sem prejuízo de, aqui e além, se terem feito abordagens concretas ao ensino prático experimental ainda durante a segunda metade do século. O importante era conhecer, praticar, desenvolver competências de manipulação, medição, precisão, análise quantitativa de verificação de leis. Numa vertente um pouco diferente da dos filósofos iniciais, tratava-se agora de saber utilizar os instrumentos, pô-los a evidenciar determinados fenómenos e ainda obter, em alguns casos, a quantificação possível dos mesmos para poder verificar a(s) lei(s) física(s) subjacente(s). Havia portanto que conhecer o instrumento, através da sua descrição, reconhecer o fenómeno que se estaria a evidenciar e, sendo possível, aprender a manipular o mesmo para a medição e obtenção dos valores que permitiriam um entendimento mais profundo das leis já formuladas. Comparando alguns dos instrumentos existentes em escolas e alguns catálogos de fabricantes antigos, verifica-se a semelhança entre instrumentos<sup>xxvii</sup> mais actuais (final século XIX – início do século XX) e alguns dos utilizados nos séculos XVII-XVIII para ilustração de fenómenos/ conceitos físicos idênticos (por exemplo, o aparelho de Ingenhouz para estudo da condutividade térmica<sup>xxviii</sup>). Outros instrumentos ilustram ou materializam novas descobertas ou conceitos, não tendo correspondente anterior e/ou evoluíram para a descoberta/ materialização de fenómenos inimaginados anteriormente.

#### *Do ‘ovo eléctrico’ às ampolas de descarga ou do espectáculo às entranhas do átomo*

Reportar-nos-emos aqui a uma das possíveis vertentes de análise da cultura experimental.

Não foi para nós surpreendente que, em Portugal, nas escolas secundárias mais antigas, antigos liceus, colégios, etc. seja ainda hoje possível encontrar objectos, dispositivos,

equipamentos que constituem memória dessas aprendizagens, de linguagens e procedimentos que foram sendo vivenciados nos meandros destas ciências experimentais. Alguns encontram-se já recolhidos em vetustos armários, qual memória de um passado que se vai afastando de nós. Reencontrá-los hoje é revisitar / descortinar as ‘suas’ vivências desde os objectivos que levaram à sua construção, aos processos de os fabricar, aos seus construtores/ inventores, à sua veiculação, a reencontrar-lhes significado educativo, novo ou velho, quando os olhamos à luz do século XXI ou simplesmente parar na sua presença e observá-los, deixando que os nossos sentidos nos façam apreender, seguindo a proposta recente de Arnold e Söderqvist.<sup>xxix</sup>

O caso que escolhemos e sobre o qual nos iremos debruçar, remonta às velhas e célebres experiências de electrostática e às descargas produzidas utilizando o tubo fulminante e depois sobre o chamado ‘ovo eléctrico’, em experiências tipicamente de século XVIII.<sup>xxx</sup> Não parece que dessa época tenha restado algum pensamento mais elaborado sobre o que se observava, particularmente no ‘ovo’, mas tentaram-se diferentes efeitos visualizáveis, buscando-se algum impacto estético-emotivo na visualização das descargas. Concomitantemente, as máquinas originadoras da electricidade a transferir – as máquinas electrostáticas – sofreram apreciáveis desenvolvimentos quanto à capacidade de produzirem maior quantidade de electricidade, à disposição e forma das superfícies friccionadas, aos materiais a usar para a fricção. Não detalharemos mais nesta direcção.

As descargas eléctricas em ampolas rarefeitas vieram, contudo, propiciar das aventuras mais fascinantes da história da física e da química, numa génese que não permitia à partida prever tais caminhos.

Às descargas no ‘ovo eléctrico’ sucederam-se as descargas em tubos de formas distintas e rebuscadas com diferentes gases a baixas pressões para o que foi possível contar com artífices vidreiros capazes de produzir tais invólucros. Por bastante tempo, observaram-se as descargas produzidas apenas por causa dos efeitos visuais. A invenção por Geissler (1814-1879) de tubos de vidro com dois eléctrodos para descargas de gases a baixa pressão veio dar novo impulso a este tipo de experiências.<sup>xxxi</sup> A utilização de máquinas de vazio, mais eficientes, veio possibilitar melhores graus de rarefacção nos tubos/ ampolas. Já não se tratava de usar a máquina electrostática, mas recorria-se a algo mais elaborado, o chamado “Magnetic Motor”, para a produção da descarga.<sup>xxxii</sup>

Talvez a história das ampolas de Geissler não tivesse evoluído muito mais, apesar da importância da técnica da sua produção, não fora o interesse que da sua utilização resultou por parte de William Crookes (1832-1919) e outros (Hittorf, Goldstein,...) e das leituras/ hipóteses que foram sendo colocadas a partir da experimentação produzida sobre os fenómenos luminosos observados. Mas o que se estava a passar? Que características físicas tinham os feixes luminosos observados? Haveria alterações na presença de magnetes? Atravessariam obstáculos? De onde provinham? Estas e outras questões foram permitindo materializações diversas dos tubos/ ampolas, ilustrativos de diferentes aspectos do comportamento dessa radiação misteriosa (ex.: cruz de Malta,

tubo de raios catódicos, ‘borboleta’,...), Figs 1 e 2. Daí um arsenal de ampolas para o ensino dos fenómenos que se pretendia evidenciar. Jogavam-se conceitos e modelos ilustrativos do átomo, aquele ‘ente’ inicialmente entendido como indivisível e que agora era sujeito de questionamento e elucubração de detalhes sobre a sua interioridade. Daí até à consideração da materialidade das partículas constituintes do feixe observado, às suas características eléctricas e magnéticas, percorremos toda a segunda metade do século XIX para chegarmos à introdução do conceito, por Stoney (1826-1911), de unidade fundamental da quantidade de electricidade, por ele também baptizada de *electrão* (1891), a que correspondeu, por tempo efémero, a sua congénere portuguesa: *electronte*.<sup>xxxiii</sup>

O tubo de raios catódicos, presença habitual nas escolas secundárias, Fig.3, é também instrumento icónico da descoberta do electrão por J.J. Thompson (1856-1940), no Cavendish Laboratory, em Cambridge.

Estes instrumentos – ampolas em vidro e metal, com formas variadas, apelando por vezes à emoção estética, antigos e ‘mortos’ (o ‘vazio’ que mantinham, ter-se-á perdido na natural degradação dos selantes que as mantinham adequadas para a experimentação) ou novos e “vivos” (pois que perduram nos laboratórios dos séculos XX e XXI), ilustram um pouco a potencialidade que ainda lhes reconhecemos, de os olhar e perceber, em contexto histórico da sua utilização, de identificação de razões científicas pelas quais podemos ser levados a reconstruir modelos iniciais de como são os átomos, de percebermos qual o papel que a tecnologia e seu(s) inventor(es) tiveram na obtenção daqueles instrumentos, ou de simplesmente os olharmos e apreciarmos enquanto artefactos de arte ou na sua ligação a Crookes, numa visão pouco ortodoxa da imagem do cientista e muito mais social e comercial, como quando se dedicava à validação da materialização dos espectros.

### *Conclusão*

Existem potencialidades na revisitação e estudo de instrumentos científicos antigos e, nestes, também dos que consideramos como didácticos. Os instrumentos constituem ainda um amplo leque de trabalho para o historiador da ciência, na medida em que neles confluem saberes e práticas científicas e técnicas, reveladoras do contexto em que foram concebidos e utilizados (estejam eles intactos, alterados, ou quebrados), e dos seus protagonistas. Em algumas circunstâncias, podemos aperceber-nos ainda de potencialidades com interesse actual para o ensino, dado terem sido fabricados/construídos tendo em vista a sua utilização demonstrativa e/ou experimental. Permitem a sua contemplação, quer como objectos de arte, quer como testemunhos de um percurso evolutivo da própria ciência experimental, com designações ajustadas à particularidade das propriedades físicas a demonstrar, ou como ícones de uma dada descoberta fundamental. Em resumo, constituem testemunho da mediação do saber e nesse sentido também são importantes testemunhos da cultura científica, na qual hoje todos os cidadãos estão submersos.





Fig. 1 – Ampola com molinete - <<http://baudafisica.web.ua.pt>>

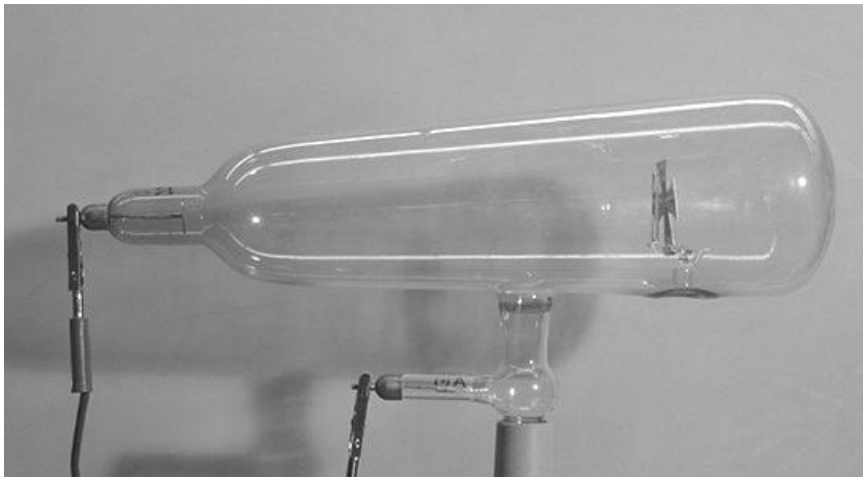
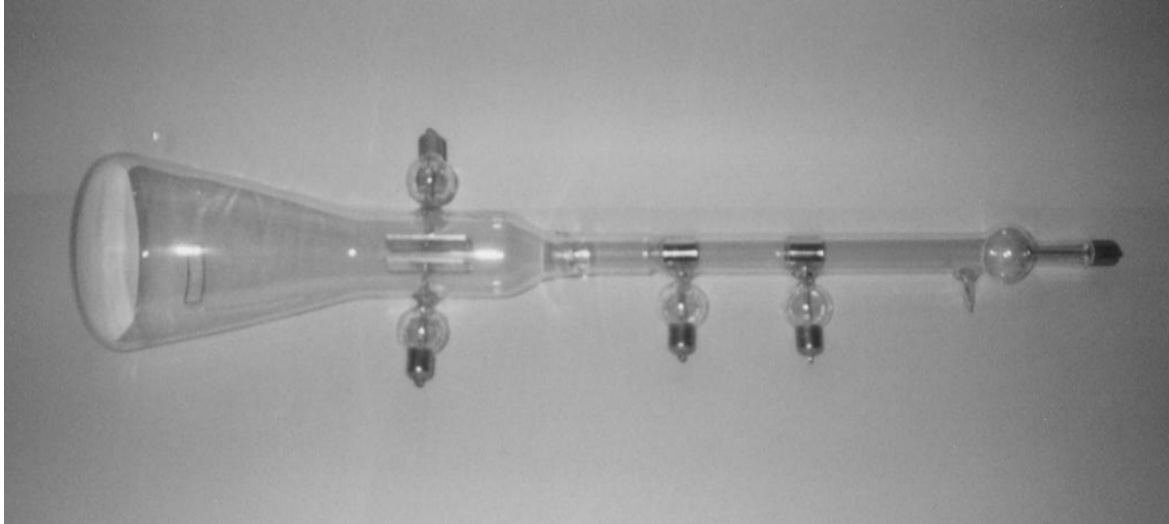


Fig. 2 – Ampola com Cruz de Malta - <<http://baudafisica.web.ua.pt>>

Fig. 3 – Tubo de raios catódicos - <<http://baudafisica.web.ua.pt>>



---

<sup>i</sup> Geymonat, Ludovico, *Elementos de Filosofia da Ciência*, Lisboa: Gradiva – Publicações, L.<sup>da</sup>, 1987.

<sup>ii</sup> Morrison, P.; Morrison, P.; Eames, Charles & Ray, *Potências de Dez*, Porto: Porto Editora, 2002, p. 128.

<sup>iii</sup> Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa, Círculo de Leitores, Lisboa, 2003.

<sup>iv</sup> Tradução livre de Bacon, produzida a partir de Van Helden, A. e Hankins, T., “Introduction: Instruments in the History of Science” in Van Helden & Hankins (eds), “Instruments”, *Osiris*, Vol. 9, 1993, pp. 1-6, p. 4.

<sup>v</sup> Taub, Liba, Introduction - Reengaging with Instruments, *Isis*, Vol. 102, Nr. 4, 2011, pp.689-696, p. 692.

<sup>vi</sup> Caraça, João, *Ciência*, Lisboa: Difusão Cultural, 1997, p. 68.

<sup>vii</sup> Dumas, Maurice, *Les Instruments scientifiques aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles*, Paris: Presses Universitaires de France, 1953.

<sup>viii</sup> Bennet, Jim, Early modern mathematical instruments, *Isis*, Vol. 102, Nr. 4, 2011, pp. 697-705.

<sup>ix</sup> Warner, Deborah Jean, What is a Scientific Instrument, When did it become one, and Why?, *Brit. J. Hist. Sci.*, 1990, 23: 83-93.

---

<sup>x</sup> idem, nota vii.

<sup>xi</sup> Wolf, Abraham, *A History of Science, Technology and Philosophy in the XVIIIth Century*, 2<sup>nd</sup> edition, Bristol: Thoemmes Press, 1999, p. 30.

<sup>xii</sup> Torlais, Jean, “La Physique expérimentale” in Bedel, Ch.; Hahn, R.; Laissus, Y.; Torlais, J., *La curiosité scientifique au XVIII<sup>e</sup> siècle – Cabinets et Observatoires*, Paris: Hermann, 1986.

<sup>xiii</sup> Heilbron, J.L., *Electricity in the 17th and 18th centuries: a study of early modern physics*, University of California Press, 1979.

<sup>xiv</sup> Brunet, Pierre, *Les physiciens hollandais et la méthode expérimentale en France au XVIII<sup>e</sup> siècle*, Paris: Librairie Scientifique Albert Blanchard, 1926, pp. 40-42.

Boerhaave, Hermann, Sermo academicus de comparando certo in physicis, Lugduni Batavorum: apud P. Van der Aa, 1715. Proferido a 8 de Fevereiro de 1715.

<sup>xv</sup> idem, nota v, pp.689-696.

<sup>xvi</sup> Turner, G. L'E., “Eighteenth-Century Scientific Instruments and their Makers”. In Porter, Roy (editor) *The Cambridge History of Science*, Vol. 4, Cambridge: Cambridge University Press, 2003, pp. 511-535.

<sup>xvii</sup> Malaquias, Isabel, Le Cabinet de physique de Coimbra au XVIII<sup>e</sup> siècle, in Martin, Pierre et Moncond’huy, Dominique, *Curiosité et cabinets de curiosités*, Atlante, 2004, pp. 165-175.

<sup>xviii</sup> idem, nota vi.

<sup>xix</sup> idem, nota vi.

<sup>xx</sup> Malaquias, Isabel, Pinto, Manuel S., Searching for modernization – Instruments in the Development of Earth Sciences in Portugal (18<sup>th</sup> century), *Centaurus*, Vol. 53, 2011, pp. 116-134.

<sup>xxi</sup> Malaquias, Isabel, “Cultura, Ensino e Sociedade – Contributos para uma interligação”, *Revista de Educação*, Vol. XVII, nº 1, 2010, pp. 97-106.

<sup>xxii</sup> Guedes, Manuel Justo, “Ciência ou Técnica: Uma Coleção de Instrumentos Didáticos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto”, *Actas do 1<sup>o</sup> Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica*, Évora: Universidade de Évora. 2001, pp. 409-416.

<sup>xxiii</sup> Malaquias, Isabel; Vaz Gomes, Emília; Ramos Antunes, Ermelinda; Martins, Décio, O Ensino da Física no séc. XIX e o recurso didático a novos instrumentos de comunicação. In (eds.) Quintanilla, Miguel Angel, Encabo, Jesús Vega, *La ciencia ante el público – Cultura humanista y desarrollo científico-tecnológico*, Instituto universitario de Estudios de la Ciencia y la Tecnología, Salamanca, 2003, pp. 257-271.

<sup>xxiv</sup> Béguet, Bruno, *La Science pour Tous – Sur la vulgarisation scientifique en France de 1850 à 1914*, Paris: Bibliothèque du Conservatoire National des Arts et Métiers, 1990.

<sup>xxv</sup> idem, nota xxiii.

<sup>xxvi</sup> idem, nota xxii.

<sup>xxvii</sup> No projecto Baú da Física e Química – instrumentos antigos de Física e Química de escolas secundárias em Portugal, estudamos vários desses instrumentos antigos ainda sobreviventes em muitas escolas.

<sup>xxviii</sup> Ver <<http://baudafisica.web.ua.pt>> – aparelho de Ingenhouz

<sup>xxix</sup> Arnold, Ken; Söderqvist, Thomas, Medical Instruments in Museums – Immediate Impressions and Historical Meanings, *Isis*, Vol. 102, Nr. 4, 2011, pp. 718-729.

<sup>xxx</sup> Ver <<http://baudafisica.web.ua.pt>> – ovo eléctrico.

<sup>xxxi</sup> Ver <<http://baudafisica.web.ua.pt>> – tubos de descarga.

<sup>xxxii</sup> Ver <<http://baudafisica.web.ua.pt>> – motor para tubos de descarga.

<sup>xxxiii</sup> Saraiva, Carlos, *Evolução histórica da abordagem do electromagnetismo e indução eletromagnética nos livros de texto para o ensino secundário*. Dissertação de mestrado. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2003.

Saraiva, Carlos; Malaquias, Isabel; Valente, M.A., O Electromagnetismo nos Manuais de Física Liceais entre 1855 e 1974”, *Gazeta de Física*, 2007, pp. 36-42.