

# RAIOS QUÍMICOS E QUÍMICA RADIOSA\*

Mário N. Berberan e Santos

Centro de Química-Física Molecular e Instituto de Nanociência e Nanotecnologia, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa  
berberan@tecnico.ulisboa.pt

**Chemical rays and radiant chemistry** – *The International Year of Light and Light-based Technologies (IYL)* aims at “increasing the awareness among the public of the importance of light science, optics and light-based technologies.” In this spirit, we discuss here, in a historic and photochemical perspective, the symbols of Sun, Light and a few related topics including the nomenclature of light-related chemical elements and processes.

O Ano Internacional da Luz e das Técnicas nela Baseadas (AIL), destina-se a «mostrar a todos a importância da luz e das técnicas ópticas». Neste espírito, discutem-se, numa perspectiva histórica e fotoquímica, as representações do Sol e da luz e a respectiva base sensorial bem como a nomenclatura de alguns elementos e processos químicos relacionados.

## 1. DEFINIÇÃO DE LUZ

Luz, que em grego se diz *fos* (genitivo: *fotos*), e em latim *lumen* e *lux* (lume e luz), é geralmente definida como a parte visível (detectável pelo olho humano) da radiação electromagnética [1], o que está de acordo com a origem e uso comum do termo. No âmbito do AIL, e como é frequente em Física, admite-se que luz e radiação electromagnética são sinónimos.

## 2. REPRESENTAÇÕES DO SOL

O símbolo escolhido para o Ano Internacional da Luz, Figura 1, é um bom ponto de partida para a discussão das representações da luz e do Sol ao longo dos tempos, bem como de aspectos relacionados.



Figura 1 – Símbolo do Ano Internacional da Luz

O símbolo consiste num círculo central amarelo do qual partem raios lineares, que delimitam oito faixas onduladas, cada uma com a sua cor desmaiada. O círculo é o Sol, do qual partem raios de luz, e as manchas coloridas - que também representam bandeiras de países - traduzem o espectro visível (e o carácter internacional da comemoração). Os

raios mais longos, – que também são mastros –, com a sua descontinuidade, podem, talvez, sugerir a granularidade da energia radiante.

Por coincidência, os Prémios Nobel de Física e de Química 2014 estão relacionados com a luz, e os de 2015 com o Sol. Quanto a estes últimos, o de Física, atribuído a Kajita e a McDonald, pela «descoberta das oscilações do neutrino», foi feito, em parte, com neutrinos solares; o de Química, atribuído a Lindhal, Modrich e Sancar «pelos estudos mecanísticos de reparação do ADN», incluiu a eliminação dos dímeros de timina devidos à radiação ultravioleta solar.

De notar que a forma da representação convencional de um laser, designadamente em símbolos de perigo, Figura 2, tem algumas semelhanças óbvias com o símbolo do AIL, se excluirmos o feixe direccional específico.



Figura 2 – Representação convencional de um laser

Donde provieram as ideias para o símbolo do AIL, que pretende expressar aspectos essenciais da luz? Como tem por elemento central o Sol, principal fonte de luz natural (e, também, artificial, por via indirecta), é interessante examinar as representações que este tem tido ao longo dos séculos, e que resumem os seus atributos sensíveis.

**Disco Solar.** Atrás de nevoeiro, de nuvens não muito espessas, ou reflectido por um espelho de água, o Sol não ofusca e apresenta-se como um disco perfeito. Este também se vê, por vezes, ao amanhecer e no ocaso, embora deformado

\* Baseado, em parte, na comunicação apresentada por ocasião da jubilação do Prof. Hugh Burrows (Universidade de Coimbra), a quem é dedicado este trabalho.

pela refacção atmosférica. O *disco solar* é, assim, a representação mais simples e mais antiga do Sol, entidade desde sempre considerada imutável e incorruptível. Quando, na Europa do séc. XVII, Scheiner, Galileu e outros observaram as manchas solares [2], a incredulidade, primeiro, e o espanto, depois, foram grandes, dando origem, em França - pelo menos -, à expressão, ainda hoje usada, *Il y a des taches dans le soleil*, para significar a imperfeição do que parecia perfeito (aplicada, principalmente, a pessoas [3]). Encontramos o disco solar em inúmeros contextos e épocas, da pré-história à actualidade, por exemplo na ancestral bandeira do Japão, Figura 3, onde é vermelho, por se referir ao Sol Nascente.

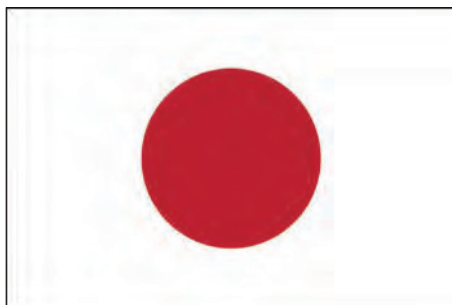


Figura 3 – O disco solar na bandeira do Japão

**Sol Irradiante.** Os raios crepusculares, observação atmosférica comum, Figura 4, permitem simbolizar a irradiação solar, juntando-se raios ao disco de luz.

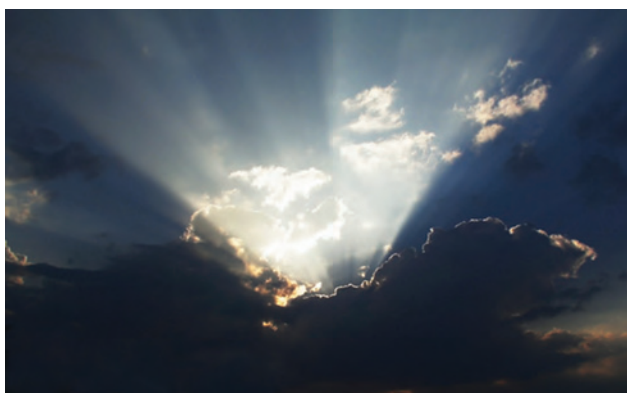


Figura 4 – Imagem de raios crepusculares

É uma representação solar que se encontra já em pinturas rupestres e é, talvez, a mais usada pelas crianças (provavelmente por imitação). Na Figura 5 apresenta-se – o que parece ser – um destes sóis, integrado num texto em escrita do sudoeste (ou tartéssica), linguagem ainda hoje incompletamente decifrada, que se lê da direita para a esquerda.



Figura 5 – Fragmento de texto numa lápide, em escrita do sudoeste, datado da Idade do Ferro (Museu Regional de Beja)

No Antigo Egipto usou-se, durante algum tempo, um Sol Irradiante assimétrico, o *Aten*, apenas com raios descendentes, que terminavam em mãos.

**Sol Flamejante.** No entanto, para além da luz que emana, o Sol aquece (comporta-se, aproximadamente, como um corpo negro com uma temperatura de 5800 K). Por analogia com um fenómeno quotidiano, o fogo, temos assim o *Sol Flamejante*, Figura 6, um círculo rodeado por línguas de fogo que dele irrompem. O alaranjado, comum em chamas, provém do ubíquo sódio, na forma atómica, cuja emissão é dominada pela linha D. O Sol Flamejante é um *sol químico*, cujos calor e luz proviriam de reacções de combustão, ideia antiga que se manteve até meados do séc. XIX, quando se concluiu da impossibilidade de uma combustão tão duradoura. Anteriormente, alguns teólogos haviam mesmo situado o Inferno neste astro.



Figura 6 – Exemplo moderno de sol flamejante

A radiação solar *infravermelha*, descoberta por William Herschel em 1800, e que este disse ser constituída por *raios caloríficos*, corresponde a quase metade da energia radiada pelo Sol. A sensação de calor devida à exposição directa da nossa pele ao Sol resulta, em grande parte, da absorção da radiação infravermelha. A fracção de radiação visível absorvida depende muito do tipo de pele, variando, muito aproximadamente, entre 60% e 90%, consoante a pigmentação. A absorção no visível é devida principalmente à melanina e à hemoglobina (sobretudo na forma oxigenada) e, no infravermelho (próximo e médio), à água.

**Sol em Esplendor.** A natureza dual da irradiação solar é reforçada usando-se conjuntamente os raios de luz e as línguas de fogo. Por razões de simetria, são quase sempre dispostos de forma alternada. É o *Sol em Esplendor* ou *em Glória*, de que são exemplos o sol jesuítico (séc. XVI) e a insígnia da Smithsonian Institution (instituição dedicada «ao aumento e difusão do conhecimento»), Figura 7.



Figura 7 – O sol jesuítico (Companhia de Jesus) e a insígnia da Smithsonian Institution

Encontramos a mesma simbologia em representações de Nossa Senhora da Conceição, Figura 8, baseadas na visão descrita no *Apocalipse*. Luz e calor são «efeitos próprios



**Figura 8** – O Sol em Esplendor numa imagem barroca de Nossa Senhora da Conceição (séc. XVIII, Igreja da Pena, Lisboa), «vestida de Sol, com a Lua debaixo dos pés» e uma coroa de doze estrelas na cabeça». Coroa que encontramos - sobre um fundo azul -, numa certa bandeira (veja-se CVCE.eu).



**Figura 9** – O jovem Rei-Sol na figura de Apolo, no *Ballet Royal de la Nuit* (1653)

do Sol», declara o Padre Manuel Bernardes na obra com o mesmo título (1696), em que luz significa entendimento e calor significa amor.

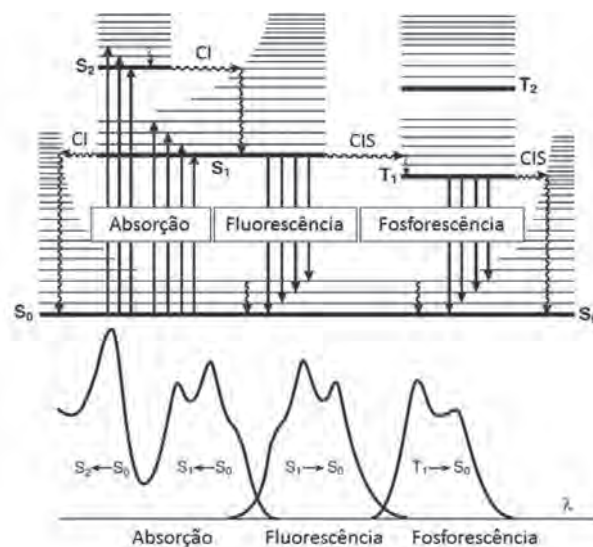
Luís XIV, Rei-Sol tardio – serôdio, até – na história da Humanidade [4], recorreu abundantemente à imagem do Sol em Esplendor, como se pode ainda ver nas decorações do Palácio de Versalhes. Aos 15 anos incompletos, protagonizou o sol nascente, na cena final do *Ballet de la Nuit*, de Cambefort (e outros), Figura 9, recriado no filme *Le Roi Danse* (2000).

A representação do Sol com os dois tipos de raios encontra-se também na heráldica medieval. Mas parece ser possível recuar muito mais, atendendo às estelas que simbolizam o deus Shamash (Babilónia, ca. 2100 a.C.), Figura 10.



**Figura 10** – Pormenor de uma estela referente ao deus Shamash (Museu do Louvre)

Curiosamente, as mesmas representações de luz e de calor surgem no diagrama de Perrin-Jablonski, Figura 11, concebido por fotoquímicos do séc. XX [5].



**Figura 11** – Diagrama de Perrin-Jablonski, em que os processos radiativos (isto é, de absorção e emissão de radiação) são representados por linhas rectas, e os processos não radiativos (podendo envolver libertação de calor) são representados por linhas onduladas

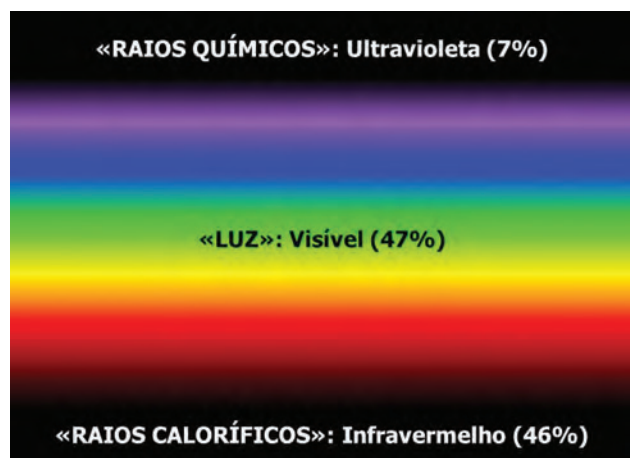
**Sol personificado.** Para além dos atributos referidos, o Sol pode ainda ser personificado, por vezes com a face bonacheirona de um deus benfazejo, Figura 12. Quem não recorda a fábula do Sol e do Vento?



**Figura 12** – O Sol sorridente, símbolo do movimento anti-nuclear desde 1975



**Figura 13** – O Sol personificado. Da esquerda para a direita: numa das gravuras de Dürer sobre o *Apocalipse* (1498); No claustro do Mosteiro dos Jerónimos (1.ª metade do séc. XVI); na abóbada da Igreja de S. Francisco, em Évora (sécs. XV-XVI); tal como figura na bandeira da Argentina

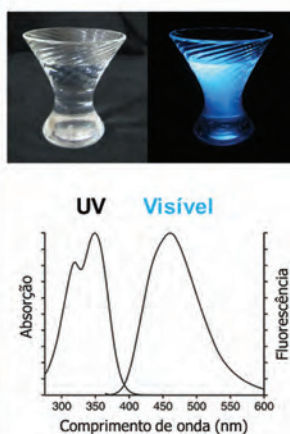


**Figura 14** – Os três principais tipos de radiação electromagnética solar (durante algum tempo ditos raios químicos, raios coloríficos e raios caloríficos), com a respectiva repartição energética (fora da atmosfera terrestre)

fogueiras (como é tradição nos Santos Populares). Nos dias de hoje, o Sol ainda é lembrado semanalmente – em algumas línguas –, mas os templos em que os seus adoradores se prostram desfizeram-se em areia.

### 3. OS RAIOS QUÍMICOS

Existirão apenas «luz e calor» na radiação electromagnética solar? Sabemos que não. A acção redutora da luz sobre a prata foi descoberta por Scheele, em 1777, com cloreto de prata. Ritter (1801) e, quase em simultâneo, Wollaston (1802), usando um prisma, estabeleceram a existência de um terceiro tipo de radiação, situada na zona obscura que se segue ao violeta: O cloreto de prata colocado nessa zona, onde não se via luz, escurecia mais depressa (devido à formação de prata metálica) do que o que ficava sob a luz violeta. Era o efeito de raios invisíveis, *ultravioletas*, Figura 14. Pelo maior efeito transformador, Wollaston chamou-lhes *raios químicos*.



Stokes observou, em 1852, que esta “luz negra”, como por vezes se diz, pode ser convertida em “luz visível” usando a fluorescência da quinina (já descrita por John Herschel, filho de William Herschel), Figura 15. Ao mover um tubo de ensaio contendo uma solução deste composto ao longo do espectro solar – de novo obtido com um prisma –: «It was certainly a curious sight to see the tube instantaneously light up when plunged into the invisible rays: it was literally dar-

**Figura 15** – À esquerda: Sulfato de quinina («das quininas de S. Tomé»), um anti-malárico clássico, e alguns pedaços de casca da quina, donde era extraído, bem como a estrutura da quinina. À direita: A água tônica, que contém quinina (60 a 70 mg/L), vista com luz ambiente (incolor) e sob UV-A (fluorescência azul), e os espectros de absorção e emissão da quinina, que demonstram *claramente* a lei de Stokes

kness visible. Altogether the phenomenon had something of an unearthly appearance» [5,7].

A radiação ultravioleta solar que atinge a superfície terrestre corresponde ao intervalo 290 nm - 380 nm, convencionalmente dividido em ultravioleta A, UV-A (320 nm - 380 nm) e ultravioleta B, UV-B (290 nm - 320 nm). A radiação ultravioleta solar de maior energia, no ultravioleta C, UV-C (200 nm - 290 nm), é completamente absorvida na estratosfera pelo ozono e pelo O<sub>2</sub> atmosféricos. Já a radiação UV-B, responsável tanto pela síntese da vitamina D como por cânceres cutâneos (o ADN absorve abaixo dos 320 nm, sofrendo degradação fotoquímica, como se referiu - e a sua reparação nem sempre é eficaz), entre outros efeitos nocivos, é parcialmente transmitida, numa proporção que depende da concentração (integrada) de ozono. A radiação UV-A não é absorvida na atmosfera, sendo apenas afectada pela difusão [8], e também tem alguns efeitos adversos.

#### 4. OS LIMITES DO VISÍVEL

A região visível do espectro electromagnético, que corresponde aproximadamente ao intervalo entre 380 nm e 780 nm, nada tem de especial, do ponto de vista físico. Mas, sendo o homem a medida de todas as coisas (Protágoras), a radiação desse intervalo tem um nome próprio: luz, cunhado muito antes de se saber o que era radiação electromagnética, e que o espectro visível se prolongava, sem descontinuidade, quer para os menores comprimentos de onda (ultravioleta), quer para os maiores (infravermelho). Deste modo, “luz visível” parece ser uma redundância, e “luz negra” um contra-senso. No entanto, os limites do intervalo são definidos por convenção, pois não são universais, dependendo a resposta fisiológica da idade, entre outros factores. Por exemplo, a transmitância do cristalino, Figura 16, decresce de forma pronunciada e contínua a partir dos trinta anos de idade, principalmente na região violeta-azul. Fala-se, assim, por vezes, em luz ultravioleta e em luz infravermelha.

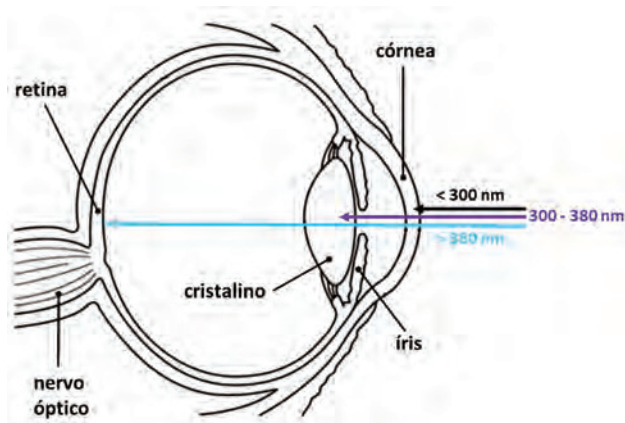


Figura 16 – Esquema do olho humano

Como justificar que a resposta do olho humano esteja (aproximadamente) contida no intervalo entre 380 nm e 780 nm? O limite inferior, 780 nm (ou menos), compreende-se, dado o espectro de absorção electrónica do retinal, cromóforo da rodopsina, por sua vez contida nos receptores

(cones e bastonetes) espalhados pela retina, Figura 16. No entanto, a absorção, se começa nos setecentos e tantos nm, não termina a 380 nm, sabendo-se haver resposta dos receptores até aos 300 nm, pelo menos (abaixo deste comprimento de onda, as proteínas começam a absorver radiação, sobretudo devido ao triptofano – e a barreira, no olho, passa a ser a córnea). A explicação está na acção filtrante do cristalino, que contém um composto específico, glicosídeo de 3-hidroxiquinurenina, um metabolito do triptofano, que absorve significativamente a partir dos 380 nm (supõe-se que para reduzir a aberração cromática). De facto, todos aqueles que não possuem cristalino (olho afáquico), seja por defeito de nascença, acidente ou operação às cataratas (sem que este tenha sido substituído por uma lente com características espectrais idênticas), conseguem ver radiação ultravioleta. Esta é descrita como tendo uma tonalidade violeta-azulada, o que pode ser entendido pela forma da resposta espectral dos três receptores da cor (cones) no UV [5].

#### 5. A LUZ E A NOMENCLATURA QUÍMICA

É nas estrelas que se formam os elementos químicos, com excepção do hidrogénio [9]. No nosso Sol, o produto principal é - por enquanto - o hélio que, aliás, aí foi descoberto, por observação espectroscópica de uma risca desconhecida [10]. A descoberta a partir dos respectivos espectros de absorção ou de emissão sucedeu, no total, com seis elementos:

**Hélio** (Lockyer, 1868): Gr. *helios*, Sol.

**Gálio** (Boisbaudran, 1875): L. *Gallia*, França.

**Hólmio** (Cleve, Delafontaine e Soret, 1878): L. *Holmia*, Estocolmo.

**Samário** (Boisbaudran, 1879): do mineral *samaraskite*.

**Disprósio** (Boisbaudran, 1886): Gr. *dysprositos*, difícil de obter.

**Európio** (Demarçay, 1901): de *Europa*.

A emissão do hélio, amarelada-alaranjada, possui uma risca intensa característica, D<sub>3</sub>, muito próxima da risca D do sódio [10]. A emissão do gálio possui uma risca característica no violeta. Já a emissão do európio pode ser azulada ou avermelhada, consoante se trata de Eu(II) ou Eu(III), com pouca influência dos ligandos. A emissão vermelha pode ser facilmente observada nas notas de euro, quando sujeitas a radiação ultravioleta.

Outros quatro elementos devem o seu nome à cor conferida à chama em que são introduzidos, devida aos respectivos espectros de emissão atómica:

**Césio** (Bunsen e Kirchhoff, 1860): L. *caesium*, azul celeste.

**Rubídio** (Bunsen e Kirchhoff, 1861): L. *rubidus*, rubro.

**Tálio** (Crookes, 1861): Gr. *thallos*, talo ou rebento verde.

**Índio** (Reich e Richter, 1863): com a cor do *indigo* (ou anil).

Também os seguintes sete elementos têm um nome relacionado com a sua cor, quando puros ou em combinação:

**Cloro** (Scheele, 1774): Gr. *chloros*, verde claro.

**Crômio** (Vauquelin, 1797): Gr. *chroma*, cor.

**Zircônio** (Klaproth, 1789): Ár. *zargun*, dourado.

**Írídio** (Tennant, 1803): L. *iris*, arco-íris.

**Ródio** (Wollaston, 1803): Gr. *rhodon*, rosa.

**Iodo** (Courtois, 1811): Gr. *iodes*, violeta.

**Praseodímio** (Welsbach, 1885): Gr. *prasios didymos*, gêmeo verde.

Finalmente, existem três elementos cujos nomes estão associados a radiação (electromagnética ou corpuscular):

**Fósforo** (Brand, 1669): Gr. *phosphoros*, portador de luz.

**Rádio** (Pierre e Marie Curie, 1898): L. *radius*, raio.

**Actínio** (Debiere, 1899): Gr. *aktinos*, raio.

A designação *fosforescência* para uma emissão prolongada de luz, sem calor associado, vem da Antiguidade Clássica, e qualquer substância com essas propriedades era designada por *fósforo* (era também esse o nome antigo da *Estrela d'Alva* - o planeta Vénus enquanto “estrela da manhã”). A emissão podia ser consequência de, por exemplo, aquecimento (*termoluminescência*) ou exposição prévia ao Sol (um caso de *fotoluminescência*). No elemento químico fósforo, a emissão resulta de uma combustão espontânea, quando o sólido é exposto ao ar, e a espécie responsável é um excímero (dímero excitado, instável no estado fundamental) do monóxido de fósforo, que se forma durante a combustão, na mistura gasosa junto ao sólido. Trata-se, em rigor, de *quimioluminescência* (presentemente, a definição de fosforescência é diferente e mais restritiva, Figura 11, não se aplicando à luminosidade do fósforo).

Nos dois outros elementos, a emissão de luz é indirecta e resulta da sua elevada radioactividade, que ioniza e excita moléculas próximas, como o  $N_2$  do ar, tornando-as luminiscentes (*radioluminescência*).

Um outro elemento, o flúor, está associado, pelo nome, ao fenómeno de *fluorescência*, mas não devido às suas propriedades luminosas, que não tem. De facto, as palavras flúor e fluorescência têm a mesma raiz, *fluores*, latinização, devida a Agricola (*Bermannus sive de re metallica*, 1530), do nome dado pelos mineiros alemães a um mineral, *flusse*, que depois se chamou *espato-flúor* (alemão *flußspat*, francês *spath-fluor*, inglês *fluorspar*) [11] e, muito mais tarde, *fluorite*. Trata-se de fluoreto de cálcio impuro, servindo, na época, em fundições, como *fundente* de metais, facilitando a sua fusão e fluxo (ou seja, um *fluidificante*, se usarmos um termo emprestado à Farmacologia), tal como sucede com a castina (calcário). A fluorite pura é transparente, mas o mineral é quase sempre colorido, devido a várias impurezas metálicas. Por ser fácil de riscar e partir (tem apenas 4 na escala de Mohs), não era valorizado como jóia, mesmo quando sem imperfeições nem opacidades e, assim, quando era púrpura, dizia-se ser uma falsa ametista, quando amarelo, um falso topázio, quando vermelho, uma falsa granada ou um falso rubi, quando verde pálido uma falsa água-marinha e, quando verde, uma falsa esmeralda [12]. No entanto, em 1819, Clarke, professor de mineralo-

gia em Cambridge, estudou e descreveu entusiasticamente um espécime «verde esmeralda» proveniente do norte de Inglaterra (condado de Durham), de variedade até então desconhecida: «The crystals [of the Durham fluor] surpass in magnificence and in the beauty of their crystallizations any other mineral substance I have ever seen.» [7] Esta fluorite tinha ainda uma particularidade muito rara: apresentava uma segunda cor (dicroísmo), «azul safira», se iluminada pelo Sol, Figura 17.



**Figura 17** – A fluorite verde de Durham e o seu dicroísmo (mina de Rogerley)

Este dicroísmo do espato-flúor, e de outras substâncias, foi estudado por John Herschel, que o considerou – erradamente – um fenómeno superficial novo, dando-lhe, em 1845, o estrambótico nome de *dispersão epipólica*. Poucos anos depois, Stokes, também em Cambridge, reconheceu neste dicroísmo uma propriedade marcante, já referida a propósito da quinina: o desvio para maiores comprimentos de onda, da emissão em relação à absorção (lei de Stokes), e considerou que se tratava de uma reflexão especial, acompanhada de dispersão (mudança de comprimento de onda). Mas escreveu (1852): «Dispersive reflection. I confess I do not like this term. I am almost inclined to coin a word, and call the appearance fluorescence, from fluorspar, as the analogous term opalescence is derived from the name of a mineral» [5,7]. Assim surgiu a palavra *fluorescência*, associada a um mineral que, quando puro, é incolor e não fluoresce. A cor da fluorite de Durham é principalmente devida a samário (II), e a fluorescência a európio (II) [5,7].

E o flúor? Sabia-se, desde 1670, que o espato-flúor (fluorite), quando atacado por ácidos fortes, como o sulfúrico, produzia vapores corrosivos, que atacavam, por sua vez, o vidro. Tratava-se de um novo ácido, a que Lavoisier, no seu *Tratado*, chama *ácido fluórico*, e cujos sais eram os *fluatos* (fluoreto de cálcio = fluato de cal). A composição do radical fluórico era desconhecida, mas possuiria oxigénio (como todos os ácidos, segundo Lavoisier). Em 1811, em carta a Davy, Ampère sugere que o radical não possui oxigénio, como sucede com o cloreto no ácido clorídrico, e propõe o nome *flúor*. Davy, depois de várias experiências, confirma a semelhança com o cloro, e adopta a designação de Ampère [13]. O isolamento do flúor (sob a forma de  $F_2$ ) só foi conseguido por Moissan em 1886, por via electroquímica, após sofrer quatro intoxicações graves. Anteriormente, os vapores de HF já tinham provocado a morte de vários químicos que tentavam isolar o flúor [14].

Temos, como se viu, um total de vinte elementos cujos nomes estão associados à luz. Se agora passarmos aos compostos químicos, poderemos certamente enumerar milha-

res de nomes não sistemáticos, principalmente devidos à cor que possuem, ou à de algum composto de origem a partir do qual são nomeados. Mas há também nomes relacionados com a luz por outras razões, por exemplo amoníaco (composto de Amon-Rá, deus egípcio do Sol), fosfénio (gerado pela luz), fluoreno (por ser fluorescente) e luminol (por ser quimioluminescente).

Modernamente, usa-se a designação *fluoróforo* para qualquer grupo fluorescente (v. Figura 15), à semelhança de *cromóforo* (o que confere cor) para qualquer grupo absorvente. E ainda as categorias genéricas *luciferina* (substrato) e *luciferase* (enzima), devidas a Dubois [15], para descrever a bioluminescência, sendo *lucifer* a forma latina do grego *phosphoros*. Bioluminescência de que é exemplo o *pirilampo*, Figura 18, nome erudito proposto «nas Conferências Académicas, que se fizeram no ano de 1696 na livraria do Conde da Ericeira» [16], para substituir o vernáculo vicentino com que se designava este «inseto luzente». Recorreu o proponente (o próprio Bluteau?) a Plínio, que usara o grego *lampyris*, de *lampas* (tocha) e *pyr* (fogo) [16]. «A alguns pareceo este nome pirilampo affectado, outros foraõ de parecer, que se admitisse em obras Epicas (...)»



Figura 18 – Exemplar de *luciola lusitanica* (Praia da Adraga, Sintra)

Encontramos o neologismo na obra poética da Marquesa de Alorna (Alcipe), designadamente na cantiga (muito provavelmente nunca musicada) [17]:

A um pyrilampo,  
Encantador pyrilampo,  
Adorno da noite em Maio,  
Vem luzir neste meu canto,  
Dá-me desses teus um raio.

(...)

Não queria viver mais  
Que o tempo que tu existes:  
De que servem tantos dias  
Quando são todos tão tristes?

Luz biológica, luz efémera, ao contrário da *Lux Aeterna* (parte final do *Requiem* antigo), que anula as trevas e o silêncio, também eterno, dos espaços infinitos [18].

## 6. CONCLUSÃO

Tocámos ao de leve em alguns aspectos importantes – ou só curiosos – da luz, nas suas relações com a química e com a biologia. Muitas das aplicações actuais da Fotoquímica, de que não se falou, são descritas, em pormenor, no livro *Applied Photochemistry* (Springer, 2013), editado por Rachel Evans, Peter Douglas e Hugh Burrows, cuja leitura se recomenda vivamente.

## REFERÊNCIAS E NOTAS

- [1] B. L. Diffey, *Methods* **28** (2002) 4-13
- [2] A. Secchi, «Le Soleil», 2<sup>e</sup> éd., Gauthier-Villars, Paris, 1875
- [3] Existe, em Portugal, uma saborosa expressão popular com o mesmo sentido, certamente muito mais antiga: *santo de pau carunchoso*.
- [4] O nome do faraó Tutankamon (1332-1323 a.C.) (filho simbólico do Sol, isto é, de Amon-Rá) significa «a imagem viva (*tutank*) de Amon». Já o seu progenitor Amenófis IV (tema da ópera *Akhnaten* de Philip Glass) promulgara o culto exclusivo do Sol.
- [5] B. Valeur, M.N. Berberan-Santos, «Molecular Fluorescence. Principles and Applications», Wiley-VCH, Weinheim, 2012
- [6] Os sais de prata estiveram na base da *fotografia* (termo devido a John Herschel, que também inventou a palavra *actinómetro*) durante mais de 150 anos.
- [7] B. Valeur, M. N. Berberan-Santos, *J. Chem. Educ.* **88** (2011) 731-738
- [8] L. O. Björn, (ed.), «Photobiology. The Science of Life and Light», 2<sup>nd</sup> ed., Springer, New York, 2008
- [9] Também há alguma formação de elementos na Terra, quer naturalmente (por exemplo de rádio, rádon, hélio e chumbo, provenientes da desintegração do urânio e do tório, e de carbono-14, devido aos raios cósmicos), quer artificialmente, por exemplo o flúor-18 e o tecnécio-99.
- [10] M. N. Berberan e Santos, *Química* **50** (1993) 34-42
- [11] Espato (alemão e francês *spath*, inglês *spar*) é um nome antigo para qualquer mineral facetado (clivável, ou seja, que se divide em lâminas ou fragmentos igualmente facetados) e que portanto tem arestas, como uma *espada* (*spear*). Os espatos mais vulgares são o feldspato, presente no granito, e a calcite, com a forma mais pura chamada Espato da Islândia.
- [12] Vicente Coelho de Seabra Silva e Telles, «Elementos de Química», Parte II, Coimbra, 1790
- [13] J. R. Partington, «A History of Chemistry», vol. 4, Macmillan, London, 1964
- [14] M. E. Weeks, «Discovery of the Elements», *J. Chem. Educ.*, 5<sup>th</sup> ed., 1948
- [15] R. Dubois, «La vie et la lumière», Félix Alcan, Paris, 1914
- [16] R. Bluteau, «Vocabulário português e latino», Coimbra, 1712-1728

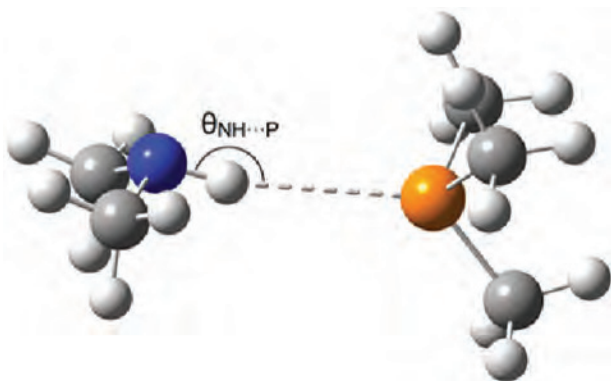
[17] «Obras poéticas de D. Leonor d'Almeida Portugal Lorena e Lencastre, Marquiza d'Alorna, Condessa d'Assumar e d'Oeyhausen, conhecida entre os poetas portugueses pelo nome de Alcipe», Tomo II, p. 263, Imprensa Nacional, Lisboa, 1844. Veja-se também, no mesmo volume, o apólogo *O Pylampo e o Sapo*, p. 351.

[18] «Le silence éternel de ces espaces infinis m'effraie» (Blaise Pascal, *Pensées*, Gallimard, 2004). A *Lux Aeterna* de Ligeti foi usada no filme *2001: Odisseia no Espaço* (1968).

## ACTUALIDADES CIENTÍFICAS

### LIGAÇÃO DE HIDROGÉNIO ENVOLVENDO ÁTOMOS DE FÓSFORO

Investigadores na Dinamarca detectaram, pela primeira vez, uma ligação de hidrogénio entre um átomo de fósforo e N-H, em fase gasosa.



As ligações de hidrogénio têm sido estudadas extensivamente nos últimos anos e as técnicas espectroscópicas têm tido algum sucesso na sua identificação, em particular das que envolvem os átomos de F, O, N ou S.

O fósforo é considerado um elemento que produz interações fracas deste tipo e até agora não tem havido evidências claras na identificação de ligações de hidrogénio envolvendo estes átomos. No entanto, uma equipa de investigadores da Universidade de Copenhaga identificou recentemente uma ligação de hidrogénio N-H...P num aducto de dimetilamina-trimetilfosfina no estado gasoso, usando FTIR. Os investigadores concluíram que o carácter aceitador do fósforo nestas interações é semelhante ao do enxofre.

(Fontes: “IR spectroscopy stretches knowledge of hydrogen bonding”, <http://www.rsc.org/chemistryworld/2015/11/rare-hydrogen-bond-phosphorus> e K.H. Møller, A.S. Hansen, H.G. Kjaergaard, “Gas Phase Detection of the NH–P Hydrogen Bond and Importance of Secondary Interactions”, *J. Phys. Chem. A*, 119 (2015) 10988-10998)

Paulo Mendes  
(pjpgm@uevora.pt)



Contribua para a  
BOA QUÍMICA das  
suas revistas!

