

ASSOCIAÇÃO JUVENIL DE CIÊNCIA



# CIÊNCIA

Número 33/34 Jul-Dez 2003 Distribuição Gratuita



Último número da  
CiênciaJ ???  
Lê o editorial para saberes mais

Como decerto reparaste, a *CiênciaJ* esteve suspensa durante alguns meses. Isso ficou a dever-se a problemas financeiros da Associação Juvenil de *Ciência*. Uma vez resolvidos, e para recuperar o triste atraso incorrido, impõe-se um número duplo, com o material que normalmente surgiria nos dois números que competem ao final de 2003.

Acaba assim por ser este o número em que me despeço da *CiênciaJ* na qualidade de director, cargo que abandono no fim deste ano. Ao longo de mais de três anos tentei levar a cabo, por intermédio da *CiênciaJ*, os fins da Associação Juvenil de *Ciência*: «a promoção e difusão de actividades culturais, científicas e educacionais entre os jovens em geral e os sócios em particular» (artigo 2º dos Estatutos). Nunca teria podido fazê-lo sozinho. Os colaboradores da *CiênciaJ* são muitos, e cada um deles foi imprescindível para que este projecto pudesse ser o que hoje é. Aqui fica a minha gratidão para com todos.

Quanto à frase da capa, é deliberadamente provocatória. Neste momento a maior ameaça à continuidade da *CiênciaJ* é a falta de sócios interessados em integrar a nova direcção da revista. Como já aqui disse, as tarefas da direcção são três:

- a) montagem gráfica da revista;
- b) montagem da página na Internet;
- c) direcção propriamente dita (inclui entre outras coisas seleccionar material, rever artigos, e burocracias diversas).

Nenhuma das três é trivial, mas nenhuma é impossível, e sobretudo acho que posso dizer que é possível que cada uma delas seja divertida (até mesmo as burocracias diversas). Portanto, aqui fica um repto a todos os sócios: se queres participar neste projecto e fazê-lo continuar, contacta a Associação Juvenil de *Ciência* (por exemplo, por e-mail).

Visto que cada número da *CiênciaJ* é preparado com alguma antecedência, e que os problemas que impediram a sua publicação regular foram imprevistos, já tinha preparado um editorial para o número 33. Aqui fica, na página 21, na esperança de que os assuntos de que trata despertem o interesse — e a actividade intelectual — de quem os ler. 

<b>Capa</b> .....	1
Fotografia de Matusalem Marques.	
<b>Prelúdio</b> .....	2, 30, 42
E tu, já sabes porque é que as notas são sete?	
<b>O Universo e tudo o resto</b> .....	6
Porque é que a Terra é um planeta?	
<b>Encontro Juvenil de <i>Ciência</i></b> .....	7, 25, 27
Três temas bem diferentes: detecção de agentes mutagénicos; a vida dos ratos em Odemira; a exploração de minério radioactivo na Guarda.	
<b>Humor</b> .....	7
O <i>cartoon</i> com que se despede o Bell, um colaborador assíduo da CJ.	
<b>Fusão, Energia e Ambiente</b> .....	8
Uma antiga secção que volta à vida pela pena do primeiro director da CJ.	
<b>Avulso</b> .....	11, 14, 17
Três temas bem diferentes: uma prótese para invisuais; o uso de pesticidas; o entrosamento entre Arte e Biologia.	
<b>Um conto enredado</b> .....	12, 38, 45
Afinal todas as personagens deste conto são da mesma família. Este livro do Lewis Carroll termina que nem uma telenovela.	
<b>Átomo</b> .....	18, 33, 46
Da falência da Mecânica Clássica.	
<b>Outro editorial</b> .....	21
Sobre os graves problemas da promiscuidade entre pseudo-ciência e pseudo-religião.	
<b>Grupo de Imagem e Fotografia</b> .....	21
Tudo o que sempre quiseste saber sobre máquinas <i>reflex</i> digitais.	
<b>Escrita escondida</b> .....	22
Aqui podes ver como o pessoal se entretinha a esconder mensagens. Mas bem se lixavam que havia sempre quem desse a volta ao esquema.	
<b>AJC não pára</b> .....	37
Falta a reportagem do último Encontro Juvenil de <i>Ciência</i> , que teve lugar no Porto. Fica prometida para o próximo número da CJ!	
<b>BKD</b> .....	44
Soluções dos problemas de há dois números atrás.	

## Associação Juvenil de *Ciência* — Contactos de Norte a Sul

Sede — Contactos do Núcleo Regional de Lisboa — [ajc@ajc.pt](mailto:ajc@ajc.pt)

### Núcleo Regional de Braga

Rua dos Chãos 70, 2º andar, sala 4  
4710-230 BRAGA  
Tel. e Fax 253 615 238  
Telem. 966 657 296  
[nbraga@ajc.pt](mailto:nbraga@ajc.pt)

### Núcleo Regional do Porto

R. Alexandre Herculano 203 - 1º  
4000-054 PORTO  
Tel. 222 086 236  
Fax 222 086 205  
[nporto@ajc.pt](mailto:nporto@ajc.pt)

### Núcleo Regional de Coimbra

E. C. Universidade (Coimbra)  
Apartado 3007  
3001-401 COIMBRA  
[ncoimbra@ajc.pt](mailto:ncoimbra@ajc.pt)

### Núcleo Regional de Lisboa

R. Tomás Ribeiro 40 R/C Esq.  
1050-230 LISBOA  
Tel. 213 520 370  
[nlisboa@ajc.pt](mailto:nlisboa@ajc.pt)

## Ficha Técnica

### Edição / Propriedade

Associação Juvenil de *Ciência*

### Director

Duarte Valério

### Colaboraram neste número, entre outros...

Ana Raquel Pinto, Carina Gonçalves, Catarina S., Cláudia Matos Silva, Duarte Valério, Glória Almeida, Igor Espírito Santo, Joana Revez, João Afonso, João Alves, João Cortes, José Fernandes, José Raeiro, Kátia Almeida, Luís «Bell» Belerique, Luís Solano, Maria João Mendes, Maria Ramos Oliveira, Marta Franco, Marta de Menezes, Matusalem Marques, Miriam Pinto, Nuno Delicado, Rita Brito, Rita Domingos, Rita Ramos, Rudolf Appelt, Rui Duarte, Telmo Reinas e Núcleo Regional de Braga da AJC

### Edição Internet

<http://www.ajc.pt/cienciaj/>

### Redacção e Produção

#### CiênciaJ

Associação Juvenil de *Ciência*  
R. Tomás Ribeiro 40 R/C Esq.  
1050 - 230 LISBOA  
Tel.: 213 520 370  
e-mail: [cienciaj@ajc.pt](mailto:cienciaj@ajc.pt)

### Periodicidade

Trimestral

### Tiragem

3000 exemplares

### Impressão

Editorial do Ministério da Educação  
Estrada de Mem Martins, 4  
2726- 901 MEM MARTINS



### Depósito Legal

n.º 119965 / 98



## Música temperada

Neste artigo vão aparecer imensas contas de multiplicar e dividir. Muitas, mesmo. Espero que não desistas de ler o artigo por causa disso. Afinal de contas, já aprendemos todos a fazer essas contas há muitos anos, e não era difícil, pois não?

### Melodia, harmonia & Cia.

A Música serve-se tanto de sons de altura diferente que se fazem ouvir simultaneamente (é o caso de uma orquestra: cada instrumento produz um som diferente, e aquilo tudo junto — se ninguém se enganar... — soa bem), como de sons que se fazem ouvir sucessivamente (quando um cantor canta, em cada instante emite um só som, mas não está sempre a cantar sons da mesma altura: às vezes a música fica mais grave, às vezes mais aguda...).



Figura 1 — Orquestra.

Os sons que se fazem ouvir simultaneamente constituem uma *harmonia*. Os sons que se fazem ouvir sucessivamente constituem uma *melodia*.

### Notas e intervalos

Às diferentes alturas de sons que se usam na Música chama-se *notas*. A diferença de altura entre dois sons chama-se *intervalo*. Se esses dois sons se fazem ouvir simultaneamente, o intervalo é harmónico. Se esses dois sons se fazem ouvir sucessivamente, o intervalo é melódico.

Se num intervalo melódico o som mais grave vem antes do mais agudo, o intervalo diz-se ascendente. Se o som agudo vier antes do mais grave, o intervalo diz-se descendente.

Como não custa a perceber, os intervalos harmónicos não podem ser ascendentes nem descendentes, porque os sons soam ao mesmo tempo!

### Intervalos agradáveis ao ouvido

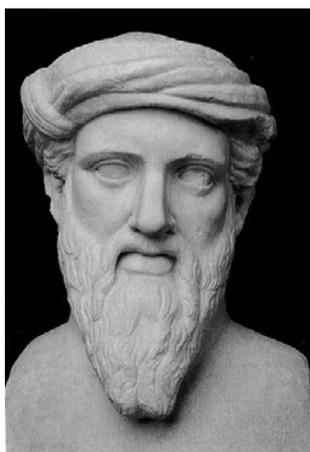


Figura 2 — Pitágoras (571 a.C. - 497 a.C.).

Nem todos os intervalos soam bem. Experimenta martelar ao calhas as teclas de um piano, e vais ver se soa alguma coisa de jeito! A questão de saber quais os intervalos que soam bem ocupou o pensamento dos gregos e dos chineses dos tempos que já lá vão.

Chegou-se à conclusão de que um intervalo soa bem ao ouvido se as frequências dos dois sons estiverem em certas proporções. As duas proporções mais simples são 1:2 (isto é, um para dois) e 1:3 (um para três).

Por exemplo, se fizermos soar um som com frequência de 300 Hz, e depois outro com frequência de

$2 \times 300 = 600$  Hz, isso vai-nos soar bem. Se os sons soarem simultaneamente, também isso soa bem aos nossos ouvidos. E se em vez do som de 600 Hz tivéssemos usado um de  $3 \times 300 = 900$  Hz, isso também tinha soado bem.

(Em abono da verdade, nem os gregos nem os chineses descobriram isto com frequências. Os gregos, por exemplo, entretiveram-se mas foi a estudar o que acontecia com instrumentos de cordas, quando se variava o comprimento das cordas. Também há uma história de que Pitágoras, dum vez que ouviu uns ferreiros a martelar, e achou que o resultado era bonito, foi pesar os martelos, e viu qual era a proporção dos pesos. Mas o mais fácil para nós é apresentar os resultados como proporções de frequências — e não como proporções de comprimentos de cordéis ou de pesos de martelos!)

### Comentários

Esta história das proporções merece já alguns comentários.

Considera um som de 40 Hz. Depois aumentamos a frequência de 40 Hz, e emitimos um som de 80 Hz. O que o ouvido humano detecta é a variação da frequência — que foi de 100% (o que corresponde, diga-se de passagem, à tal proporção 1:2 de que falámos atrás). Considera agora um som de 4000 Hz. Depois aumentamos a frequência de 40 Hz, tal como há pouco, e emitimos um de 4040 Hz. O que o ouvido humano detecta é a variação, uma vez mais, que neste caso é de  $40 / 4000 = 1\%$ . Isso é tão pouco que ninguém nota a diferença! E contudo a variação da frequência foi a mesma. Então porque é que de uma vez se dá conta, e doutra não? É que o que conta é a *razão* das frequências, não a *diferença*!

O segundo comentário é consequência do primeiro. Supõe a composição de dois intervalos: aplicamos primeiro aquela proporção de 1:2 de que falámos, e depois a outra, de 1:3. O resultado foi que dum vez duplicámos a frequência, e doutra triplicámos, pelo que a frequência final é *seis vezes maior* que a inicial. A este processo chama-se *somar intervalos*... O nome pode parecer enganador. As proporções de frequências *multiplicam-se*, não se somam!

(Há uma razão para este nome. Havemos de chegar lá no artigo que vem.)

Repara que se um som com uma frequência três vezes maior que outro soa bem juntamente com ele, tanto podemos multiplicar uma frequência por três, como dividi-la por três. Uma vez mais, o que conta é a proporção. Se multiplicarmos, e ficarmos com uma frequência maior e um som mais agudo, dizemos que estamos a *subir* a nota; se dividirmos, e ficarmos com uma frequência menor e um som mais grave, estamos a *descê-la*.

### A oitava

Ao intervalo que corresponde à proporção de frequências de 1:2 chama-se *oitava*. (A razão deste nome só vai ser explicada no artigo que vem... mas convém chamá-lo já pelo nome, para facilitar as coisas.) Duas notas que difiram de uma oitava soam ao ouvido humano de maneira muito semelhante.

Uma consequência disso é a seguinte. Consideremos um som qualquer — por exemplo, para fixar ideias, um som de 100 Hz. Sabemos que esse som e o som com  $3 \times 100 = 300$  Hz soam bem juntos. Ora, se agora *descermos uma oitava* o som de 300 Hz — isto é, se lhe dividirmos a frequência por 2, e ficarmos portanto com o som de  $300 / 2 = 150$  Hz —, então continuamos a ter um intervalo agradável ao ouvido.

### Várias notas dentro de uma oitava

Esta ideia de subir e descer oitavas vai-nos permitir fazer a seguinte *brincadeira* com intervalos (isto é, proporções de frequências — convém sempre lembrar...).

Consideremos um som qualquer com uma frequência a que vamos chamar 1. Uma oitava acima temos um som com uma frequência de 2. Ora, 1 Hz e 2 Hz, já vimos no último artigo, são coisas que ninguém ouve! Podíamos fazer isto com 100 Hz e 200



Hz, ou 1000 Hz ou 2000 Hz. Mas como o que conta são as proporções, o mais fácil aqui é começar em 1. Se quisermos, depois no fim é só multiplicar tudo por uma frequência qualquer.

Sabemos que o som com frequência 3 soa bem juntamente com o som de frequência 1. Vamos descê-lo uma oitava e ficar com o som de frequência 3/2, que está entre 1 e 2.

Vamos agora aplicar, a este som de frequência 3/2, outra vez o intervalo da proporção 1:3, para chegarmos a um som que soe bem juntamente com ele. O resultado é 9/2. Descemos uma oitava: dá 9/4. Isto ainda não está entre 1 e 2. Vamos descer outra oitava: dá 9/8.

E vamos continuar a fazer o mesmo: aplicamos a proporção 1:3, e depois descemos tantas oitavas quantas forem precisas para o resultado ficar entre as frequências 1 e 2.

Já temos três sons: 1, 3/2 e 9/8. O melhor é fazer um esquema, com um segmento de recta, usando as dízimas  $3/2 = 1,5$  e  $9/8 = 1,125$ , assim:

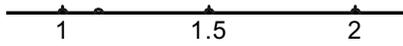


Figura 3 – Esquemazito para ajudar a perceber.

Vamos à frequência do quarto:

$$3 \times 9/8 = 27/8$$

$$(27/8) / 2 = 27/16 = 1,6875$$

Como isto já começa a ter números grandes, talvez mais valha escrever antes o seguinte:

$$27/16 = 3^3/2^4 = 1,6875$$

Está claro que, como começamos com 1, e só andamos a multiplicar por três e a dividir por dois, vamos chegar sempre a uma fracção em que o numerador é uma potência de 3, e o denominador é uma potência de 2.

Eis a frequência do quinto:

$$3 \times 3^3/2^4 = 3^4/2^4$$

$$(3^4/2^4) / 2^2 = 3^4/2^6 = 81/64 = 1,265625$$

O que fizemos foi aumentar o expoente do 3 no numerador de uma unidade, e depois aumentámos o expoente do 2 no denominador tantas vezes quantas foi preciso para o resultado ficar entre 1 e 2. (Não confies nestes números! Faz tu as contas!)

Vamos para o sexto som:

$$3^5/2^7 = 243/128 = 1,8984375$$

Sétimo:

$$3^6/2^9 = 729/512 = 1,423828125$$

Oitavo:

$$3^7/2^{11} = 2187/2048 = 1,06787109375$$

Nono:

$$3^8/2^{12} = 6561/4096 = 1,601806640625$$

Décimo:

$$3^9/2^{14} = 19683/16384 = 1,20135498046875$$

Décimo primeiro:

$$3^{10}/2^{15} = 59049/32768 = 1,802032470703125$$

Décimo segundo:

$$3^{11}/2^{17} = 177147/131072 = 1,35152435302734375$$

E agora vamos para o décimo terceiro. Multiplicamos o numerador por 3, e temos  $3^{12} = 531441$ . Multiplicamos o denominador por 2 uma vez, e depois outra, e ficamos com  $2^{19} = 524288$ ...

Ora bem, o quociente disto é 1,0136432647705078125. É praticamente 1, o valor com que começámos. E este novo som é praticamente indistinguível desse... O ouvido humano *não* consegue distinguir variações de frequência de 1,36%<sup>1</sup>.

### Destemperamento da música

O tal esquema com um segmento de recta que fizemos há bocado fica como na Figura 6.

Vamos lá ver isto melhor pondo tudo por ordem numa tabela, só com três casas decimais senão não nos entendemos, e calculando o aumento, em percentagem, das frequências. O resultado é a Tabela 1.

(Uma vez mais, não acredites nos números. Faz as contas tu próprio!)

Podemos ver duas coisas. Primeira, o tal décimo terceiro som difere do primeiro por um intervalo claramente muito mais pequeno que os outros. Segunda, os outros intervalos têm mais ou menos a mesma ordem de grandeza, sem serem exactamente iguais.

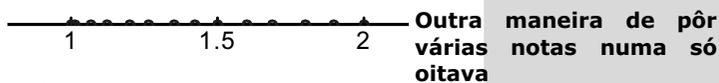


Figura 6 – Outro esquema com as notas que já arranjámos.

Outra maneira de pôr várias notas numa só oitava

Vamos aumentar ainda



Figura 4 – Violino (e violinista).  
Figura 5 – Uma guitarra.



Os dois primeiros trastos da guitarra.

<sup>1</sup> Bom, para dizer a verdade, há umas histórias duns violinistas que *conseguem* ouvir esses intervalos. É que os violinos (e os violoncelos, e as violas, e os contrabaixos, e algumas guitarras e baixos também) não têm trastos. Os trastos são aqueles filetes metálicos que costuma haver nos braços das guitarras, por exemplo. Havendo trastos, só se conseguem tocar as notas correspondentes aos comprimentos das cordas determinados pela posição dos trastos. Mas se um instrumento de cordas não tiver trastos, o instrumentista consegue tocar *qualquer nota* (o que à partida é mais difícil, mas permite fazer coisas que com trastos não se consegue...). Ora, à pala disso, e da experiência com esse género de instrumentos, parece que alguns violinistas (e outros instrumentistas que tais) conseguem ter sensibilidade auditiva a essas variações de frequência. Mas, seja como for, os violinistas são uma minoria da população. O pessoal normal *não* distingue 1,36% de frequência a mais ou a menos.



1,000	1,013	1,068	1,125	1,201	1,266	1,352	1,424	1,500	1,602	1,688	1,802	1,898	2,000
—	1,3%	5,4%	5,3%	6,8%	5,4%	6,7%	5,4%	5,3%	6,8%	5,4%	6,8%	5,3%	5,4%

**Tabela 1 - Aumentos percentuais da frequência para os sons de uma oitava.**

mais a confusão. Em vez de começarmos com o 1, multiplicarmos por 3, e dividirmos por 2 o número de vezes que for preciso para o resultado ficar entre 1 e 2, vamos fazer o seguinte: começamos no 2, dividimos por 3, e multiplicamos por 2 o número de vezes que for preciso para o resultado (que é um som que soa bem juntamente com aquele com que começamos) ficar entre 1 e 2.

Bem, agora as potências de 3 ficam no denominador, e as de 2 no numerador. Depois do primeiro som, que agora é 2, os resultados são os seguintes:

Segundo som:

$$2^2/3^1 = 4/3 = 1,(3)$$

Terceiro:

$$2^4/3^2 = 16/9 = 1,(7)$$

Quarto:

$$2^5/3^3 = 32/27 = 1,(185)$$

Quinto:

$$2^7/3^4 = 128/81 = 1,(580246913)$$

Sexto:

$$2^8/3^5 = 256/243 = 1,(053497942386831275720164609)$$

A parti daqui as dízimas infinitas periódicas ficam tão compridas que vamos mas é passar a pôr só um valor aproximado.

Sétimo som:

$$2^{10}/3^6 = 1024/729 \approx 1,4046639231824417010$$

Oitavo:

$$2^{12}/3^7 = 4096/2187 \approx 1,8728852309099222679$$

Nono:

$$2^{13}/3^8 = 8192/6561 \approx 1.2485901539399481786$$

Décimo:

$$2^{15}/3^9 = 32768/19683 \approx 1,6647868719199309048$$

Décimo primeiro:

$$2^{16}/3^{10} = 65536/59049 \approx 1,1098579146132872699$$

Décimo segundo:

$$2^{18}/3^{11} = 262144/177147 \approx 1,4798105528177163599$$

E assim chegamos ao décimo terceiro. Ficamos com  $2^{19}/3^{12} = 524288/531441 \approx 0,9865403685451442399$ , cuja variação para o som de frequência 1 é de apenas -1,3% — o mesmo de há bocado, mas com o sinal trocado. Para sermos fiéis ao plano de acabar sempre entre 1 e 2, multiplicamos por 2 e chegamos a 1,9730807370902884798, mas isso não resolve nada: uma vez mais é um valor a -1,3% de 2, aquele com que começamos.

Desta feita a tabela com as variações é a seguinte:

1,000	1,053	1,110	1,185	1,249	1,333	1,405	1,480	1,580	1,665	1,778	1,873	1,973	2,000
—	5,3%	5,4%	6,8%	5,4%	6,7%	5,4%	5,3%	6,8%	5,4%	6,8%	5,3%	5,3%	1,3%

**Tabela 2 - Outros aumentos percentuais da frequência para os sons dentro de uma oitava.**

E cá temos à mesma as duas características de há bocado: o tal intervalo que mal se ouve, que desta vez vem no fim; e os outros todos mais ou menos iguais, mas não completamente.

### Comparação

Ainda por cima, os valores de frequências a que chegámos pelos

1,000	1,068	1,125	1,201	1,266	1,351	1,424	1,500	1,602	1,688	1,802	1,898	2,000
0,0%	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%	1,3%	1,3%	0,0%
1,000	1,053	1,110	1,185	1,249	1,333	1,405	1,480	1,580	1,665	1,778	1,873	2,000

**Tabela 3 - Diferenças percentuais entre os resultados das duas tabelas anteriores.**

dois processos são parecidos entre si. Na Tabela 3 está a comparação, desprezando os intervalos minúsculos de 1,3% que conduziam às frequências

de 1,013 e 1,973.

Ora, todas estas diferenças entre a primeira e a última linhas são tão pequenas que nem se conseguem ouvir...

### A música temperada

O que se faz sempre é uniformizar estes intervalos todos. Como eles são doze, usa-se a décima segunda raiz de 2, isto é,  $^{12}\sqrt{2} \approx 1,0594630943592952646$  (o que é o mesmo que dizer que  $1,059^{12} \approx 2$ : e se não acredita, faz a conta). Os sons passam a ser:

$$1$$

$$1 \times ^{12}\sqrt{2} \approx 1,0594630943592952646$$

$$1 \times (^{12}\sqrt{2})^2 \approx 1,1224620483093729814$$

$$1 \times (^{12}\sqrt{2})^3 \approx 1,1892071150027210667$$

$$1 \times (^{12}\sqrt{2})^4 \approx 1,2599210498948731648$$

$$1 \times (^{12}\sqrt{2})^5 \approx 1,3348398541700343648$$

$$1 \times (^{12}\sqrt{2})^6 \approx 1,4142135623730950488$$

$$1 \times (^{12}\sqrt{2})^7 \approx 1,4983070768766814988$$

$$1 \times (^{12}\sqrt{2})^8 \approx 1,5874010519681994748$$

$$1 \times (^{12}\sqrt{2})^9 \approx 1,6817928305074290861$$

$$1 \times (^{12}\sqrt{2})^{10} \approx 1,7817974362806786095$$

$$1 \times (^{12}\sqrt{2})^{11} \approx 1.8877486253633869933$$

$$1 \times (^{12}\sqrt{2})^{12} = 2$$

A este processo de uniformização destes doze intervalos dentro de uma oitava chamou-se *temperamento dos intervalos*.

O intervalo que corresponde a uma variação da frequência de 5,9% chama-se *meio tom* (e a razão deste nome, para variar, só vem no próximo artigo).

### Razão do tempero

As vantagens do tempero são imensas.

A mais óbvia é a facilidade da *transposição*. *Transpor* uma melodia corresponde a aumentar ou diminuir igualmente a frequência de todos os seus sons. Como o que conta são as proporções, isto não altera a maneira como a música soa aos nossos ouvidos. Supõe então que tínhamos uma melodia que se servia das quatro primeiras frequências da Tabela 2: a segunda frequência é 5,3% maior que a primeira, a terceira é 5,4% maior que a segunda, e a quarta 6,8% maior que a primeira. Imagina agora que queríamos subir todos estes sons por forma a que o primeiro som não fosse o de frequência 1, mas sim outro qualquer mais agudo... Procura bem tanto na Tabela 1 como na Tabela 2 e verás que nunca mais surgem quatro sons entre cujas frequências haja estes três aumentos de 5,3%—5,4%—6,8%! Então o que é que tínhamos de fazer? Das duas uma. Podíamos criar *ainda mais sons* dentro da mesma oitava, por forma a respeitar todas as sequências de proporções possíveis. Mas os novos sons ficavam muito perto dos que doze que já tínhamos... E era preciso criar uma quantidade enorme deles<sup>2</sup>. Outra hipótese era usar só os doze sons que já tínhamos, mesmo mudando as proporções. Ora, temperar os

intervalos corresponde exactamente a mudar um tudo nada as proporções logo à partida, de tal forma que depois não são

<sup>2</sup> No século 19 ainda houve um tipo qualquer que não gostava de temperar os intervalos e se meteu a construir um órgão, e precisou de nada mais nada menos que *cinquenta e três teclas* em cada oitava... Imagina o que era tocar órgão com um teclado desses! Tem mais do quádruplo das teclas que é normal! Nem um polvo...



precisas mais correcções nenhuma.

### Várias oitavas

É altura de referir que é claro que na música não se usam sons só dentro dos limites de uma oitava. Com os intervalos uniformizados, isto é, temperados, podemos facilmente pegar nestes doze sons, e subi-los a todos uma oitava — isto é, recordemos, *multiplicar* por 2 as frequências de todos. O primeiro som fica com uma frequência de 2, e é igual ao último que já tínhamos; o último fica com uma frequência de 4, e os outros todos ficam entre 2 e 4. E depois podemos repetir o processo novamente com estes doze sons desta nova oitava, e depois podemos repetir o processo ainda mais outra vez... Também podíamos, claro está, ter pegado na primeira oitava de todas, aquela entre 1 e 2, e ter antes *dividido* tudo por 2: acabávamos com sons entre 0,5 e 1. É irrelevante: passe a repetição, mas lembremos que o que interessa são as *proporções*.

Em música usam-se ao todo, habitualmente, os sons de sete oitavas (como veremos melhor no próximo artigo, quando falarmos do nome das notas). Tanto faz considerar as proporções desses sons todos entre 1 e 128, como entre 0,5 e 64, como até entre 10 e 1280, ou outra coisa qualquer. É verdade que no meio dessa salganhada toda de sons com intervalos temperados se deixam de conseguir encontrar proporções de 1:3. Mas encontram-se aproximações tão boas que ninguém dá conta. O ouvido humano continua a achar que os sons cujas frequências estão na proporção 1:2,997 soam bem. A diferença não é nenhuma.

(Caso não tenhas percebido donde é que saiu o 2,997, calcula  $2 \times ({}^{12}\sqrt{2})^7$  e perceberás. Faz a conta.)

Quem fez imenso por difundir o tempero dos intervalos foi Bach.

### Razão do destempero

Mas porque é que os intervalos, à partida, não eram todos iguais?

Repara que, para que ao fim daquele processo de subir a frequência três vezes e descer tantas oitavas quantas as necessárias houvesse novamente a frequência de partida, que era 1, era preciso que houvesse dois números  $m$  e  $n$  tais que

$$3m / 2n = 1$$

Ou seja, esses dois números tinham de verificar

$$3m = 2n$$

E para que ao fim daquele processo de descer a frequência três

vezes e subir tantas oitavas quantas as necessárias houvesse novamente a frequência de partida, que era 2, era preciso que houvesse dois números  $a$  e  $b$  tais que

$$2a / 3b = 1$$

Isto vai dar outra vez (se chamarmos  $m$  ao  $b$ , e  $n$  ao  $a$ )

$$3m = 2n$$

Pois bem: não custa a perceber que não há nenhuns números  $m$  e  $n$  que verifiquem isto. Quanto mais não seja porque as potências de 2 são todas pares, e as potências de 3 são todas ímpares<sup>3</sup>...

O mais que se consegue aproximar aquela igualdade  $3m / 2n = 1$  é quando  $m = 12$  e  $n = 19$ . É o caso do décimo terceiro som que nos apareceu.

### Cenas do próximo capítulo

Da próxima vez vamos finalmente perceber porque é que a proporção 1:2 se chama oitava. Como há doze intervalozitos no meio ainda se percebia que se chamasse décima segunda... agora oitava... é um nome que não lembra nem ao diabo!

### Se queres saber mais...

E se entretanto queres saber mais, vai a

<http://www.research.att.com/~njas/sequences/DUNNE/TEMPERAMENT.HTML>

que é uma página onde há imensa informação sobre temperamento de notas. (Para perceberes este bem, convém já teres dado uma vista de olhos pela página cujo endereço veio no número anterior...) 

<sup>3</sup> Isto demonstra-se facilmente recorrendo a *congruências*. Lê sobre esse assunto o artigo da secção *Encontro Juvenil de Ciência* que saiu publicado na *CiênciaJ* nº 31.

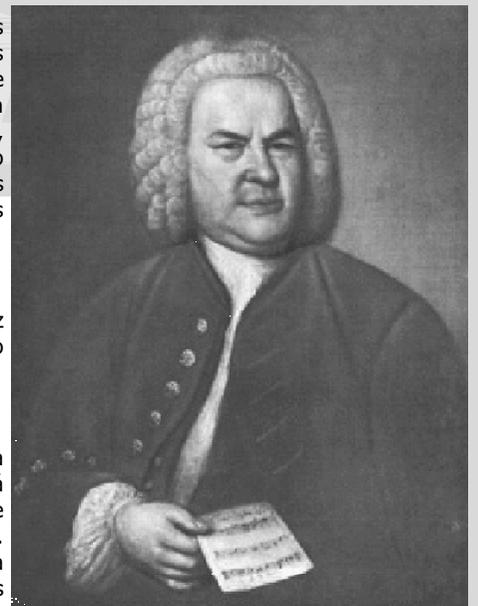


Figura 9 - Johann Sebastian Bach (1685 - 1750).

# O Universo e tudo o resto

por José Raeiro

Porque é que a terra é um planeta?

Fabrício Brunhari

Caro Fabrício,

Porque é que a Terra é um planeta? Essa é uma pergunta no mínimo original, visto que nem toda a gente se interroga acerca desse facto...

No nosso sistema solar existem 8 planetas: Mercúrio, Vénus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Úrano e Neptuno. Quais são as características desses corpos que fazem com que lhes chamemos planetas?

Olhando para a História, o termo Planeta foi criado pelos Gregos na antiguidade e significava vagabundo. Ou seja, planetas eram os corpos visíveis a olho nu que vagueavam pelo céu indiferentes aos movimentos de todos os outros corpos celestes. A olho nu são visíveis 5 deles: Vénus, Marte, Júpiter, Saturno e Úrano. Ora...

Hoje em dia, a definição de planeta é mais complexa. Tem a ver com factos da formação do sistema solar, com as características físicas e, claro, com o facto de orbitarem o Sol. Ou outra estrela no caso de um exoplaneta<sup>1</sup>. Na realidade, conhecemos 8 objectos de tamanho considerável que orbitam o Sol. São os 8

planetas referidos atrás e Plutão, que é um asteroide e não um planeta como erradamente ainda se admite. Plutão não é um planeta por várias razões. Se estiveres interessado, podes consultar o meu artigo no número 32 da *CiênciaJ* onde estão lá explicadas algumas razões pelas quais Plutão não é um planeta.

Concluindo, todos os outros 8 corpos possuem características idênticas:

- Orbitam o Sol;
- A órbita é feita no mesmo plano geométrico;
- As órbitas são quase circulares;
- Respeitam uma proporção de distâncias em relação ao Sol;
- Os 4 corpos interiores são rochosos e os 4 exteriores são gasosos;
- Tiveram um processo de formação semelhante.

A Terra faz parte deste grupo de 8 corpos. Logo... é um planeta.

Cumprimentos espaciais. 

<sup>1</sup> Exoplaneta vem do grego «exo» (fora) e «planeta» (vagabundo). Refere-se a um planeta que existe fora do sistema solar, e que portanto orbita não em torno do Sol mas sim em torno de uma outra estrela qualquer. Se estiveres atento às notícias, de vez em quando hás-de ouvir alguma sobre mais um exoplaneta que se descobriu não sei onde na nossa galáxia. (Nota da redacção)



# Encontro Juvenil de Ciência

por Joana Revez

Este artigo é um extracto do trabalho «Detecção de agentes mutagénicos através do teste de Ames», apresentado ao 20º Encontro Juvenil de Ciência.

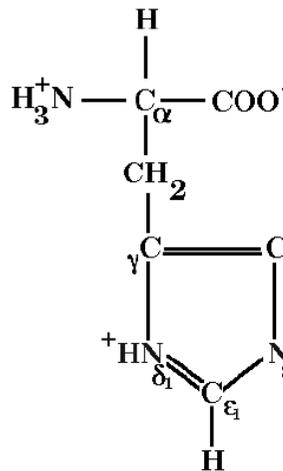
## Detecção de agentes mutagénicos

Sem mutação não haveria evolução. No entanto, as mutações não seguem a evolução, mas sim permitem oferecer uma diversidade genética onde a selecção natural e outros agentes selectivos actuam.

As mutações são acontecimentos raros, pois cada gene possui um momento mutacional muito característico. Estudos realizados mostram que é extremamente difícil detectar a frequência de ocorrência de uma mutação, pelo facto desta taxa de mutação ser influenciada por diversos parâmetros — físicos, biológicos e químicos. Alguns dos agentes mutagénicos conhecidos são as radiações radioactivas, os raios ultravioleta, os raios X e determinados agentes químicos que podem provocar, a nível celular, danos imediatos.

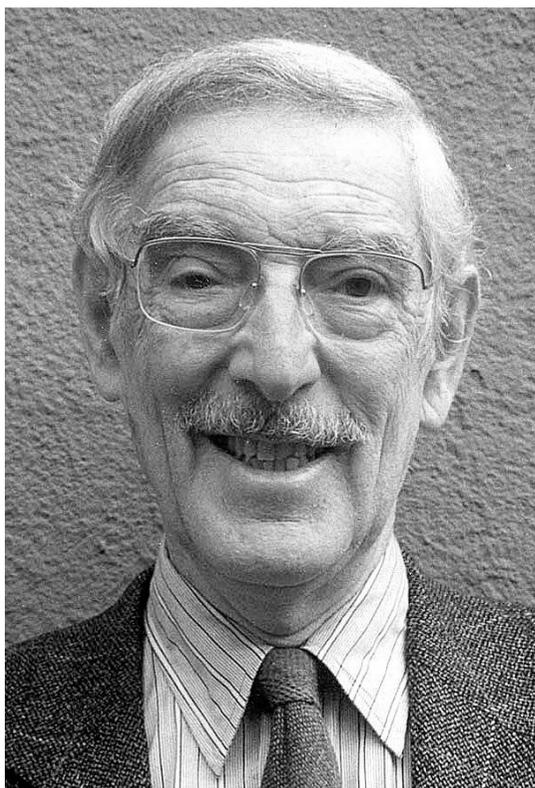
Não esqueçamos que existe uma correlação significativa entre mutagenicidade e carcinogenicidade! Assim sendo, é de extrema importância a identificação de mutagénicos químicos, para podermos limitar a nossa «exposição» a estes. Felizmente, foram desenvolvidos sistemas para testar mutagénicos, e em seres muito especiais: as bactérias. Como organismo de teste, as bactérias demonstram ter imensas vantagens: são relativamente baratas e fáceis de cultivar e biliões de células podem ser testadas em apenas um dia ou em dois. A melhor maneira de testar a mutagenese foi criada por

Bruce Ames, e é conhecida por Teste de Ames. Este teste consiste na utilização de estirpes auxotróficas, que não conseguem sintetizar o aminoácido histidina, e que não conseguem crescer num meio que não tenha histidina.

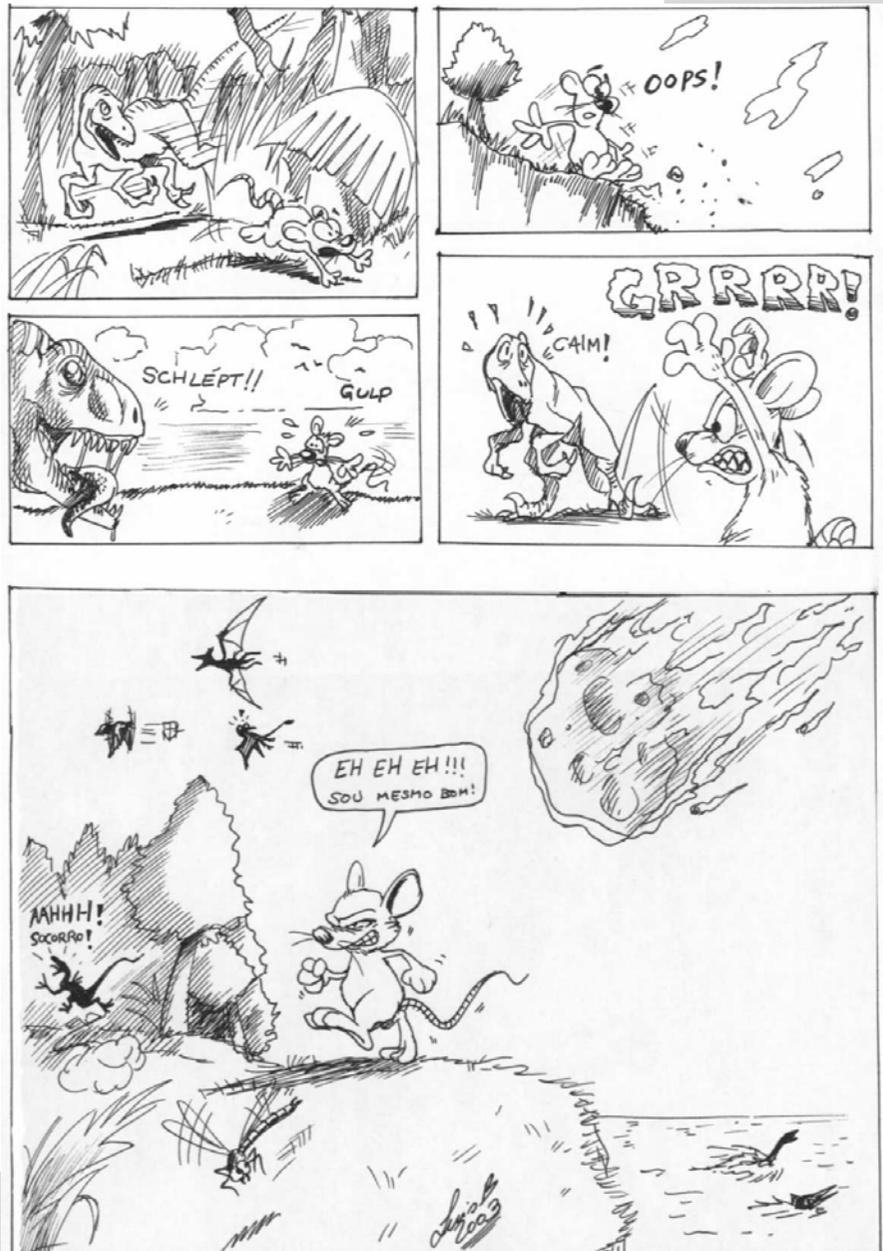


Após estarem expostas aos suspeitos agentes mutagénicos, as bactérias são analisadas; algumas revertem, ou seja, tornam-se prototróficas adquirindo a capacidade de sintetizar o aminoácido; outras simplesmente morrem pelo facto de os agentes se mostrarem tóxicos e em concentrações relativamente elevadas.

A molécula da histidina



Bruce Ames



## Humor

por Bell



# Ciência Fusão, energia, ambiente

por Nuno Delicado

## Fusão nuclear e ambiente

*Àqueles cujos olhos vêem mais além*

### Introdução

O homem enfrenta neste momento desafios de que ainda não se apercebeu totalmente.

Até há relativamente pouco tempo não se punha a questão de o nosso desenvolvimento ser ou não sustentável. Mas há uns anos alguém reparou que o mundo estava doente e que a doença era o homem.

A produção e o consumo de energia são os vilões da acção humana sobre o ambiente, pelo que urge encontrar alternativas aos meios utilizados actualmente. A solução passará com certeza pela fusão nuclear, de uma forma directa ou indirecta, como veremos. Mas não podemos pensar na fusão como a heroína imaculada que desce à Terra para nos salvar. Convém sempre recordar as suas culpas, acabando por fazer um balanço do antigo e complexo relacionamento entre a fusão nuclear e o ambiente.

### 1. Ambiente

**Ambiente**, *adj.* Que anda *ou* está à roda de alguma coisa *ou* pessoa. *M.* O ar que se respira. Roda, esfera em que se vive (...). (Lat. *ambiens*)

Neste texto, a palavra *ambiente* é exactamente entendida segundo a última definição, bastante lata e metafórica, do *Grande Dicionário da Língua Portuguesa* de Cândido de Figueiredo.

### 2. Fusão Nuclear

A fusão nuclear (FN, para os amigos) é o processo pelo qual se combinam dois núcleos de átomos para formar um núcleo mais pesado.

Quando os dois núcleos iniciais são suficientemente leves a reacção de fusão liberta energia.

A FN não se dá assim, sem mais nem menos, no nosso dia-a-dia e contexto mais próximo (por exemplo, entre moléculas do ar). Seria aliás bastante incomodativo estarmos continuamente a receber energia, ou mesmo a sofrer nós próprios reacções de fusão...

Na Natureza existe uma força chamada electrostática e outra chamada nuclear. E geralmente a primeira (repulsiva entre núcleos) vence a segunda (atractiva), evitando o contacto entre os núcleos.

Feliz ou infelizmente, a FN exige, portanto, condições bastante especiais para se dar.

### 3. FN origem do ambiente

Dizem os senhores que percebem destas coisas que há muitos anos atrás (podem perguntar aos vossos pais se se lembram, mas é pouco provável) não existiam televisões, nem livros, nem máquinas de lavar loiça, nem automóveis, nem casas, não havia animais, nem plantas, nem sequer pessoas, não havia terra, não havia ar, não havia água, não havia fogo. Não havia, enfim, ambiente.

Nessa altura não havia nada, ou melhor, talvez houvesse uma singularidadezinha qualquer (que afinal seria tudo), mas isso não interessa.

O que interessa é que depois passaram a existir coisas (num ambiente bastante quente, por sinal) cada vez mais compostas, à medida que o tempo passava e as coisas arrefeciam. A certa altura começaram a surgir núcleos de hélio, hidrogénio e poucos mais. Os anos passaram e os átomos que entretanto se formaram passaram a estar agrupados em «nuvens» chamadas galáxias. E por fim chegamos ao que nos interessa: formaram-se nuvens mais pequenas que se foram contraindo, devido à atracção gravitacional, e aumentando a sua temperatura até se

criarem as condições necessárias para se darem reacções de FN. Estas nuvenzinhas, autênticas fábricas de hélio a partir de núcleos de hidrogénio, eram as primeiras estrelas. Mas a matéria prima não era infinita e, ao acabar o hidrogénio, as estrelas contraíam-se um pouco mais, aumentavam a temperatura e passavam a fundir hélio em núcleos mais pesados, e assim sucessivamente. Desta forma se terão formado, continuando a formar-se actualmente, os núcleos estáveis existentes.

Quando morrem, as estrelas desagregam-se, enviando a sua matéria para o espaço à volta. E é dessa matéria que se faz o fogo, a água, o ar e a terra, fazem-se as pessoas, as plantas e os animais, e até as casas, os automóveis, as máquinas de lavar loiça, os livros e as televisões. Faz-se, enfim, o ambiente.

### 4. FN destruidora do ambiente

O homem é um animal (não, não estou a fazer considerações acerca do comportamento de alguém em especial, estou a constatar um facto respeitante aos seres humanos em geral). E essa animalidade explica os nossos instintos agressivos.

Os animais lutam por duas razões: para estabelecer domínio numa hierarquia social ou para estabelecer direitos territoriais.

O homem, como bom primata, vive num sistema hierárquico e, desde que se tornou sedentário, passou também a ser um animal territorial. Apesar de todos os mecanismos inibitórios de agressão, o que é facto é que o homem chega frequentemente a vias de facto.



**Explosão de uma bomba de hidrogénio experimental em 1952 num atol desabitado das ilhas Marechal**

O grande problema está em que, geralmente, não se trata de combate desarmado. Os métodos de ataque têm vindo a progredir, seguindo o princípio comportamental de aumentar a distância entre atacante e atacado, o que tem resultado em armas altamente destruidoras. O ataque à distância e a cooperação de grupo afastaram os indivíduos envolvidos dos objectivos iniciais das lutas, dificultando a pacificação.

Isto tudo para dizer duas coisas: primeiro, que a Ciência é a grande culpada do sucesso da corrida ao armamento (tal como a corrida ao armamento é culpada pela evolução da Ciência); segundo, é triste mas é verdade, meus amigos, também a FN anda metida nestas andanças.

#### 4.1. FN e a bomba de hidrogénio

Pois é. A perversidade e genialidade do homem permitiram-lhe construir uma arma com o incrível poder destrutivo da bomba de hidrogénio.

Para alcançar tal poder, a bomba-H usa a energia e as partículas libertas nas reacções nucleares de fusão e cisão (é o processo inverso da fusão — a energia é libertada na divisão de núcleos pesados), provindo aproximadamente metade da energia de cada tipo de reacção (por isso: não, a fusão não é «menos



culpada», pelo menos do ponto de vista puramente energético). O seu funcionamento divide-se tipicamente em três etapas explosivas: primeiro, dá-se a ignição por explosivos químicos, iniciando-se uma reacção de cisão no coração da bomba; a energia liberta nessa reacção vai então provocar a fusão do hidrogénio da camada envolvente, tendo como produtos hélio e neutrões altamente energéticos; os neutrões são absorvidos por paredes de urânio, resultando numa terceira reacção, esta novamente de cisão nuclear. O produto final é uma enorme explosão, libertando brutalidades de calor e radiação e partículas radioactivas e morte e destruição e dor e sofrimento. Tudo isto cria, evidentemente, muito mau ambiente.

#### 4.2. FN e a bomba de neutrões

Mas, às vezes, os cientistas também têm boas ideias. E eis que alguém preocupado com o poder destruidor destas bombas decidiu criar uma versão mais simpática para o ambiente. Afinal, para quê devastar vastas áreas, quando seria muito mais agradável que se mantivessem as coisas intactas e se destruísse apenas aquilo que interessa — as pessoas? Isto, no fundo, resultaria numa implementação espectacular de um terço da famosa política dos RRR: Reutilização (não vale a pena destruir aquilo que nos pode servir).

Então o homem criou a bomba de neutrões. E o homem viu que a bomba era boa. Tão boa, tão boa, que matava os seres vivos à sua volta mas mantinha a maior parte das estruturas inanimadas intactas.

A bomba de neutrões é uma variante da bomba de hidrogénio em que os neutrões produzidos na FN, em vez de provocarem uma segunda reacção de cisão, são libertados para o exterior, provocando a degradação dos tecidos vivos mas tendo um efeito reduzido sobre o resto da matéria. Ainda por cima, o limitado raio de acção das radiações de neutrões permite uma selecção bastante precisa dos alvos a abater. Fantástico!

Infelizmente não se conseguiu evitar que morressem outros seres vivos para além dos humanos. Enfim, é a vida... Ou melhor, é a morte.

O homem é, sem dúvida, um animal.

### **5. FN fonte de energia**

Bom, a esta altura já se devem estar a perguntar: «Mas este tipo nunca mais fala de produção de energia, de *tokamaks*... é só conversas cosmológicas e cataclísmicas?» Calma, calma, lá chegaremos, estejam descansados. Mas não é já.

É certo que o homem tem crescentes necessidades energéticas e que as fontes tradicionais de energia estão em vias de extinção, para além de que são altamente prejudiciais ao ambiente (ecológico e não só). É certo que urge arranjar alternativas capazes de responder a essas solicitações. É certo que a FN desempenhará um papel fundamental na resolução deste problema.

Também é certo que a FN é em grande parte culpada por este problema existir: se quisermos ser radicais, basta dizer que sem FN o mundo não existiria, como já vimos. Pelo menos não existiria este mundo — podia ser que o cosmos arranjasse uma alternativa à fusão e surgisse alguma coisa semelhante ao que nós chamamos mundo. Mas isso é-nos indiferente, porque nós não estaríamos lá para ver. Este é o único mundo que temos, pelo menos por enquanto, e é nele que temos que viver, para os bons e os maus momentos, até que a morte nos separe.

#### 5.1. FN e os combustíveis fósseis

Podemos dizer que a ideia que se tem actualmente dos combustíveis fósseis é bastante negra. Essa ideia deve-se, em parte, à cor escura que apresentam o carvão e o petróleo natural, como também aos fumos produzidos nas respectivas combustões e ao aspecto dos mineiros quando avistados à luz do dia. Mas o aspecto negro dos combustíveis fósseis é muito mais que visual. A sua utilização na produção e no consumo de energia origina a libertação de gases altamente nefastos para o homem — ao serem respirados, mas também, de forma menos directa, através das chuvas ácidas, redução da camada do ozono ou pelo efeito de estufa.

Não podemos esquecer, no entanto, o protagonismo deste tipo de combustíveis na Revolução Industrial na Europa e América do Norte e no desenvolvimento industrial dos outros países. Estes

processos moldaram profundamente e a todos os níveis (ecológico, social, cultural, económico, histórico, educativo, científico, político...) o ambiente em que o homem vive. Mais uma vez não vale a pena discutir se o efeito foi bom ou mau, basta referir que existiu.

E quem diria que a FN também tem alguma coisa a ver com tudo isto? Os combustíveis fósseis provêm de restos de plantas decompostas sujeitos a um processo moroso de transformação. E as plantas são compostas de compostos de carbono proveniente do CO<sub>2</sub> atmosférico através da fotossíntese que as próprias plantas realizam. E a fotossíntese necessita de energia, que é obtida da radiação solar. E a radiação solar é originada pela energia libertada em reacções de FN.

#### 5.2. FN e as energias renováveis

Como acabamos de referir, no Sol, a nossa estrela de estimação, as reacções de FN libertam energia continuamente. Essa energia chega ao nosso querido planeta por radiação electromagnética. A fracção que nos chega da radiação emitida pelo Sol tem vários efeitos a diversas escalas.

##### *A energia solar*

No fundo, é só dela que vamos falar neste ponto.

A radiação solar, originada pela FN, pode ser aproveitada mais ou menos directamente através de tecnologia mais ou menos tecnológica: colectores solares, painéis fotovoltaicos, estufas... De seguida vamos ver como se faz um aproveitamento mais indirecto.

##### *A energia da biomassa*

Biomassa é o nome que se dá à matéria que compõe as plantas e os animais. Trata-se de matéria orgânica, tendo como base o carbono, que liberta calor ao reagir com o oxigénio na combustão e em processos metabólicos naturais, mas também pode dar origem a bio-combustíveis (como metano, etanol ou carvão vegetal) através de processos químicos e biológicos. A energia que se pode retirar da biomassa é proveniente da radiação solar através da fotossíntese.

##### *A energia eólica*

Parte da energia solar que penetra na atmosfera terrestre provoca a expansão e convecção do ar, ou seja, vento. A energia eólica pode ser-nos útil directamente, por exemplo para melhor dissiparmos calor do corpo no Verão ou para praticar vela, mas geralmente interessa-nos convertê-la noutros tipos de energias, o que costuma passar por convertê-la em energia mecânica através de turbinas apropriadas.

##### *A energia das ondas*

As ondas do mar são provocadas pelo vento. Portanto a energia das ondas vem da energia eólica que vem da energia solar que vem da energia da FN. Mais uma vez podemos aproveitar directamente a energia das ondas, por exemplo para «apanhar» umas ondas na praia, mas existem diversas tecnologias desenvolvidas para convertê-la noutros tipos de energia.

##### *A energia hidráulica*

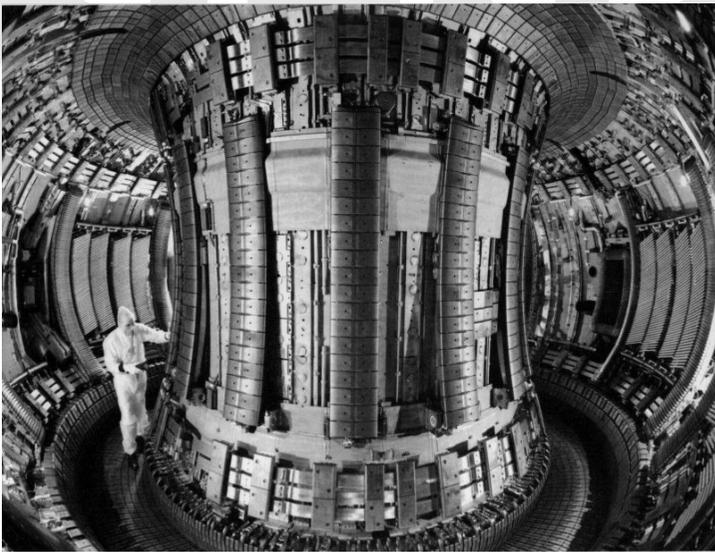
Este nome é usualmente restringido ao aproveitamento de energia por quedas de água, pelo que não inclui a energia das ondas. Se há quedas de água é porque a água está elevada. Então e como é que a água vai parar lá acima? Bom, um meio natural é por evaporação da água aos níveis mais baixos (como a do mar) aproveitando a energia solar, formando nuvens que são arrastadas aproveitando energia eólica e depois se condensam («chovem») em locais elevados. O aproveitamento deste tipo de energia geralmente envolve turbinas.

#### 5.3. FN controlada

Mas espera-se que não sejam só os benefícios indirectos apontados atrás que possamos obter da FN em termos energéticos. A espectacularidade do Sol quando explicada em termos de reacções de fusão, há pouco mais de 60 anos, cativou muitos investigadores em volta do objectivo de conseguir recriar esses processos na Terra. Isto levou à criação de um ambiente científico próprio à investigação nesse sentido.

Após a Segunda Guerra Mundial, alguns físicos mais motivados acreditavam na obtenção de energia a partir de reacções de fusão controladas (nessa altura foi testada a primeira bomba de





**Interior de um tokamak**

hidrogénio, baseada exactamente em fusão descontrolada).

Mas criar o ambiente necessário à FN controlada não foi tarefa fácil, sendo as condições para a operação de um reactor de fusão bastante exigentes.

Nestes anos foram experimentadas reacções de fusão envolvendo diversos combustíveis e geometrias. Actualmente, os mais promissores no sentido da viabilização do aproveitamento comercial do processo parecem ser o *tokamak*, como estrutura, e o deutério e o trítio (isótopos de hidrogénio), como combustíveis.

A fusão, se fosse viável comercialmente, apresentaria diversas vantagens relativamente à obtenção de energia a partir de combustíveis fósseis (muito finitos e produtores de poluição atmosférica) e através de reacções de cisão nuclear (perigosas, produtoras de grandes quantidades de material radioactivo):

- os combustíveis, apesar de finitos, existem em grandes quantidades — o deutério retira-se da água e o trítio obtém-se de lítio, metal bastante abundante na crosta terrestre;
- não há poluição atmosférica;
- o decaimento do material radioactivo produzido é bastante mais rápido do que no caso da cisão;
- o sistema é seguro, as falhas conduzem à paragem dos processos.

No *tokamak* existe uma câmara de vácuo toroidal (forma de donuts) onde se cria um plasma (gás ionizado) de deutério e trítio. O plasma é aquecido por diversos métodos e afastado das paredes da câmara por meio de campos magnéticos, de modo a alcançar e manter a temperatura e densidade requeridas pelo processo. Ao dar-se a fusão de um núcleo de deutério com um de trítio são produzidos um núcleo de hélio (com 20% da energia produzida, usada para aquecer o plasma) e um neutrão (com a grande fatia da energia, aproveitada numa camada exterior para produzir trítio, a partir de lítio, e calor, que produz vapor para turbinas de geração eléctrica).

O problema está em que, até hoje, o custo energético do processo foi sempre superior aos ganhos obtidos. Mas esse não é o grande problema, o grande problema é, como de costume, o dinheiro. A investigação em FN controlada é altamente dispendiosa e é muito difícil garantir os financiamentos imprescindíveis à sua continuidade. O verdadeiro problema está em que, até hoje, o custo monetário do processo foi sempre superior aos ganhos obtidos (pelo menos do ponto de vista económico — quem se atreve a dar um preço a uma descoberta científica?). Será que alguma vez existirá o ambiente científico que permita o sucesso desta investigação?

### Considerações finais

É claro que a investigação em FN só se iniciou porque existiu um ambiente político propício. E só existiu tal ambiente porque havia interesses militares ao barulho.

A dissociação da investigação em FN controlada de um ambiente militar trouxe dificuldades acrescidas à sensibilização da classe política para esta causa. Também terá contribuído para tal efeito

a ausência de resultados espectaculares nos últimos anos, apesar das constantes tentativas de empolamento das vitórias experimentais, invariavelmente bastante esotéricas para o público em geral.

As decisões políticas não costumam ser muito radicais, sendo bastante ponderadas pelo seu potencial lucro eleitoral. Se não existir à partida um ambiente sócio-cultural favorável ao investimento na FN é difícil que quem esteja no poder invista numa área com resultados tão pouco imediatos.

É bom recordar que também existe a iniciativa privada, mas os montantes envolvidos na investigação em FN controlada são de tal forma elevados que só mesmo um consórcio de países à escala mundial permitirá sustê-los. A contenção de despesas leva alguns países a afastarem-se deste difícil empreendimento, mas aqui voltamos à questão da vontade política. É tudo uma questão de prioridades e só mesmo pessoas com um grande poder de visão, que lhes permita ver benefícios muito para lá do imediato, manterão o seu apoio a este tipo de projectos.

Mas se a implementação da produção de energia directamente a partir da FN é tão complicada, não o deveria ser a da produção indirecta. Como vimos atrás, as fontes de energia renováveis provêm mais ou menos directamente da radiação solar, e, portanto, da FN no Sol. Por isso, a sua utilização não é mais que a utilização da FN. Tendo em conta que as energias renováveis são já uma realidade em termos comerciais e que até estão bastante na moda em termos de opinião pública, não será tão complicado caminhar para a sua implementação generalizada, em paralelo com a investigação no sentido de melhorar os métodos existentes. E criar os ambientes económico, científico e sociocultural para que isso aconteça não é senão uma obrigação de quem decide os destinos dos países.

Nas últimas décadas, a impotência dos estados perante a degradação do ambiente ecológico levou a uma internacionalização do problema, obrigando a uma alteração do ambiente jurídico. Esta matéria, que constituía monopólio da soberania dos estados, passou a ser atribuição do direito internacional. O ambiente deixou de ser um problema de cada um, para passar a ser um problema de todos. É essencial que assumamos plenamente este compromisso perante a Humanidade para que nos demos conta da conjugação de esforços que é necessária à resolução do problema. Nessa altura é possível que tenha sido encontrado o remédio para a doença do século: a cegueira egocêntrica. Só então abriremos os olhos e passaremos a ser capazes de ver mais além.

### Bibliografia

- Expo Fusão — Dominar a energia das estrelas. brochura do Consórcio *Fusion Expo*.
- FIGUEIREDO, Cândido — Grande Dicionário da Língua Portuguesa. 24ª edição. Venda Nova: Bertrand Editora, 1991.
- FRADA, João José Cúcio — Guia prático para elaboração e apresentação de trabalhos científicos. 4ª edição. Lisboa: Edições Cosmos, 1994.
- Fusão Nuclear — Energia para o futuro. Luxemburgo: Comissão Europeia — Direcção Geral XIII, 1995.
- HAWKING, Stephen W. — Breve História do Tempo — Do Big Bang aos buracos negros. 1ª edição. Lisboa: Gradiva, 1988.
- [http://hbksun17.fzk.de:8080/PKF/welcome\\_e.html](http://hbksun17.fzk.de:8080/PKF/welcome_e.html)
- <http://www.ftmc-marine.army.mil/nbc/Nuclear>
- <http://www.hackerz.org/~drfreeze/h-bomb.html>
- <http://www.iter.org>
- <http://www.jet.uk>
- <http://www.why.net/users/myself/secular/writing/n-bomb.html>
- MORRIS, Desmond — O Macaco Nu. S.l.: Círculo de Leitores, 1973.
- PEREIRA, André G.; QUADROS, Fausto — Manual de Direito Internacional Público. 3ª edição. Coimbra: Livraria Almedina, 1995.
- PEREIRA, Manuel Collares — A Energia e o Ambiente. S.l.: 1990.
- REEVES, Hubert — Um Pouco Mais de Azul — A evolução cósmica. 4ª edição. Lisboa: Gradiva, 1992.
- ROSE, Susanna — A Terra. Enciclopédia Visual da Ciência. Lisboa: Editorial Verbo, 1994.
- TWIDELL, John; WEIR, Tony — Renewable Energy Resources. 3ª edição. Cambridge: E & FN Spon, 1994.



Depois de colocar o cinto que transporta o computador, o estimulador e a bateria, ligar o computador à câmara que está inserida nos óculos e apertar, com a ajuda de uma pequena chave de fendas (adaptada ao sistema) os cabos que fazem a ligação entre o estimulador e os eléctrodos, Jens, canadiano na casa dos trinta, pai de oito filhos, tem de aguardar um pouco para começar a ver os pequenos pontos de luz que o guiam no dia a dia. «Agora é só carregar no botão mágico, esperar três minutos e começo a ver alguma luz. Enquanto espero, a luz fica mais forte e começo a ver um pouco.»

Jens foi implantado no dia 8 de Abril de 2002, em Lisboa. Nos dois hemisférios do cérebro transporta dois pequenos cartões de plástico gelatinoso com 72 eléctrodos cada, ambos introduzidos através de aberturas de cinco milímetros feitas no crânio. Duas pequenas estruturas metálicas, redondas, são a porta de saída através da qual chegam ao exterior os fios colados aos eléctrodos.

O sistema Dobelle, desenvolvido pelo norte-americano William Dobelle, permite aos invisuais quebrar a escuridão. Mas aquilo que os cegos conseguem ver não é uma figura homogénea, com os contornos a que os olhos de uma pessoa que nunca foi invisual estão habituados.

«Quando fazemos o teste — antes de dar o aparelho ao paciente — ligo um eléctrodo de cada vez. Por exemplo, eléctrodo número um. E ele vê o eléctrodo lá num sítio qualquer na cabeça dele. Temos uma placa onde o paciente põe o dedo e ficamos com a coordenada. Fazemos isso com todos os eléctrodos. O resultado final é o mapa do paciente. Estes pontos que eles vêm na cabeça nunca mudam: são deles só», explica o engenheiro António Martins, o homem encarregue de redesenhar o aparelho de forma a torná-lo cada vez mais funcional e cómodo para os pacientes.

Para determinar em que local o paciente vê os fosfenos gerados pelos eléctrodos implantados (a relação é de um a quatro fosfenos muitos próximos por cada eléctrodo) a equipa de Dobelle usa uma placa com cerca de um metro quadrado. Esta placa está dividida em pequenas quadrículas que se traduzem em coordenadas. Assim, quando se estimula em eléctrodo, pede-se ao paciente para colocar o dedo na placa, no sítio exacto onde vê o fosfeno respectivo. O processo é repetido 144 vezes até se chegar ao mapa do paciente, a distribuição espacial de todos os fosfenos. Cada mapa é pessoal e intransmissível. A posição dos fosfenos é o ponto de partida para tudo o resto.

Uma vez ligado o sistema, «o computador sobrepõe a área de contraste com o mapa do paciente», sendo que apenas acendem os pontos de luz que coincidem com os contornos da figura. Para uma silhueta humana, por exemplo, podem acender apenas três ou quatro pontos em torno de um busto, sendo essa a referência do paciente para detectar o objecto. Sabe que está algo em sua frente mas terá de fazer um exercício mental para tentar descobrir o que é. O contorno que visualiza pode não corresponder à forma real do objecto.

Isto acontece porque os pontos do mapa de cada paciente estão distribuídos de forma



aleatória, «estão espalhados numa área que não apresenta uma matriz correcta, que possa formar, por exemplo, um número». A boa utilização do sistema transforma-se em algo que pode ser comparado «a uma criança que começa a aprender a andar. Demora bastantes meses: só ao fim de um ano é que eles conseguem utilizar bem o sistema.»

Jens corrobora esta afirmação: «É um processo lento. Não alterou imediatamente a minha vida porque este equipamento ainda está em fase de desenvolvimento. Não é só carregar no botão e começar a ver tudo.» O canadiano está bem ciente da aventura em que embarcou, sabe que «é um bom começo» e tem consciência do papel decisivo que desempenha na evolução do sistema. António Martins assegura que «é o *feed-back* que os doentes dão que permite o avanço deste equipamento».

Deste trabalho de equipa nasceram os aperfeiçoamentos que o sistema vai receber. Foram sugeridos por Jens, são três funções que percebeu poderem melhorar a sua qualidade de vida: a primeira alteração é a introdução de um *zoom* para ver objectos próximos. O sistema de visão artificial dá a mesma ampliação a objectos de diferentes dimensões. «A ampliação de uma jarra em cima de uma mesa, neste momento, é a mesma que existe quando o paciente anda na rua e vê uma árvore», sublinha o engenheiro. Resolvendo esta falha, a jarra pode ser ampliada porque é um objecto mais pequeno e próximo, e o contorno da árvore pode ser afastado, de forma a existir a noção de distância e proporção.

Outra modificação será introduzida para «adiar a amplitude, que varia de dia para dia. A sensibilidade do cérebro à estimulação eléctrica sobe ou desce e se desce muito, poderá haver luzes (os tais fosfenos, os pontos luminosos que aparecem no cérebro) muito fortes, ou se o limiar é muito alto, o paciente verá poucos fosfenos.»

A terceira alteração será «a variação de contraste. Por exemplo, numa rua com passeio claro e estrada de asfalto, claro com escuro, cria-se um contraste bastante pronunciado. Se estivermos a falar de um passeio cinzento, ou escuro, em contraste com o asfalto, o paciente pode não conseguir ver o contraste entre o passeio e a rua. Se existisse um botão para variar o contraste, isso ajudaria o paciente.»

Jens está a par de tudo: «O próximo sistema vai ser consideravelmente mais pequeno, será apenas uma caixa, talvez do tamanho de um livro grande, e poderei usá-lo por baixo da camisa, à frente ou atrás, nas costas. Já não vai ter este aspecto. A próxima câmara será montada na parte interior da lente, de modo que não será visível, como acontece agora. Só vai melhorar daqui para a frente», garante.

Quando embarcou para viajar até Portugal, Jens vinha acompanhado por William Dobelle, o homem que se dedicou a encontrar um mecanismo que permitisse aos cegos ver. «Perguntei a mim próprio: "Qual é o projecto mais difícil ao qual me posso dedicar e em que tenha uma hipótese de ser bem sucedido?"». A resposta foi visão artificial. Desde 1968 que William Dobelle,

**Não percas a conclusão do artigo na página 44.**

# Um conto enredado

por Lewis Carroll (tradução de Duarte Valério)

## Nó 8 — De omnibus rebus<sup>1</sup>

Este porquinho foi ao mercado:  
este porquinho ficou em casa<sup>2</sup>.

— Por ordem expressa de Sua Radiância — disse o Governador, ao conduzir a saída dos viajantes, pela última vez, da presença Imperial — terei agora o êxtase de vos escoltar até ao portão exterior das Instalações Militares, onde a agonia da partida (se é que a Natureza pode de facto sobreviver ao choque) terá de ser suportada! Desse portão partem grurmestíptos de um quarto em um quarto de hora, em ambos os sentidos...

— Importa-se de repetir essa palavra? — disse Norman. — Gurme...

— Grurmestíptos — repetiu o Governador. — Em Inglaterra chamam-lhes americanos<sup>3</sup>. Vão em ambos os sentidos, e podem apanhar um que vos leve todo o caminho até ao porto.

O homem mais velho suspirou de alívio; tinha ficado exausto com quatro horas de cerimónia da corte, e tinha estado em constante terror de que alguma coisa causasse o uso dos dez mil bambus adicionais.

Num momento estavam a atravessar um largo quadrângulo, pavimentado de mármore, e agradavelmente decorado com uma pocilga em cada canto. Marchavam em todas as direcções soldados a carregar porcos: e no meio encontrava-se um oficial gigante a dar ordens com uma voz de trovão que se fazia ouvir acima do barulho dos porcos.

— É o Comandante-Chefe! — sussurrou apressadamente o Governador aos seus companheiros, que imediatamente seguiram o seu exemplo prostrando-se perante o alto homem.



Um omnibus na Alemanha

deixaram o pátio. — Sua Radiância ordenou-lhe que colocasse vinte e quatro porcos nestas quatro pocilgas, de tal modo que, quando ela for à volta do pátio, encontre sempre em cada pocilga um número mais próximo de dez que o número na anterior.

— Ela considera dez mais próximo de dez do que nove? — disse Norman.

— Certamente — disse o Governador. — Sua Radiância admitiria que dez está mais perto de dez do que nove, e também mais perto do que onze.

— Então julgo que pode ser feito — disse Norman.

O Governador abanou a cabeça.

— O Comandante anda a transferi-los em vão há quatro meses — disse. — Que esperança ainda há? E Sua Radiância ordenou adicionalmente que dez mil...

— Não parece que os porcos gostem de ser transferidos — interrompeu apressadamente o homem mais velho. Ele não gostava do



O Comandante fez por sua vez uma grave vénia. Estava coberto de renda dourada da cabeça aos pés: a sua face tinha uma expressão de profunda miséria: e tinha um porquinho preto debaixo de cada braço. Ainda assim esse indivíduo galante fez o melhor que pode, no meio das ordens que dava a cada momento aos seus homens, para dar uma despedida cortês aos convidados que partiam.

— Adeus, ó idoso! — leva estes três para o canto sul —, e adeus a vós, jovem — põe este gordo em cima dos outros na pocilga Oeste — que as vossas sombras nunca diminuam — ai de mim, fizeram isso mal! Esvaziem todas as pocilgas, e comecem outra vez!

E o soldado apoiou-se na sua espada, e enxugou uma lágrima.

— Ele está apavorado — explicou o Governador quando

<sup>1</sup> [Acerca] de todas as coisas (Pico della Mirandola, 1463-1494). (A expressão, pela sua banalidade, também pode ter sido tirada de Cícero, Santo Agostinho, ou outro autor antigo; mas costuma sê-lo do autor indicado.) Jogo de palavras intraduzível entre *omnibus* (todas) e *omnibus* (autocarro). Deve notar-se que embora a palavra *omnibus*, amiúde abreviada por aférese para *bus*, não se aplique actualmente senão a autocarros, foi usada no passado para designar outros tipos de transportes públicos, como comboios tranvia, eléctricos e veículos puxados por cavalos. Num país com as características atribuídas a Kgovjni é certamente este último tipo de veículo que é referido. Houve-os a circular tanto sobre leito próprio (carris) como sobre leito banalizado (ruas ou estradas); os primeiros eram habitualmente conhecidos, em Portugal, por americanos, e foi este o termo que se empregou na tradução. (N. do T.)

<sup>2</sup> Mother goose rhymes (coleção inglesa de poemas infantis). (N. do T.)

<sup>3</sup> Veja-se a nota ao título do capítulo. (N. do T.)



assunto dos bambus.

— Só são *provisoriamente* transferidos, sabe — disse o Governador. — Na maioria dos casos são imediatamente levados de volta outra vez: de modo que não precisam de se importar. E tudo é feito com o maior cuidado, sob a superintendência pessoal do Comandante-Chefe.

— É claro que ela só vai dar a volta *uma* vez? — disse Norman.

— Infelizmente não! — suspirou o seu guia. — Vai andar à volta e à volta e à volta. São estas as palavras exactas de Sua Radiância. Mas oh, agonia! Eis aqui o portão exterior, e temos de nos separar! — Soluçou ao apertar-lhes as mãos, e no instante seguinte estava a ir-se embora rapidamente.

— Ele *podia* ter esperado para nos ver partir! — lastimou o homem mais velho.

— E não precisava de ter começado a assobiar no *instante* em que nos deixou! — disse severamente o homem mais novo. — Mas olha lá: aqui estão dois coisos mesmo para partir!

Infelizmente o americano que ia na direcção do mar estava cheio.

— Não faz mal! — disse Norman alegremente. — Caminhamos até que o próximo nos apanhe.

Foram-se arrastando em silêncio, ambos a pensar no problema militar, até que passaram por um americano que vinha do mar. O viajante mais velho tirou o relógio.

— Passaram só doze minutos e meio desde que começámos — notou ele de forma ausente. Subitamente a face vazia iluminou-se; tinha uma ideia. — Rapaz! — gritou, aplicando a sua mão no ombro de Norman tão subitamente que por um momento transferiu o seu centro de gravidade para fora da base de suporte.

Assim apanhado de surpresa, o jovem cambaleou descontrolado para a frente, e pareceu prestes a mergulhar no espaço: mas num momento tinha-se recomposto graciosamente.

— Problema com a precessão<sup>4</sup> e a nutação<sup>5</sup> — notou ele, num tom em que o respeito filial mal escondia uma sombra de desagrado. — O que foi? — juntou rapidamente, temendo que o seu pai tivesse ficado doente. — Queres um pouco de brande?

— Quando é que o próximo americano nos vai apanhar? Quando? Quando? — gritou o homem mais velho, cada vez mais excitado.

Norman olhou tristemente.

— Dá-me tempo — disse ele. — Tenho de pensar nisso.



Transportes públicos puxados por cavalos, em Bucareste (em cima) e em Boston (em baixo)

E uma vez mais os viajantes continuaram em silêncio — silêncio quebrado unicamente pelos guinchos distantes dos pobres porquinhos, que ainda estavam a ser transferidos provisoriamente de pocilga em pocilga, sob a superintendência pessoal do Comandante-Chefe.

## Apêndice

— Um nó! — disse Alice — Oh, deixa-me desfazê-lo!<sup>6</sup>

### Respostas ao nó 7

Problema — Sabendo que 1 copo de limonada, 3 sandes e 7 biscoitos

custam 1 xelim e 2 dinheiros; e que 1 copo de limonada, 4 sandes e 10 biscoitos custam 1 xelim e 5 dinheiros: achar o preço de (1) 1 copo de limonada, 1 sandes e 1 biscoito; e (2) 2 copos de limonada, 3 sandes e 5 biscoitos.

Resposta — (1) 8 dinheiros; (2) 1 xelim e 7 dinheiros.

— Quando é que o próximo americano nos vai apanhar? Quando? Quando?

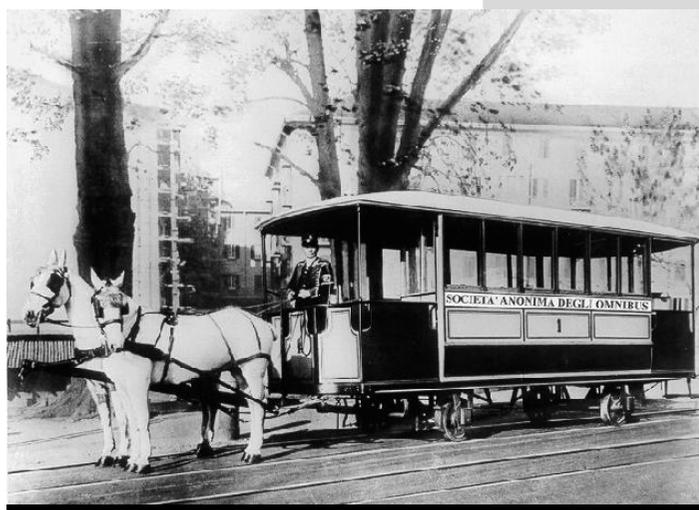
— Dá-me tempo — disse ele. — Tenho de pensar nisso.

Solução — A melhor solução é a algébrica. Seja  $x$  o preço (em dinheiros) de um copo de limonada,  $y$  o de uma sandes, e  $z$  o de um biscoito. Então temos  $x + 3y + 7z = 14$ , e  $x + 4y + 10z = 17$ . E são pedidos os valores de  $x + y + z$ , e de  $2x + 3y + 5z$ . Ora, de apenas duas equações, não podemos achar, separadamente, o valor de três incógnitas: mas certas combinações delas podem ser achadas. Também sabemos que podemos, com a ajuda das equações dadas, eliminar 2 das 3 incógnitas das quantidades cujo valor é pedido, que então só conterão uma. Se, então, o valor pedido puder ser calculado, só pode ser por a terceira variável se anular: de outro modo o problema é impossível<sup>7</sup>.

Eliminemos então a limonada e as sandes, e reduzamos tudo a biscoitos — um estado de coisas ainda mais deprimente do que «se todo o mundo fosse tarte de maçã»<sup>8</sup> — subtraindo a primeira equação da segunda, o que elimina a limonada, e dá  $y + 3z = 3$ , ou  $y = 3 - 3z$ ; e então substituindo este valor de  $y$  na primeira, o que dá  $x - 2z = 5$ , isto é,  $x = 5 + 2z$ . Agora se substituirmos estes valores de  $x$  e  $y$  nas quantidades cujos valores são pedidos, a primeira fica  $(5+2z) + (3-3z) + z$ , isto é, 8: e a segunda fica  $2(5+2z) + 3(3-3z) + 5z$ , isto é, 19. Logo as respostas são (1) 8 dinheiros, (2) 1 xelim e 7 dinheiros.



Veículos da Società anonima degli omnibus, de Milão



<sup>4</sup> Rotação em torno de um eixo vertical. (N. do T.)

<sup>5</sup> Rotação em torno de um eixo horizontal de direcção frontal, que portanto resulta numa alteração do alinhamento com a vertical. Não confundir com *notação*, que é outra palavra. (N. do T.)

<sup>6</sup> Lewis Carrol (1832-1898), *As aventuras de Alice no País das Maravilhas*, capítulo 3. (N. do T.)

<sup>7</sup> Aliás, indeterminado. (N. do T.)

<sup>8</sup> *Mother gose rhymes* (coleção inglesa de poemas infantis). (N. do T.)



## Pesticidas, ao ataque!

Com certeza que já todos ouvimos falar de pesticidas, e de como eles são permanentemente usados na produção de alimentos, destruindo todas as pestes que interferiram com a sua qualidade. Isto para não falar no que dizem sobre os efeitos nefastos que têm para a nossa saúde, sobre o facto de causarem cancro, intoxicações, ataques de parvoíce e insucesso escolar.

Pois este texto pretende dar uma perspectiva realista da história e evolução dos pesticidas, e qual o seu uso no mundo actual, à parte de todas e quaisquer ideias generalizadas do senso comum.

### Mas o que são pesticidas??

São produtos, fabricados em laboratório ou de origem natural, usados para destruir pestes. Entende-se por «peste» qualquer animal, planta ou microrganismo que prolifera e vive em ambientes onde não é desejado pelo Homem. Portanto o termo de pesticida designa isso mesmo: uma «arma» contra uma peste.

Existem vários tipos de pesticidas e, conseqüentemente, várias maneiras de os classificar e agrupar. Mas a forma mais fácil de o fazer é separá-los consoante o tipo de organismo que atacam.

Tipo de Pesticida	Alvo de Ataque
Acaricida	Carrças, Aranhas, Acarinos
Antimicrobiano	Micróbios
Avicida	Pássaros
Fungicida	Fungos
Herbicida	Plantas, Ervas daninhas
Insecticida	Insectos
Moluscicida	Caracóis e Lesmas
Piscicida	Peixes
Rodenticidas	Roedores (Ratos)

Tabela 1 — Grupos de Pesticidas e alvos de acção

De todos estes os mais famosos são os insecticidas (que todos temos em casa para matar as moscas) e os herbicidas (usados nos jardins, por exemplo). É claro que estes dois tipos de pesticidas não se restringem ao nosso uso doméstico. Os insecticidas são usados em todo o mundo em grandes campos agrícolas, para que estes não sejam afectados por pragas de mosquitos e outros insectos!

### Breve história dos pesticidas

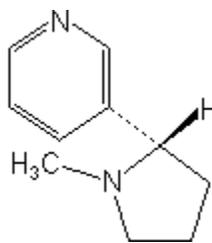
A história dos pesticidas começa bem para trás... na antiguidade! Mesmo nos anos antes de Cristo os povos da China, da Grécia e da Suméria já se tinham apercebido do efeito de alguns sais inorgânicos no combate aos insectos nas suas colheitas. Mais tarde aperceberam-se também que certas plantas funcionavam perfeitamente como um veneno potente para a maioria dos vertebrados e invertebrados, embora não tivessem a menor ideia de quais as substâncias activas que elas continham. Uma dessas substâncias era... a nicotina! Coincidência de nomes? Não, esta é a mesma nicotina que é extraída da planta *Nicotina tabacum* e usada como a substância activa do tabaco (dá para perceber porque é que fumar prejudica tanto a saúde, não?).

O uso «oficial» de pesticidas começou no final do século XIX, com a comercialização de alguns sais inorgânicos no combate

às espécies de escaravelhos que nessa altura afectavam as plantações de batatas. No entanto a maioria destes sais eram tão tóxicos para as pestes como para o Homem. E por isso acabaram por ser abandonados uns anos depois, sendo substituídos por compostos orgânicos.

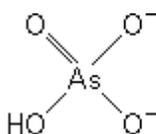
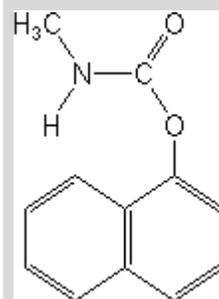
### Mas o que é isso do orgânico e inorgânico?

Um composto é inorgânico se não tiver carbono na sua constituição. E o facto de se chamar orgânico a um composto não quer dizer que seja de origem natural. De facto existem inúmeros compostos orgânicos que são sintetizados em laboratório, e por isso se chamam orgânicos sintéticos. Assim, existem inúmeros compostos orgânicos, tanto de origem natural como sintéticos. Seguem-se alguns exemplos:



Nicotina — um produto natural orgânico, extraído das folhas da *Nicotina tabacum* e da *Nicotina rustica*

Carbaril — um sintético orgânico, feito em laboratório



Pb<sup>2+</sup>

Arsenato de Chumbo — um sal sintético inorgânico, feito em laboratório

### O Verde de Paris

O Verde de Paris é um dos exemplos mais emblemáticos de um pesticida sintético inorgânico, e tem uma história bastante peculiar.

Verde de Paris é o nome trivial para um composto descoberto em 1808, designado por Acetoarsenito de Cobre, cuja fórmula química corresponde a  $Cu(C_2H_3O_2)_2 \cdot 3Cu(AsO_2)_2$ . A história engraçada deste composto é que ele começou por ser comercializado em 1814, não como pesticida mas sim como um mero pigmento para tintas, devido à cor verde intensa que apresentava. Só após se atribuir a culpa ao Verde de Paris pelos envenenamentos de algumas pessoas que pintavam quadros é que o composto foi completamente banido das tintas. Este veneno potente está inserido em inúmeros quadros pintados durante o século XIX!



Apenas em 1867 o Verde de Paris foi introduzido no combate a pestes, sendo o principal insecticida para combater o escaravelho da batata. Em 1900 era usado em tão larga escala que levou o governo dos Estados Unidos da América a estabelecer a primeira legislação no país sobre o uso de insecticidas.

O composto acabou por ser banido uns anos depois, devido sua extrema toxicidade para os mamíferos.

### O DDT — um perigo «latente»

Como seguimento aos sais inorgânicos, que se mostravam eficientes mas demasiado tóxicos, surge em 1941 o DDT. Este insecticida organoclorado (orgânico que contém cloro), também conhecido como Diclorodifeniltricloroetano, pode ser considerado o pesticida de maior importância histórica, devido ao seu impacto no ambiente, agricultura e saúde humana.

De facto o DDT não foi desenvolvido no século XX. A sua origem remonta a 1874 quando o bioquímico alemão Ohtmar





Zeidler o sintetizou pela primeira vez. Mas não tendo encontrado nenhum uso para o seu composto, este permaneceu na gaveta durante mais de 60 anos, até Paul Hermann Muller tropeçar nele em 1939.

Este composto, surpreendentemente, demonstrava ser eficaz contra uma vasta gama de insectos, o que levou a uma rápida comercialização e a um uso vastíssimo, abrangendo na década de 60 a aplicação para 334 variedades diferentes de produtos agrícolas, só nos Estados Unidos.

Deste forma o DDT foi rapidamente apelidado como o pesticida «salva-vidas» perfeito e eficiente, que aparentemente não era prejudicial para a saúde pública.

Foram inúmeros os programas de erradicação da malária na maioria dos países desenvolvidos, através do uso do DDT.

A malária é uma doença mortal, ainda hoje muito presente nos países em desenvolvimento. Milhares de pessoas continuam a morrer todos os anos com malária, e a doença é facilmente transmitida através de uma espécie de mosquitos que a transportam. É provavelmente a segunda maior preocupação da Organização Mundial de Saúde, a seguir à SIDA.

A relação entre a erradicação da malária e o uso de DDT está precisamente nos mosquitos transportadores. O DDT era muitas vezes pulverizado directamente, quase como se fosse água, sobre colheitas, casas, ruas, pessoas, etc., por forma a atacar os mosquitos transportadores da doença.

#### O reverso da medalha

O DDT não é um caso de sucesso, nem muito menos um «salva-vidas» perfeito. É sim um caso de perigo latente.

Anos mais tarde, já no fim da década de 60, começaram a surgir os primeiros manifestos contra o uso de DDT, baseados em alguns estudos por métodos analíticos.

Final qual o problema do uso deste pesticida tão eficiente e eficaz? O que realmente sucede é que o DDT é um composto muito estável, demasiado estável. A estabilidade é uma mais-valia na altura da pulverização e ataque à peste, mas uma desvantagem quando o composto persiste no ambiente e nos animais durante anos! E aí está o grande problema, o pormenor que faltou ser pensado na altura em que começou o seu uso.

O DDT não é um composto hidrossolúvel, ou seja, não se dissolve em água. Ao contrário disso ele é bastante lipossolúvel, ou seja, dissolve-se facilmente em gorduras. Quando ele é pulverizado nos alimentos, para que estes não sejam atacados por pestes, para além de não se degradar, não vai sair com uma lavagem normal, visto não se dissolver. Assim o DDT vai persistir nos alimentos até chegar à boca dos animais, ou mesmo do próprio Homem, que deles se alimentam.

Dentro do nosso corpo o DDT também não é solúvel em água o que significa que não sai pelos métodos de excreção comuns,

## Pesticidas são produtos, fabricados em laboratório ou de origem natural, usados para destruir pestes.

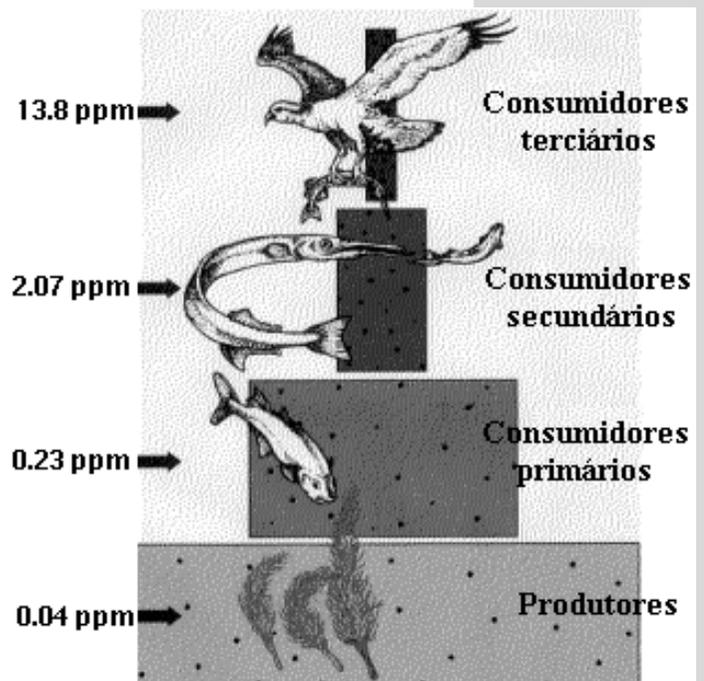
como a urina. Ao invés desse acontecimento, ele dissolve-se e acumula-se na gordura animal, demorando anos até ser transformado nos seus metabolitos e excretado! Os estudos analíticos indicam que são precisos 8 anos até que a concentração de DDT presente no nosso corpo se reduza a apenas metade!

Estes dados alarmantes levaram os cientistas a estudar a fundo os efeitos que a presença de DDT pode ter num organismo animal. Sabe-se neste momento que o DDT é extremamente tóxico, não a curto prazo mas sim a longo prazo, sendo responsável por infertilidade, cancro do fígado e problemas hepáticos, defeitos congénitos, etc.

E o problema não morre aqui. Existe também um sério problema de bioacumulação, ao longo da cadeia alimentar...

#### Bioacumulação?!?

Imaginemos que um campo de erva tinha sido tratado com DDT. Essa erva servirá como pasto para um animal de grande porte como uma vaca. Ora se a vaca se alimentar todos os dias dessa erva, a concentração de DDT na vaca vai começar a aumentar, ainda mais do que já se encontrava na erva. E se essa vaca entrar na nossa cadeia alimentar a concentração de DDT no nosso corpo será ainda maior! É este o problema designado por bioacumulação o qual está exemplificado na figura abaixo.



Valores de concentração de DDT nos tecidos (ppm = partes por milhão; se a densidade for 1 kg/L isso dá 1 mg/L)

Os problemas ainda não acabam aqui...

A degradação do DDT dentro dos organismos animais dá normalmente origem a uma série de metabolitos, eles próprios também tóxicos! Os dois metabolitos mais problemáticos são o DDE e o famoso Clorofórmio (CCl<sub>4</sub>).

O DDE, embora não tão tóxico como o DDT, tem propriedades que o tornam solúvel em leite. E um dos casos mais preocupantes, mesmo após se banir o uso de DDT em quase todo o mundo, foi a presença de DDE no leite materno dos humanos! Para os recém nascidos que dele se alimentam, este leite será claramente tóxico!

O caso do Clorofórmio é um pouco diferente. Através de um processo químico específico, o clorofórmio resultante da degradação do DDT pode, por sua vez, degradar-se e originar Fosgénio, uma substância particularmente electrófila com capacidade de provocar grandes alterações no DNA, o nosso material genético. O que originam estas alterações? — Cancro.

À conta de todos estes estudos efectuados sobre o DDT, o seu uso foi banido em quase todos os países do mundo.

Em estudos efectuados, calcula-se que a quantidade de DDT que foi utilizada nos Estados Unidos é da ordem dos



1.000.000.000 kg!!

### O pós-DDT

A introdução do DDT foi tão rápida como a sua tentativa posterior de o banir. Estamos ainda nos anos 50 e os primeiros casos problemáticos com o DDT começavam a prever o seu futuro.

Nessa mesma altura outros cientistas tentavam desenvolver outro tipo de pesticidas, desta vez com a preocupação acrescida de que os compostos não poderiam ter grandes impactos ambientais nem de saúde pública.

Assim um composto com as propriedades de organofosforado (feitos à base de fósforo) surgiu em 1950, desenvolvido pela *American Cyanamid Company*, designado por Malathion, conhecido por alguns como Malatião e por outros como o «mata-sogra». Este composto é ainda hoje usado e comercializado como insecticida.

Os estudos de um outro cientista, Robert Metcalf, fazem surgir uma nova química, a química dos carbamatos, donde nasce o Propoxur, comercialmente designado como Baygon®. É certo que ainda hoje este produto é muito usado a nível doméstico.

### Resistência a pesticidas

Os primeiros casos de resistência a pesticidas foram revelados em 1914. Em 1946 já se conheciam onze espécies resistentes a pesticidas, e o número foi aumentando sucessivamente ao longo dos anos, chegando às 447 em 1984.

Mas o que acontece exactamente quando se diz que a espécie é resistente?

O mundo está cheio de mutações espontâneas, organismos que nascem com características diferentes da espécie dominante, resultado de alterações aleatórias e espontâneas que ocorrem nos nossos genes. Normalmente essas mudanças são inviáveis, ou seja, os organismos desenvolvem-se com características que ou nem lhes permitem nascer, ou não lhes permitem sobreviver.

Mas existem casos de mutações bem sucedidas no mundo. E em especial nos insectos, que têm uma vida muito curta e se reproduzem muito depressa, essas mutações aparecem com facilidade.

Se um insecto «aprender» a defender-se de um pesticida, ou seja, se sofrer uma mutação que permita que não seja afectado por esse pesticida, então esse vai ser o único sobrevivente quando aplicarmos o pesticida.

E como esse organismo mutado sobrevive, dá origem a outros organismos mutados que também sobrevivem. E enquanto estivermos a aplicar o pesticida estaremos apenas a eliminar a espécie selvagem (que não sofreu mutação) e a dar ainda mais espaço aos que sobrevivem para se desenvolverem!

O resultado é óbvio: a uma dada altura a espécie dominante é a espécie resistente, e, mesmo aplicando o pesticida, o resultado será nulo.

Este não é de todo um problema estagnado mas sim um problema crescente. Existem pesticidas que simplesmente já não funcionam em espécie alguma, e que por isso foram retirados do mercado e substituídos por outros.

Embora existam técnicas que permitem reduzir a velocidade com que as espécies se tornam resistentes, não há forma de parar o problema por completo. A solução passa por desenvolver cada vez mais novos tipos de pesticidas cujo alvo químico de ataque seja diferente dos anteriores.

### No mundo actual

Nos dias de hoje a polémica dos pesticidas continua. Persiste a preocupação de desenvolver novos compostos para controlar as espécies que a cada dia se

tornam resistentes aos produtos aplicados. Persiste o esforço de um maior controlo, não só nas pestes mas também nos pesticidas usados. E persiste acima de tudo a preocupação dos efeitos dos pesticidas no Homem.

Actualmente existem inúmeras leis, protocolos e instituições que têm como objectivo estabelecer regras no uso dos pesticidas e prever os seus resultados antes da sua aplicação. Nos EUA foi criado o programa IPM — Integrated Pest Management — com o intuito de recriar o impacto de pesticidas num pequeno ecossistema, para que seja possível prever um efeito antes da aplicação do pesticida.

O uso de DDT encontra-se proibido para fins agrícolas. No entanto, para 25 países em desenvolvimento, foi permitido o uso de DDT, por ser a forma de defesa mais barata e acessível contra mosquitos transportadores de malária.

E agora a grande pergunta: será mesmo necessário usar pesticidas?

## E agora a grande pergunta: será mesmo necessário usar pesticidas?

Para uma população terrestre de cerca de 6.000.000.000 de habitantes, a única forma de garantir a sua sustentabilidade é através do controlo da agricultura. O Homem como espécie dominante existe em quantidade muito superior à imposta pelo equilíbrio da Natureza. Portanto a resposta é: sim. Os pesticidas são necessários enquanto o Homem quiser controlar o mundo, não só consumindo todos os recursos que nele encontra como gerindo-os da melhor forma. Porque no fundo é uma questão de luta contra a Natureza, não só pela sobrevivência mas também pelo contínuo crescimento e desenvolvimento da espécie Humana.

### Nota

Este artigo foi elaborado a partir de um trabalho sobre Pesticidas e Herbicidas, para a disciplina de História e Filosofia das Ciências, no IST. Agradeço por isso a contribuição do meu colega de grupo, Nuno Ramos Teodoro.

### Para saber mais:

Pesticides Usage in USA, University of Georgia, 2000, <http://www.ces.uga.edu/pubs/PDF/B1121.pdf>

Report of the Standing Committee on Environment and Sustainable Development, 2000 <http://www.parl.gc.ca/InfoComDoc/36/2/ENVI/Studies/Reports/envi01/10-ch3-e.html>

Web exhibits, Pigments through the ages - Emerald Green - Verde de Paris <http://webexhibits.org/pigments/indiv/overview/emerald.html>

Frear, Chemistry of Insecticides, Fungicides and Herbicides, 2nd edition, D. Van Nostrand Company, Inc. 1948

Biografia de Paul Hermann Muller, [http://www.nobel-winners.com/Medicine/paul\\_hermann\\_muller.html](http://www.nobel-winners.com/Medicine/paul_hermann_muller.html)

Microbial Degradation of Pesticides Reading Assignment [http://jan.ucc.nau.edu/~doetqp-p/courses/env440/env440\\_2/lectures/lec25/lec25.html](http://jan.ucc.nau.edu/~doetqp-p/courses/env440/env440_2/lectures/lec25/lec25.html)

History of Pesticide Use, 2002 <http://oregonstate.edu/instruction/bi301/pesthist.htm>

Global Use of Pesticides, 2001 <http://oregonstate.edu/instruction/bi301/pestglob.htm>

Mosquitoes, DDT, and Human Health, 2002 <http://www.21stcenturysciencetech.com/articles/Fall02/Mosquitoes.html>

Bibliografia de Robert Lee Metcalf, <http://www.nap.edu/html/biomems/rmetcalf.html>

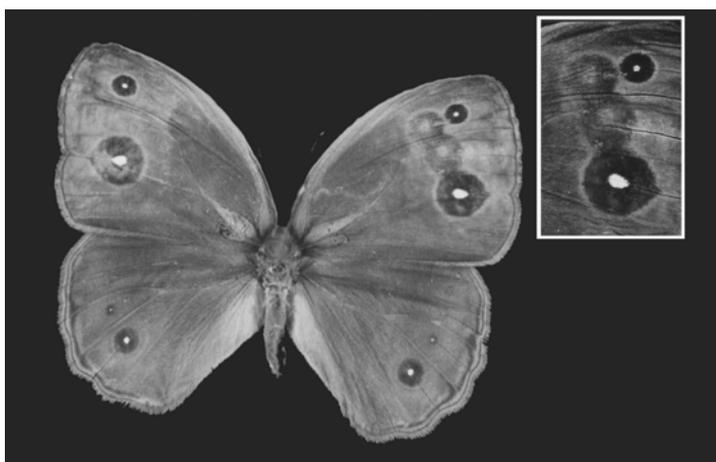
Resistência a Pesticidas, <http://www.cals.ncsu.edu:8050/course/ent425/tutorial/A>

What's IPM, University of California, 2003 <http://www.ipm.ucdavis.edu/IPMPROJECT/about.html>



## Arte biológica

Os seres humanos, ao longo da sua evolução, interagiram permanentemente com outros seres vivos. Como resultado dessa interação muitos animais e plantas hoje existentes foram em parte «desenhados» por seres humanos. É o caso, por exemplo, das plantas usadas em agricultura ou dos animais de estimação. Nos últimos anos a sociedade tem mostrado uma preocupação crescente com a forma como os avanços da biologia permitem uma manipulação mais eficaz de organismos vivos: por um lado estes desenvolvimentos oferecem grandes benefícios, mas por outro lado teme-se que possam ser mal utilizados. Vários artistas começaram a reflectir estas preocupações nas suas obras. Mas alguns desses artistas optaram por incorporar conhecimentos e técnicas de biologia moderna como material para produção artística. É interessante notar que esta prática artística surgiu de forma independente, e quase em simultâneo, em vários pontos do globo.



**Marta de Menezes, «Nature?», 1999. Borboletas com o padrão de uma das asas modificado. As asas da esquerda apresentam o padrão original, enquanto as da direita o padrão induzido.**

Enquanto alguns artistas utilizam DNA para criar mensagens que introduzem em bactérias (como as obras «Microvenus» e «The Riddle of Life» de Joe Davis; ou «Genesis» de Eduardo Kac), outros utilizaram células para criar esculturas semi-vivas («Tissue Culture and Art» de Oron Catts e Ionat Zurr). A minha actividade artística tem procurado mostrar a diversidade de oportunidades que a biologia moderna oferece para criação de arte. Inicialmente trabalhei no laboratório do Prof. Paul Brakefield, na Holanda, onde utilizei técnicas de biologia do desenvolvimento para criar borboletas vivas cujas asas tinham desenhos por mim criados. Estes desenhos eram feitos apenas com células vivas — sem pigmentos ou cicatrizes — indistinguíveis de asas originais excepto pelo novo padrão. Chamei a este projecto «Nature?» para induzir a reflexão sobre a fronteira entre o natural e o artificial. Mais recentemente tenho utilizado DNA para pintar padrões no núcleo de células humanas, criando micro-esculturas que podem ser observadas com um microscópio laser confocal. Este trabalho tem sido desenvolvido em colaboração com a cientista portuguesa Ana Pombo do Imperial College em Londres. Descobri ainda que as proteínas têm formas fantásticas: observar a estrutura de proteínas utilizando realidade virtual é semelhante ao passear por uma galeria de arte! Algumas estruturas são tão interessantes como esculturas de Anthony Caro ou Henry Moore. Neste

**Marta de Menezes, «Retrato Funcional: Autoretrato enquanto a desenhar», 2002. Impressão em tela, 65 x 130 cm.**

momento estou a tentar tirar partido das características estéticas de proteínas criando um auto-retrato que consiste na estrutura tridimensional de uma proteína artificial. Os componentes desta nova proteína (aminoácidos) estão numa sequência que corresponde ao meu nome. Em outro projecto procurei criar retratos em que não só represento a aparência física do sujeito, mas também a função do seu cérebro enquanto estava a fazer determinada tarefa. Procuo assim representar simultaneamente o corpo e a mente. Para tal utilizo uma tecnologia ainda experimental que permite observar as áreas do cérebro que estão activas. Por exemplo, com ajuda da cientista Patrícia Figueiredo da Universidade de Oxford, realizei um auto-retrato com a actividade do meu cérebro enquanto estava a desenhar no interior do aparelho.

Os exemplos acima descritos mostram como são diversas as opções que vários artistas que trabalham com biologia têm seguido. Provavelmente tão diversas quanto a biologia moderna é vasta.

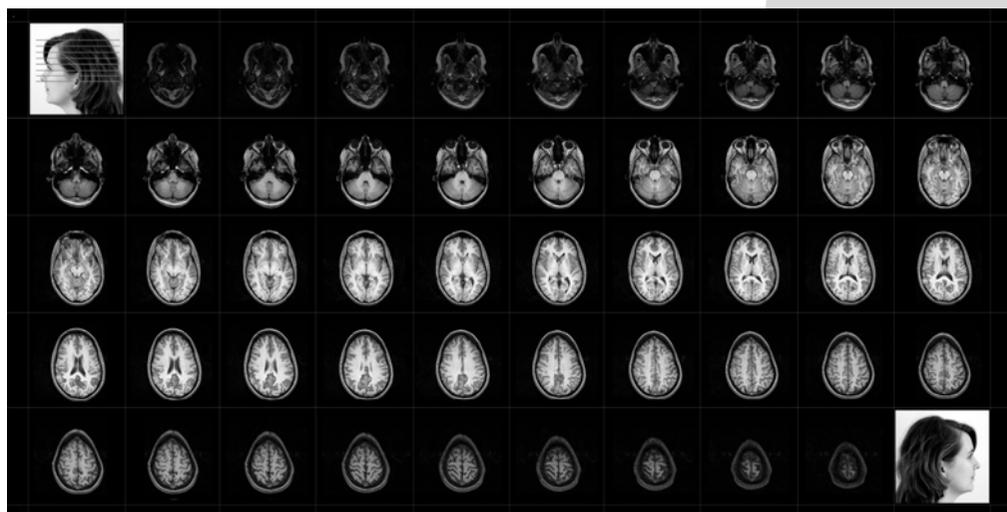
### Para saber mais

Mais informação sobre os trabalhos descritos em [www.martademenezes.com](http://www.martademenezes.com). A obra «Retrato Funcional: O Meu Jardim da Gulbenkian» que incorpora a actividade do cérebro da Marta de Menezes enquanto a desenhar está em exibição na Fundação Calouste Gulbenkian, na exposição «7 Artistas ao 10º Mês» comissariada por Miguel Amado, a partir de 22 de Outubro.

A autora é Artista em Residência no Imperial College em Londres. E-mail: [marta@martademenezes.com](mailto:marta@martademenezes.com)



**Marta de Menezes, «NucleoArt», 2002. Núcleos de células humanas pintados com sondas de DNA fluorescentes. Imagem da instalação no Perth Institute of Contemporary Art, Australia.**



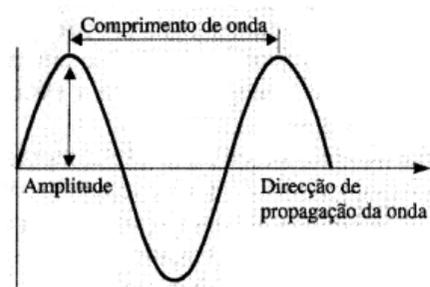
Esta secção publica extractos do trabalho intitulado «Átomo», que foi apresentado no 20º Encontro Juvenil de Ciência.

## O contributo da luz no estudo do átomo

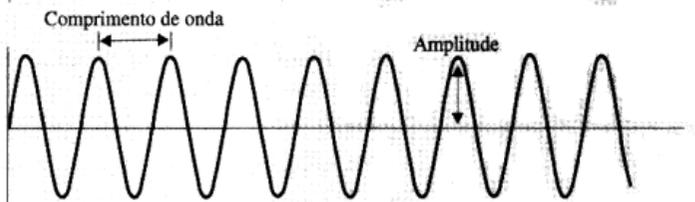
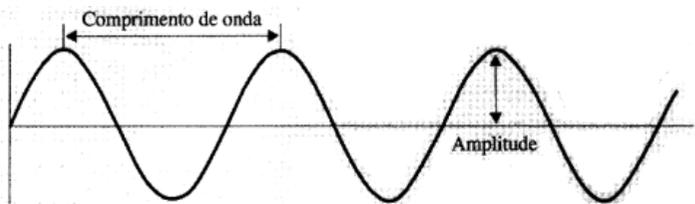
### Resumo das propriedades das ondas

Uma onda pode ser definida como uma perturbação vibracional na qual é transmitida energia. A velocidade de uma onda depende não só do tipo de onda, mas também da natureza do meio onde a onda se propaga. A distância entre pontos idênticos de ondas sucessivas denomina-se por comprimento de onda —  $\lambda$  (lambda). A frequência da onda —  $\nu$  (niu) — corresponde ao número de ondas que passam por um determinado ponto num segundo. Por último a amplitude é a distância vertical entre o meio da onda e a crista ou a cava.

### O comprimento de onda e a amplitude de uma determinada onda



à esquerda — e duas ondas que têm comprimentos de onda e frequências diferentes — em baixo. O comprimento de onda da onda superior é três vezes maior do que o da onda inferior, mas a sua frequência é apenas um terço da frequência da onda de baixo. Ambas têm a mesma amplitude.



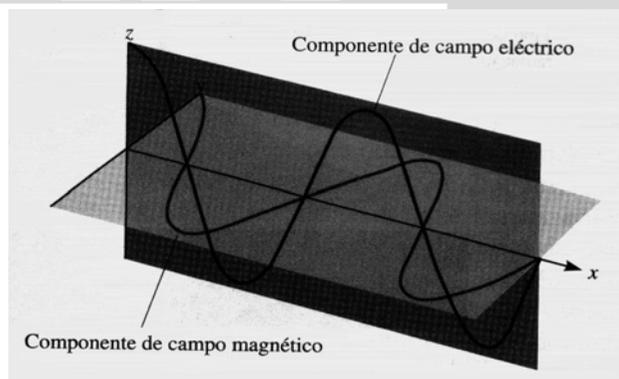
A velocidade de uma onda depende do número de ciclos de passagem da onda num determinado ponto por segundo (ou seja, da frequência) e do comprimento da onda. De facto a velocidade de uma onda ( $v$ ) é dada pelo produto do seu comprimento de onda pela sua frequência:

$$v = \lambda \nu$$

O comprimento de onda é geralmente expresso em metros, centímetros ou nanómetros e a frequência em Hertz (Hz), sendo que 1 Hertz equivale a 1 ciclo por segundo.

### A radiação electromagnética

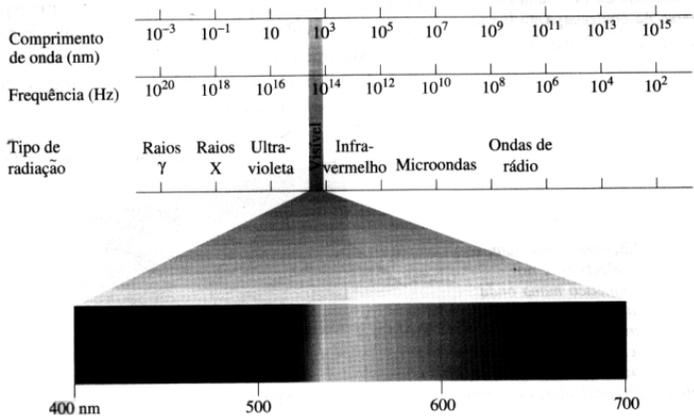
A radiação pode ser definida como a emissão de energia através do espaço, na forma de ondas. Em 1873, James Maxwell sugeriu que a luz visível seria constituída por ondas electromagnéticas. Segundo a teoria de Maxwell, uma onda electromagnética seria uma onda que tem uma componente de campo eléctrico e uma componente de campo magnético. Estas duas componentes têm o mesmo comprimento de onda e a mesma frequência (e por isso a mesma velocidade), mas propagam-se em planos perpendiculares entre si.



As componentes do campo eléctrico e do campo magnético numa onda electromagnética. Estas duas componentes têm o mesmo comprimento de onda, frequência e amplitude, mas a sua vibração faz-se em dois planos perpendiculares entre si.

A teoria de Maxwell é extremamente importante porque fornece uma descrição matemática para o comportamento geral da luz e descreve, com rigor, como pode a energia sob a forma de radiação propagar-se através do espaço, como campos eléctricos e magnéticos oscilantes. Esta emissão de energia sob a forma de ondas electromagnéticas denomina-se radiação electromagnética.

A velocidade de propagação das ondas electromagnéticas é de  $3,00 \times 10^8$  m/s, o que corresponde à velocidade da luz no vácuo. Os vários tipos de radiação, apesar de terem uma velocidade igual no vácuo, diferem entre si no comprimento de onda e na frequência. As ondas mais longas são por exemplo as ondas de rádio. A seguir temos as ondas correspondentes ao espectro de luz visível, que são produzidas pelo movimento dos electrões dentro dos átomos e moléculas. As ondas mais curtas e que possuem maior frequência são as associadas aos raios  $\gamma$  (gama) e que resultam das mudanças no seio dos núcleos atómicos.



Tipos de radiação electromagnética. Os raios gama têm os comprimentos de onda mais curtos e as frequências mais altas. As ondas de rádio têm os maiores comprimentos de onda, mas as menores frequências. Cada tipo de radiação cobre uma gama específica de comprimentos de onda (e também de frequências). A zona visível vai de 400 nm (violeta) a 700 nm (vermelho).

### A teoria quântica de Planck

Quando os sólidos são aquecidos emitem radiação numa larga gama de comprimento de onda. Temos para isso exemplos muito flagrantes em nossa casa: o luzir vermelho de um aquecedor eléctrico e o brilho branco intenso da luz de uma lâmpada de tungsténio são exemplos de radiações emitidas por sólidos, quando aquecidos a diferentes temperaturas.

No final do século XIX tinha-se chegado à conclusão de que a quantidade de energia irradiada depende do comprimento de onda. Se tivermos em conta somente a teoria ondulatória e as leis da termodinâmica, não conseguimos explicar com sucesso



esta dependência. Existiam teorias que a explicavam para comprimentos de onda mais pequenos, mas que falhavam nos maiores; outras havia que conseguiam explicar esta dependência para grandes comprimentos de onda, mas que nada conseguiam dizer acerca dos mais pequenos. Parecia que algo de fundamental estava a faltar às leis da Física Clássica.

Em 1900, Max Karl Ernst Ludwig Planck, físico alemão, resolveu este problema com uma suposição que se afastava drasticamente dos conceitos estabelecidos até então. A Física Clássica considerava que os átomos e as moléculas podiam emitir ou absorver qualquer quantidade de energia radiactiva. Planck sugeriu que os átomos e moléculas podiam absorver ou emitir energia apenas em quantidades discretas, ou seja, em pequenas parcelas bem definidas. À mais pequena quantidade de energia que pode ser emitida ou absorvida na forma de radiação electromagnética, Planck deu o nome de quantum.

Uma onda electromagnética de frequência deve ser emitida por um grupo de átomos que se encontra na superfície do sólido, oscilando com a mesma frequência. Planck sugeriu que este grupo de átomos, o oscilador, não poderia ter uma energia qualquer. A energia  $E$  de um quantum deveria ser proporcional à frequência da radiação:

$$E \propto \nu$$

A constante de proporcionalidade para esta relação ( $h$ ) é denominada constante de Planck:

$$E = h \nu$$

onde  $h$  tem o valor de  $6,63 \times 10^{-34}$  Js.

Posteriormente foi demonstrado, por meio de medidas espectroscópicas, que, inequivocamente, a energia de um oscilador molecular é quantizada. Os níveis de energia permitidos são dados por:

$$E = (n + 1/2) h \nu$$

De acordo com a teoria quântica de Planck, a energia é emitida sempre em múltiplos de  $h \nu$ , por exemplo  $h \nu$ ,  $2 h \nu$ ,  $3 h \nu$ , ..., mas sendo  $n$  sempre um número inteiro positivo, ficando assim a sua hipótese quântica:

$$E = n h \nu$$

Na altura em que Planck apresentou a sua teoria, não podia explicar por que é que as energias deviam ser fixadas ou quantificadas desta maneira, mas o que é certo é que não teve muitos problemas em correlacionar os resultados experimentais da emissão por sólidos em toda a gama de comprimentos de onda. Todos eles verificavam a teoria quântica.

## No final do século XIX tinha-se chegado à conclusão de que a quantidade de energia irradiada depende do comprimento de onda.

O único problema que se apresentou a Planck foi o de que, quando os osciladores emitem radiação, devem perder energia. Portanto, para que um oscilador possa emitir, o número quântico  $n$  deve ser muito maior do que zero. Mas como é que isto pode explicar porque é que as radiações de alta frequência são tão escassas?

Planck supôs que os osciladores estão em equilíbrio entre si, e, conseqüentemente, as suas energias devem estar distribuídas de acordo com a lei de Boltzmann. Segundo esta lei, a probabilidade de se encontrar um oscilador com energia  $n h \nu$  é dada por:

$$\text{probabilidade} = \exp(-n h \nu / k T)$$

Podemos perceber que a possibilidade de encontrarmos um oscilador de alta frequência com energia suficiente para emitir luz,  $n > 0$ , é muito pequena, pois  $\exp(-n h \nu / k T)$  diminui à medida que  $\nu$  aumenta. Isto explica também porque é que o sólido emite tão pouca radiação de alta frequência: no equilíbrio, os osciladores de alta frequência raramente possuem a energia mínima,  $h \nu$ , necessária para irradiar. Deste modo, a suposição de que a energia de um oscilador não pode ter valores contínuos explica, satisfatoriamente, os dados experimentais.

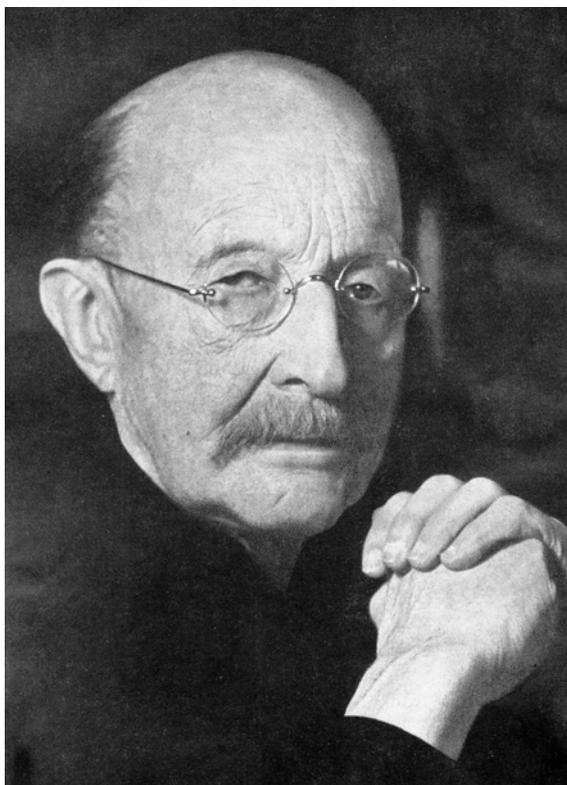
A existência de níveis de energia não contínuos pode parecer um pouco absurda, e é de facto um conceito difícil de aceitar, pois contradiz toda a nossa experiência com sistemas físicos macroscópicos. Logo, o facto de inicialmente muitos cientistas duvidarem desta teoria, inclusivamente o próprio Planck, não é nada de extraordinário. De facto, a ideia de a energia estar dividida em parcelas discretas tem bastantes analogias no nosso dia a dia e também no mundo científico: a carga eléctrica está quantificada (o seu valor tem de ser um múltiplo inteiro da carga do electrão), a matéria também está quantificada (o número de átomos, moléculas, electrões, prótons e neutrões é sempre inteiro e positivo) e até o sistema monetário se baseia, no caso da União Europeia, numa unidade, o euro.

### O efeito fotoeléctrico

Dois anos após a teoria quântica de Planck (1902), foi descoberto um fenómeno muito peculiar da física, o efeito fotoeléctrico. Este efeito baseava-se na incidência de luz sobre uma superfície metálica limpa, devendo esta experiência processar-se no vácuo. Mas o que mais surpreendeu os cientistas foi que esta luz provocava a ejeção de electrões do metal.

Este efeito não era explicado pela teoria ondulatória convencional da luz em três aspectos relevantes. Em primeiro lugar constatou-se que, para um electrão ser emitido, a frequência da radiação teria de ser maior do que um determinado valor crítico ou frequência limiar ( $\nu_0$ ). Em segundo lugar, a energia cinética dos electrões emitidos aumentava concomitantemente com o aumento de frequência da onda electromagnética. Por último, verificou-se que o aumento da intensidade da luz incidente não alterava a energia dos electrões ejectionados, mas aumentava o número de electrões emitidos por unidade de tempo.

De acordo com a teoria ondulatória, a energia da luz deveria ser independente da frequência. Deste modo, esta teoria não conseguia explicar a dependência existente entre a energia cinética e a frequência, nem a existência de uma frequência limiar para o efeito fotoeléctrico. Um outro ponto de desacordo é que a teoria convencional naquela época previa que a energia dos electrões deveria aumentar com o aumento da



Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 – 1947)



intensidade da luz incidente, previsão que contrariava todos os resultados experimentais obtidos.

Quem conseguiu, pela primeira vez, explicar o efeito fotoelétrico foi Albert Einstein, físico americano de origem alemã, que em 1905 fez uma suposição extraordinária. Ele sugeriu que não se pensasse na luz como uma onda, mas sim como um feixe de partículas discretas de luz, às quais ele deu o nome de fótons. Utilizando a

teoria quântica de Planck, Einstein deduziu que cada fóton tinha de possuir uma energia  $E$ , dada pela equação

$$E = h \nu$$

em que  $\nu$  é a frequência da luz.

Os electrões estão ligados a um metal por forças atractivas e, para se conseguirem removê-los, tem de se utilizar radiação com uma frequência suficientemente elevada (logo uma energia também suficientemente elevada). Fazer incidir um raio de luz sobre uma superfície metálica é comparável a disparar um feixe de partículas — fótons — sobre os átomos do metal.

Caso a frequência dos fótons seja tal que  $h \nu$  é exactamente igual à energia de ligação dos electrões ao metal, então a radiação terá exactamente a energia necessária para libertar os electrões.

Se utilizarmos luz com uma frequência mais elevada, então os electrões libertam-se da superfície metálica, mas também adquirem energia cinética. Esta situação pode ser equacionada pela expressão seguinte:

$$h \nu = E_C + E_L$$

onde  $E_C$  é a energia cinética do electrão ejectado e  $E_L$  é a energia de ligação do electrão no metal.

Para confirmar matematicamente os dados experimentais Einstein rescreveu a equação anterior da seguinte forma:

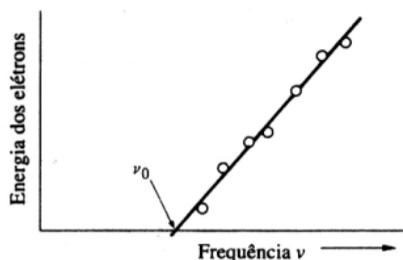
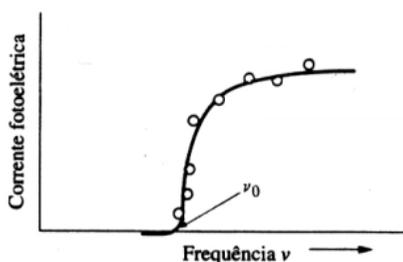
$$E_C = h \nu - E_L$$

Daqui podemos verificar que quanto maior for a energia do fóton (maior frequência), maior será a energia cinética do fóton libertado.

Vamos considerar agora dois feixes de luz com a mesma frequência (superior à frequência limiar) mas de diferentes intensidades. O feixe mais intenso será aquele que tem um maior número de fótons, logo o número de electrões ejectados da superfície do metal será maior do que o número de electrões ejectados pelo feixe de luz mais fraco.

Assim, quanto mais intensa é a luz, maior o número de electrões emitidos pelo alvo metálico e, quanto maior for a frequência da luz, maior é a energia cinética dos electrões ejectados.

A teoria de Einstein poderá parecer racional e até bastante coerente, mas criou um enorme dilema aos cientistas da época. Todos eles aceitavam que o modelo corpuscular de Einstein explicava o efeito fotoelétrico de forma bastante satisfatória, o que até ao momento não se tinha conseguido explicar com o modelo ondulatório. Mas também nenhum deles poderia negar que a teoria corpuscular da luz era completamente inconsistente com o comportamento ondulatório da mesma. A única forma de resolver este problema é aceitar que a luz possui tanto propriedades corpusculares como propriedades ondulatórias. Dependendo da experiência, constatamos que a luz se comporta ou como uma onda ou como um feixe de partículas.

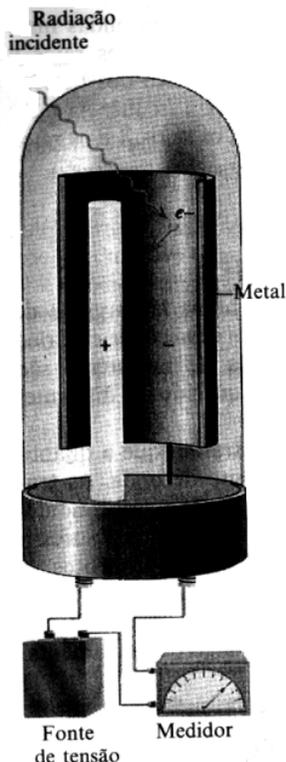


**O efeito fotoelétrico: (a) corrente emitida em função da frequência, (b) energia cinética máxima dos electrões em função da frequência.**

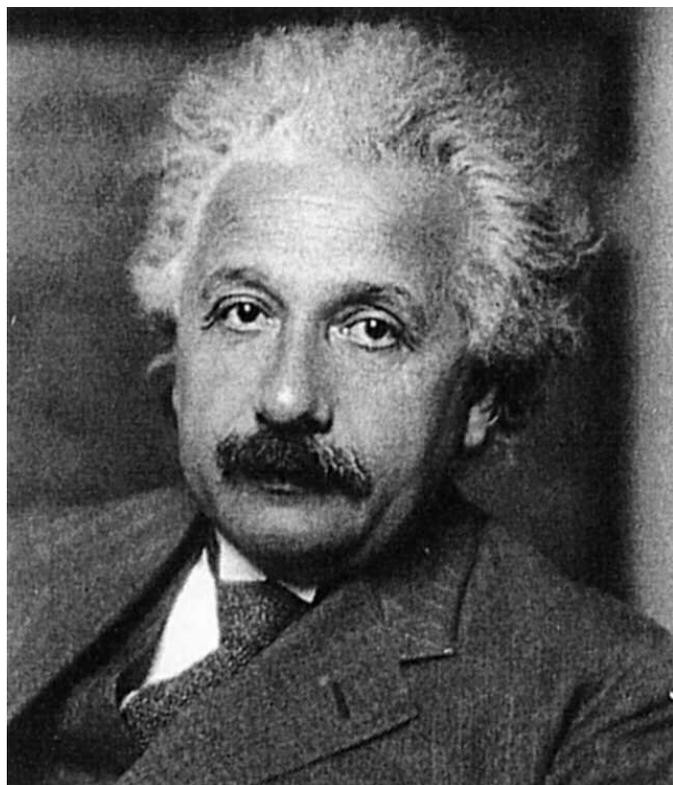
Este conceito levou muito tempo até ser aceite, pois era totalmente antagónico à maneira como até aí os físicos entendiam a matéria e a radiação. Mas, mais tarde, verificou-se que esta dualidade onda-partícula não é exclusiva da luz, mas que é também característica de toda a matéria.

### Bibliografia

- CHANG, Raymond — Química. 5ª edição. Lisboa, McGraw-Hill.
- DIAS, Alberto Romão; MARQUES, Maria Matilde — Química — princípios de estrutura e reactividade. Lisboa: Universidade Aberta, 1996.
- Enciclopédia Luso-brasileira de Cultura. 2º volume. Lisboa: Verbo.
- FARIA, Ana Maria; VALADARES, Jorge; SILVA, Luís; TEODORO, Vítor — FQ8. 2º volume (Química). 3ª Edição. Didáctica Editora.
- MAHAN, Bruce M.; Myers, Rollie J. — Química, um curso universitário. Editora Edgard Blucher.
- SOUSA, Maria Helena Côncio da Fonseca de Silva — Química, estrutura atómica e tabela periódica. Livraria Almedina.
- TEIXEIRA, José A.; NUNES, Adriana Barreiro de Sousa — Compêndio de Química do 2º ano liceal. Porto: Porto Editora.



**Uma montagem para estudar o efeito fotoelétrico. Faz-se incidir radiação com uma determinada frequência sobre uma superfície metálica. Os electrões ejectados são atraídos para o eléctrodo positivo. O fluxo de electrões é indicado por um medidor.**



Albrecht (Albert) Einstein (1879 — 1955)

**Não percas a continuação deste artigo na página 33 deste número da CiênciaJ!**

Escrevi no editorial do número 32 da *CiênciaJ* sobre a arrogância que seria elevar o conhecimento científico à categoria de dogma. Mais que arrogância: perigo. Porque isso faria com que tal conhecimento deixasse de ser científico. Porque a realidade não se ajusta ao que vai na cabeça dos cientistas. Os cientistas é que têm de explicar a realidade como ela é.

Se a realidade se não ajusta ao bel-prazer dos cientistas, também se não ajusta ao bel-prazer de ideologias (religiosas, políticas...) que têm respostas à partida que se hão-de ter por verdadeiras haja ou não haja razão para isso. Ora, não é por muito pensarmos que a terra foi criada em seis dias poucos milhares de anos antes de Cristo que ela deixa de ter quatro mil e quinhentos milhões de anos de idade. E se hoje achamos ridículo que tenha havido que pensasse que os fósseis são armadilhas (de Deus ou do diabo, pouco importa) para perder almas, faz pena ver que ainda hoje há quem se esforce por cegar os olhos e a inteligência para provar a si mesmo e aos outros, com tortuosíssimos raciocínios, ideias pré-concebidas que resultam de uma leitura infantil de um poema bíblico milenar assim tristemente descarnado de contexto, género literário, enquadramento histórico ou social ou sentido teológico.

É que para certas pessoas, o que conta é a conclusão que se chega. Essa, está estabelecida à partida. Depois, os argumentos que a apoiam, retêm-se; os que a infirmam, rejeitam-se. É tão simples como isto.

Já aqui referi outros perigos que pode haver de uma concepção tão virada do avesso do mundo. E perigos em ambos os sentidos. É que tanto há quem tente usar pseudo-religião para

defender pseudo-ciência, como há quem tente usar pseudo-ciência para defender pseudo-religião. Um caso destes é o de uma seita, que já aqui referi, que nem tem nada de religioso embora se auto-intitule de igreja, e que se serve de artifícios pseudo-científicos como um reles galvanómetro durante sessões de pseudo-terapia psicológica (aliás, sessões de lavagem e embrutecimento cerebral) — aparelho esse que, o ano passado, essa tal seita até conseguiu levar à televisão num debate (de fraca qualidade, como era de esperar, e que versava sobre os poderes da mente), ou expor na Feira do Livro de Lisboa junto à banca onde se vendiam os seus livros.

Outro caso é o de um livreco sobre religião, que já conheceu imensas edições no mundo todo, onde podemos encontrar deliciosas afirmações como as seguintes (itálicos meus):

«A emoção é energia em movimento.»

«O pensamento é energia pura.»

«A energia do teu próprio pensamento nunca morre.»

«Todos os pensamentos se agregam; todos os pensamentos encontram outros pensamentos, entrecruzando-se num espantoso labirinto de energia (...).»

«Que fique bem claro o seguinte: até mesmo individualmente uma pessoa pode (...) manipular a energia e a matéria, como *redispô-las*, como redistribuí-las, como *dominá-las por completo*. Muitos Mestres souberam. Muitos sabem-no *agora*. Tu podes sabê-lo. Já.»

Mais palavras para quê? 

## Grupo de Imagem e Fotografia

por João Alves

Um Leitor da CJ colocou uma questão relacionada com o último artigo. Por este ter sido pouco explícito e por ser uma questão recorrente, aqui vai uma linha de esclarecimento.

*Li um artigo vosso no último número da CiênciaJ e gostava, se mo permitisse, de lhe colocar a seguinte questão: as máquinas digitais podem ser reflex?*

*Eu penso que sim, pois o sistema reflex SLR é um sistema óptico (o tal pentaprisma) que permite ver a imagem que queremos fotografar «através» da lente, isto segundo o livro do John Hedgecoe. A ser assim, as máquinas digitais que não apresentam o chamado visor directo seriam também reflex. (...)*

António Almeida

Como disse e com razão, o sistema SLR (*Single Lens Reflex*) não tem nada a ver com o método de suporte da imagem: película ou digital!

Não sei de qual dos livros do John Hedgecoe está a falar (provavelmente do «O manual do fotógrafo»), mas no livro do Michael Langford «Fotografia Básica» (na 5ª edição portuguesa — 6ª inglesa — que já aborda a fotografia digital) esses assuntos também vêm explicados.

Uma SLR digital é em tudo semelhante a uma de película! Difere de uma digital compacta na medida em que, como o sensor está por detrás do obturador e do espelho, o ecrã LCD da máquina não está a mostrar a imagem em tempo real (como acontece com a Nikon D1), apenas mostra as fotografias tiradas. Eventualmente pode existir uma funcionalidade adicional que permita ver a imagem em tempo real no ecrã LCD da máquina com o espelho trancado (posição *mirror lock-up*). Mas isto seria uma *feature* da máquina e não o modo normal de funcionamento.

Tanto as SLR podem ser digitais que existem máquinas de película que permitem adaptar um *back* digital, isto é, um

acessório que se encaixa no local da tampa traseira da máquina com um sensor e respectivo circuito que adaptam o modelo para digital. Esta funcionalidade é mais corrente em sistemas de médio e grande formato (onde os sensores chegam a ultrapassar a centena de Megapixel; não é gralha, é mesmo centena!), mas também existe para 35 mm! Eram acessórios mais correntes antes de aparecerem as totalmente digitais (A Kodak tinha um acessório destes que se adaptava à Nikon F5, mas era mais caro que uma D1X agora...).

\*

Existe por vezes a confusão de que as máquinas SLR digitais apenas simulam o sistema *reflex*. Assim como naquelas câmaras de vídeo em que podemos ver a imagem num ecrã exterior LCD ou espreitar por uma ocular para um ecrã pequeno. Nesse caso seria um *reflex* apenas aparente, mas que na verdade de SLR não tem nada! No caso das máquinas fotográficas não é isso que acontece! A imagem que vemos é mesmo a reflectida no espelho da máquina. E chega à nossa ocular através da mesma lente por onde a fotografia é tirada.

Na Internet existe informação detalhada sobre o funcionamento das máquinas fotográficas (digitais ou não) e o lado mais técnico de fotografia, mas é preciso encontrá-las no meio das páginas que versam o lado mais artístico. Por vezes quando procuramos páginas de um encontramos boas páginas de outro. ;)

Para referência existem também os livros acima referidos que são bastante completos em ambas as facetas da fotografia. Nada como ir a uma livraria e procurar o conteúdo de acordo com o nosso interesse.

Entretanto... boas fotos! 

**As marcas e modelos referidos são-no unicamente a título de ilustração. Nem a CiênciaJ, nem a Associação Juvenil de Ciência, nem o Grupo de Imagem e Fotografia as recomendam, nem lhe fazem publicidade.**



# Escrita escondida

por Glória Almeida & Rudolf Appelt

## Criptografia 2

Durante séculos, a cifra simples de substituição monoalfabética — apresentada no número anterior — foi suficiente para garantir o sigilo. Porém, o desenvolvimento continuado da análise de frequências destruiu a sua segurança. Era necessário, então, desenvolver uma nova cifra e mais forte.

### Quadrado de Vigenère

Blaise de Vigenère (1523—1596), um diplomata francês, interessou-se pela Criptografia durante uma missão a Roma, onde encontrara trabalhos de criptólogos. Em 1570 dedica-se a tempo inteiro a este seu novo passatempo, publicando, dez anos mais tarde, o livro intitulado *Traicté de Chiffres*



Blaise de Vigenère

(Tratado de Cifras). Neste, Vigenère apresenta vários temas; em especial, a encriptação através do seu Quadrado de Vigenère (quadro 1) — a nova geração de cifras por substituição polialfabética. Este método utiliza 26 alfabetos de cifra para codificar uma mensagem: o emissor encripta a primeira letra de acordo com um alfabeto, a segunda letra por outro alfabeto, e assim em diante. Para descodificar a mensagem é necessária a mesma palavra-chave de encriptação.

Eis um exemplo, para melhor percepção:

Mensagem a encriptar: A sua bela espada é ferrugem.

Palavra-chave: cavaleiro

Palavra-chave:	C A V A L E I R O C A V A L E I R O C A V A L
Texto simples:	a s u a b e l a e s p a d a e f e r r u g e m
Texto cifra:	C S P A M I T R S U P V D L I N V F T U B E X

Para encriptares a primeira letra **a**, começa por identificar a letra-chave (da palavra-chave) correspondente: **C**. Esta letra define o alfabeto cifra a ser utilizado — este encontra-se na linha 2 do Quadrado de Vigenère. Assim, seguindo a coluna **a**, encontras a letra cifrada **C**. A letra-chave de **s** é **A**, definindo a linha 26. Na coluna **s** encontras **S**. Se continuares, obténs a

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A
2	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B
3	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C
4	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D
5	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
6	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
7	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G
8	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H
9	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I
10	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
11	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
12	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
13	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
14	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
15	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
16	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
17	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
18	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
19	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
20	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
21	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
22	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
23	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
24	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	V
25	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	V	Y
26	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	V	Y	Z

Quadro 1 — Quadrado de Vigenère

mensagem cifrada.

Como a palavra-chave do exemplo é composta por nove letras, sendo oito diferentes, durante a encriptação saltas por entre oito linhas diferentes. A vantagem desta cifra é ser impenetrável pela análise de frequências (descrita no artigo anterior). Mas também é bastante mais complicada de utilizar, o que a levou a ser ignorada durante mais de dois séculos.

### Homem da Máscara de Ferro

Durante este período eram utilizadas cifras monoalfabéticas melhoradas, nas quais as letras eram substituídas por números, por exemplo, de 1 a 100. Dependendo da frequência da letra (em percentagem), esta poderia ter mais do que um número a codificá-la; tratava-se das cifras homófonas. Um exemplo fantástico é a Grande Cifra de Luís XIV; ele utilizou-a para transmitir mensagens sobre uma das mais intrigantes figuras da época — o Homem da Máscara de Ferro. A cifra fora inventada no séc. XVII por Antoine e Bonaventura Rossignol, pai e filho. Após as suas mortes, perderam-se os pormenores da cifra, impossibilitando o seu estudo.



Em 1890, foram encontradas, durante umas escavações, cartas cifradas baseadas nesse método e entregues ao criptoanalista Étienne Bazeries (1846—1931). Após 3 anos de insucessos e frustrações, concluiu que os números da cifra representavam sílabas. Mas não era tão simples assim, pois a cifra continha rasteiras; por exemplo, havia números que eliminavam a última sílaba. Algumas dessas cartas continham informações



Étienne Bazeries

sobre o Homem da Máscara de Ferro... Aparentemente tratou-se de um desertor que comprometera toda uma campanha militar, obrigado a ocultar a sua face fora da sua cela com uma máscara de ferro. (Porém, outras teorias persistem sobre ser um irmão bastardo de Luís XIV...)

### Câmaras Negras

No século XVIII, as cifras monoalfabéticas melhoradas deixaram de ser seguras, pois cada governo tinha uma equipa que se dedicava a decifrar mensagens nas câmaras negras. A mais famosa era a de Viena, Áustria, onde todas as cartas suspeitas enviadas para ou a partir de uma embaixada em Viena eram copiadas, sem ser necessário interromper o seu percurso normal. As cartas forneciam informações importantes aos imperadores da Áustria, e estas eram vendidas a outros países. Só então os criptógrafos adoptaram a cifra de Vigenère.

### Telégrafo

A propagação pela Europa em 1851 do telégrafo e o seu código Morse veio revolucionar a Criptografia. Mas os operadores de telégrafo liam sempre a mensagem original, o que significava muitos problemas de sigilo. A cifra de Vigenère enquadrava-se na perfeição nesta questão, já que a mensagem encriptada não era compreendida pelo operador. Nesta época, esta cifra era considerada inquebrável.

### Decifração do Quadrado de Vigenère

O sistema polialfabético de Vigenère resistiu durante 3 séculos, até ao momento em que o matemático britânico Charles Babbage — notavelmente conhecido pelas suas máquinas de diferenças (primitivas máquinas de calcular) — elaborou a teoria de descodificação, em 1854. Mas, dado nunca ter publicado a sua descoberta, esta caiu no esquecimento. Esta descoberta de Babbage foi reconhecida apenas no século XX, quando os seus escritos foram analisados. Mais tarde, Friedrich Kasiski, um oficial reformado do exército prussiano, dedica-se igualmente ao tema, publicando em 1863 no seu livro *Die Geheimschriften und die Dechiffrierkunst* (As escritas secretas e a arte de decifração) o Teste Kasiski de descodificação das respectivas cifras.

Mas como foi que eles decifraram a técnica de Vigenère?

Tomemos, como exemplo, um texto encriptado com aquela cifra, do qual apenas se conhece o método:

OUPCM EGOEV EYROE OUPCM EGAEX OZVAP GSYWD MUEAU  
EDOUP CSQCC APFUC NOCTA FOAOU ZFOQE OYROE VOPGM  
GFAZE AFQMM PDAUE YRRQP OHCS WAXKD MFEE E OZVIZ  
WAYGN FGVQO OEPOH KDMFE EFIRG RQPTQ UEYVU PQDMG  
SBGRM PCMFO YCLRK CMOAE OASQA EPAXG MNTAZ EAQFO  
NGMEG AXIUY JOGXE MUSMW DMFEE QTQOP AEONT EAEHM  
QDQXE DFEYC NFQGG GJMEO NGRFQ FAKDQ PEHGF DKAQG  
MYKMO QNHGR FGEYE HATOA FOGC MPTAG ARQRM GSFQM  
GFADU EOCDM FIMQY FTAYW DMPCM HALFE YQRQU PMPTA  
SUQPA AUEYW DMLAO QMAUO UC

**Primeiro passo — Descobrir o tamanho da palavra-chave.** Para tal, é necessário procurar sequências de letras que apareçam mais do que uma vez no texto em cifra, e a distância entre elas.

Existem duas formas de aparecerem estas sequências: a mesma palavra cifrada várias vezes pela mesma parte da palavra-chave; e duas palavras distintas cifradas utilizando duas partes diferentes da palavra-chave e as quais, por coincidência, têm a mesma sequência de letras no texto em cifra. Se forem procuradas sequências longas, ou seja, com quatro ou mais letras, é aumentada a probabilidade de serem da primeira forma.

**Os operadores de telégrafo liam sempre a mensagem original, o que significava muitos problemas de sigilo. A cifra de Vigenère enquadrava-se na perfeição nesta questão, já que a mensagem encriptada não era compreendida pelo operador.**

O quadro 2 apresenta grupos de 4 a 6 letras repetidos no texto. Para cada grupo é indicada a sua frequência no texto, assim como a distância entre duas presenças do mesmo grupo. Os restantes valores identificam os factores de espaçamento — os factores multiplicativos dessas distâncias. Por exemplo, a sequência UPCM aparece 2 vezes, separada por 15 letras (contar desde a primeira letra à primeira letra seguinte). Os valores de 3, 5 e 15 são os divisores dessa distância: (3 x 5) ou (1 x 15).

Como facilmente se observa no quadro, o factor multiplicativo mais repetitivo é 3. Logo, assume-se que a palavra-chave é composta por 3 letras.

**Segundo passo — Descobrir quais são as letras da palavra-chave.** As letras são dadas por L1-L2-L3. Lembra-te que a encriptação começa com a cifra da primeira letra do texto simples, de acordo com a primeira letra da palavra-chave (L1). Para a segunda letra do texto simples foi utilizada L2; para a terceira letra L3. L1, L2 e L3 definem igualmente a linha do Quadrado de Vigenère. Mas atenção: a quarta letra do texto simples é codificada por L1 novamente! Seguindo esta sequência, pode-se considerar que esta cifra polialfabética é constituída por três cifras monoalfabéticas, em que cada uma destas cifras cripta apenas 1/3 da mensagem total. Assim, L1 indica o alfabeto a usar para cifrar as 1ª, 4ª, 7ª, 10ª... letras da mensagem. Com esta decomposição, é possível aplicar a análise de frequências ao sistema, mas letra a letra (da

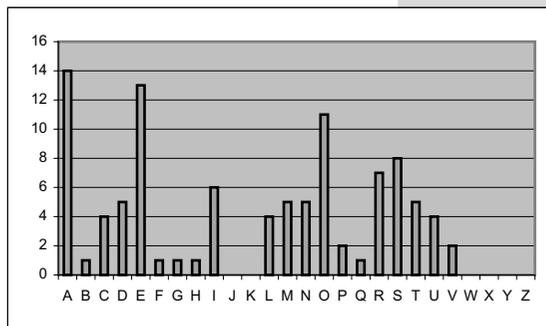


Gráfico LP - Frequências-padrão no Português

palavra-chave), e comparando-as com a frequência do alfabeto português.

O gráfico LP apresenta a distribuição de frequências-padrão das várias letras na Língua Portuguesa.

Comparando este gráfico com o gráfico L1, este de distribuição de frequências referente a L1, isto é, a frequência de cada letra relativamente às posições 1, 4, 7, etc., é possível prever uma deslocação.

Assim, as letras R-S-T-U-V no gráfico L1 parecem ter o mesmo comportamento que o P-Q-R-S-T da frequência-padrão (gráfico LP). Também as letras E e K têm aspecto semelhante às C e I da frequência-padrão. Nem todas as letras apresentam um comportamento igual à frequência-padrão: além do texto ser algo curto, não te esqueças que se trata de uma análise estatística.

A análise sugere que todas as letras encriptadas de acordo com L1 foram deslocadas dois lugares. Assim L1 define um alfabeto que começa por C, D, E, F, G... ou seja, L1 será provavelmente C.

A mesma análise aplica-se a L2 e L3 (vide gráficos L2 e L3).



Para L2 não se obtém qualquer deslocação; logo L2 será A. Em L3, o comportamento de M a R é muito semelhante ao de A a F da frequência-padrão. Assim, L3 corresponderá a M.

A potencial palavra-chave está completa: CAM. O terceiro passo é agora possível: uma cripto-análise do texto-cifra com esta chave, utilizando o Quadrado de Vigenère. Será que a chave está correcta? Ora vamos ver:

Mudam-se os tempos, mudam-se as vontades,  
 Muda-se o ser, muda-se a confiança;  
 Todo o mundo é composto de mudança,  
 Tomando sempre novas qualidades,  
  
 Continuamente vemos novidades,  
 Diferentes em tudo da esperança;  
 Do mal ficam as mágoas na lembrança  
 E do bem (se algum houve) as saudades.  
  
 O tempo cobre o chão de verde manto,  
 Que já coberto foi de neve fria,  
 E em mim converte em choro o doce canto,  
  
 E, afora este mudar-se cada dia,  
 Outra mudança faz de mor espanto,  
 Que não se muda já como soía.

Luís de Camões

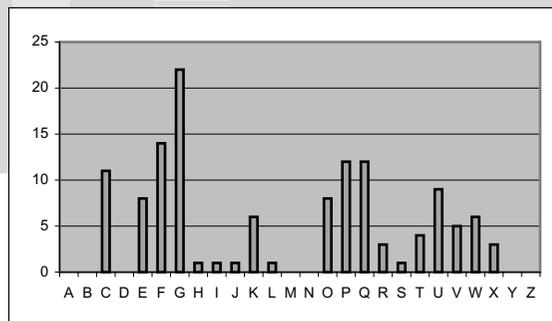


Gráfico L1 - Distribuição de frequências para L1

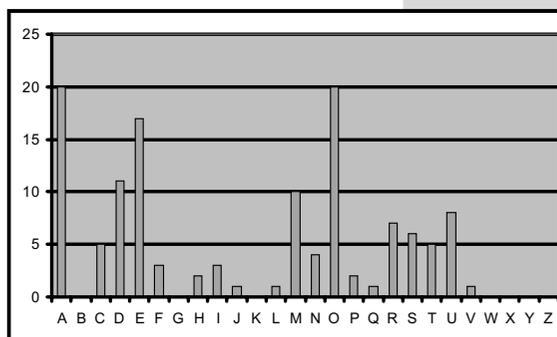


Gráfico L2 - Distribuição de frequências para L2

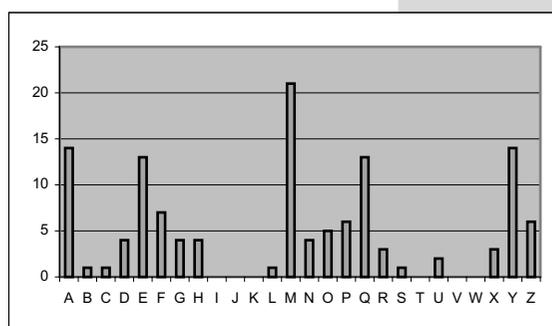


Gráfico L3 - Distribuição de frequências para L3

**Queres aprofundar?**

Livro: Simon Singh — O livro dos códigos. Lisboa: Temas e Debates, 1999.

Internet: <http://www.numaboa.com.br>



Grupos	freq	dist	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
OUPC	3	42	*	*			*	*							*						
UPCM	2	15		*		*										*					
PCME	2	15		*		*										*					
CMEG	2	15		*		*										*					
YROE	2	60	*	*	*	*	*				*		*			*					*
MEGA	2	183		*																	
YWDM	3	336	*	*	*		*	*	*				*		*		*				
GMGF	2	240	*	*	*	*	*		*		*		*			*	*				*
MGFA	2	240	*	*	*	*	*		*		*		*			*	*				*
AZEA	2	111		*																	
AUEY	2	273		*				*						*							
KDMF	2	27		*						*											
DMFE	3	111		*																	
MFEE	3	111		*																	
MPCM	2	177		*																	
MPTA	2	51		*														*			
OUPCM	2	15		*		*										*					
UPCME	2	15		*		*										*					
PCMEG	2	15		*		*										*					
GMGFA	2	240	*	*	*	*	*		*		*		*		*	*					*
KDMFE	2	27		*						*											
DMFEE	3	111		*																	
OUPCME	2	15		*		*										*					
UPCMEG	2	15		*		*										*					
KDMFEE	2	27		*						*											
<b>Total</b>			<b>6</b>	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>

Quadro 2

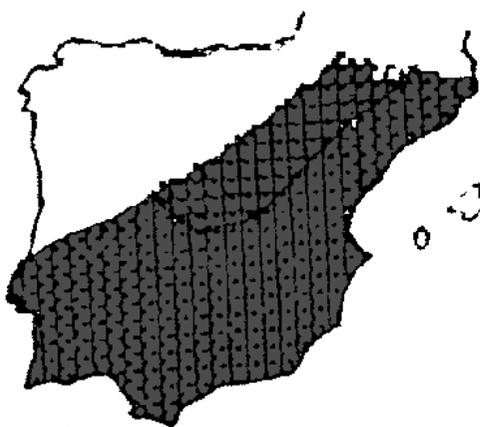


# Encontro Juvenil de Ciência

por João Cortes, José Fernandes, Catarina S., Rita Domingos, João Afonso, Rita Brito & Cláudia Matos Silva

Este artigo é um extracto do trabalho «*Microtus cabreræ* em Odemira», apresentado ao 20º Encontro Juvenil de Ciência.

## *Microtus cabreræ* em Odemira



Mapa da distribuição na Península Ibérica

### O rato

- Nome comum: Rato de Cabrera
- Nome científico: *Microtus cabreræ*
- Único roedor endémico da Península

### Ibérica

- Pertence ao Anexo III da convenção de Berna
- Estatuto «rara» (UICN)
- Corpo: até 13 cm
- Peso: 43 a 96 g
- Período de gestação: 21 dias
- Número de crias por parto: 3 a 11
- Alimentação: ervas e raízes de juncos
- Esperança média de vida: 3 anos
- Biologia e ecologia pouco conhecidas, bibliografia escassa, devido à distribuição restrita e difícil captura

### Um resultado surpreendente...

Fizemos um estudo comparativo de regurgitações de coruja das torres<sup>1</sup>, e deparámo-nos com um resultado inesperado: num local de amostragem a coruja alimentava-se mais de *Microtus cabreræ* do que de



Duas das 28 estações



qualquer outro rato!!!

### Método de detecção das colónias

Numa área de 2 km à volta do poiso da coruja localizámos os requisitos de habitat para esta espécie (locais húmidos e com erva verde e alta). Procurámos os seus sinais de presença: tocas, dejectos característicos, galerias. Criámos um mapa das colónias e caracterizámo-las.

### Campanhas de armadilhagem

Iniciámos ciclos regulares de armadilhagem (4 dias e noites consecutivos, de 2 em 2 meses). Ao longo dos dias e noites fazíamos turnos para verificar as armadilhas. Após a captura do rato, este era levado para o acampamento, onde era:

- anestesiado com éter;
- medido (corpo, pata posterior e cauda);
- pesado;
- e foram ainda registadas as características relativas ao sexo e estado de actividade sexual.

Depois deste procedimento, os ratos eram libertados no mesmo local.

### E falando agora em números...

- 330 armadilhas (300 Sherman, 30 de arame)
- 61 capturas
- 153 recapturas
- 24 dias no total, bem passados... e de muito trabalho, claro!



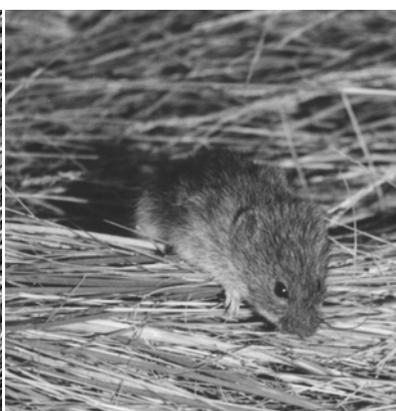
Toca



Dejectos característicos



Galerias





Montagem das armadilhas: à direita — armadilha Sherman; à esquerda — armadilha de arame



Anestesia do rato com éter



Pesagem do rato num dinamómetro



Medição do rato

- 18 meses de investigação pura e dura!

#### Descobertas

- Migração: a falta de locais com erva verde todo o ano é compensada por migrações de umas colónias para as outras.
- Actividade ao longo do dia: apresenta hábitos diurnos, com predominância ao amanhecer.
- Método de captura: definimos um método de captura mais eficiente que permitiu um número de capturas invulgar.
- Adaptações: devido às diferenças entre as condições descritas e as encontradas no local, os ratos encontraram soluções alternativas.
- Reprodução: é sexualmente activo desde Outubro até Junho. No verão

**Iniciámos ciclos regulares de armadilhagem (4 dias e noites consecutivos, de 2 em 2 meses). Ao longo dos dias e noites fazíamos turnos para verificar as armadilhas.**



não há sinais de actividade sexual.

- Conservação: o montado de sobro com criação extensiva de gado e cultivo em regime de pousio contribuem para a preservação do habitat desta espécie.

**Ao centro: rato na armadilha, aguardando a libertação; ao lado: libertação de um rato**



# Encontro Juvenil de Ciência

por Carina Gonçalves, Igor Espírito Santo, Telmo Reinas, Luís Solano, Miriam Pinto & Kátia Almeida

Este artigo é um extracto do trabalho intitulado «Guarda — região mineira», que foi apresentado no 20º Encontro Juvenil de Ciência.

## Radioactividade — componente histórica

### Da descoberta da radioactividade às primeiras pesquisas na Guarda

Quando em 1895 Becquerel descobriu a radioactividade dos elementos químicos e associou o fenómeno à presença do urânio (sais de urânio, sulfato duplo de urânio e potássio), é natural que a procura deste elemento químico se tenha intensificado um pouco por todo o lado, até porque o acontecimento foi muito divulgado pela comunidade científica da época.

No entanto, quando em 1898 o casal Curie trouxe aos olhos do mundo a existência de dois «novos corpos radioactivos» além do urânio, o rádio e o polónio, a procura dos corpos radioactivos tornou-se objectivo de grande parte dos físicos. Como Portugal era um dos poucos países da Europa onde se podiam encontrar grandes quantidades de material radioactivo, é possível que o nosso país se tenha tornado alvo de muitas pesquisas e interesse por parte dos cientistas.

A própria Madame Curie salientou, no Museu de História Natural em Paris, no dia 24 de Novembro de 1905, numa conferência acerca das propriedades do rádio: «le radium se trouve dans divers minéraux: dans la pechblende, dans la carnotite, dans l'autunite, dont voici deux échantillons provenant du Portugal...<sup>1</sup>». É possível que tal cientista tenha desenvolvido estudos tendo como base os minerais provenientes de Portugal, uma vez que ela própria os refere.

Sabe-se inclusive que Madame Curie possuía contactos directos com Portugal ao ser eleita membro correspondente estrangeira da Academia de Ciências de Portugal, em 1911, um ano após o isolamento do rádio no estado puro e três anos após o início da exploração de material radioactivo na região da Guarda.

Contudo, não se pode afirmar que tivesse sido a curiosidade de cientistas, como Pierre e Marie Curie, que tenha movido a exploração de materiais radioactivos no nosso país. Possivelmente a sua exploração iniciou-se a partir de contactos directos existentes entre entidades e os proprietários dos próprios locais de exploração, uma vez que foram encontrados numerosos registos notariais em nome de pessoas singulares.

Não se sabe se foi com o minério proveniente da Quarta-feira que Madame Curie descobriu os dois elementos radioactivos até então desconhecidos. Existem, até, sérias evidências para acreditar que o minério que serviu de base à descoberta dos dois elementos tenha sido proveniente de minas austríacas.

### A Exploração de material radioactivo na Região da Guarda

Foram explorados materiais radioactivos em várias localidades do distrito da Guarda, incluindo na própria cidade.

No Arquivo distrital da cidade da Guarda, existem várias actas

<sup>1</sup> O rádio acha-se em diversos minerais: na pecheblenda, na carnotite, na autonite, de que eis aqui duas amostras provenientes de Portugal... (Nota da redacção)

de escrituras notariais relacionadas com a exploração de material radioactivo em locais muito próximos da cidade, nos seus limites, e em algumas freguesias pertencentes ao distrito. Assim, do conhecido Tintinho (terrenos por detrás do actual Instituto Politécnico) até à chamada Cruz da Faia era explorado urânio, sendo ainda possível observar os locais das minas hoje seladas pelo betão ou pelo lixo acumulado.

Também para os lados do actual estabelecimento prisional da cidade, numa mina designada por Forte Velho, houve exploração de minério que continha na sua constituição urânio — eram minas de urânio. O mesmo se passa com a freguesia de S. Vicente, na cidade da Guarda, onde chegou a haver, segundo registos notariais, exploração desse elemento radioactivo.

Se hoje der um passeio pelos lados da prisão e se se fizer acompanhar de um contador de Geiger, pode ouvir uma apreciável quantidade de estalidos — resultado da existência de uma certa radioactividade natural.

Já mais afastadas da cidade, existem algumas freguesias especialmente ligadas à exploração de material radioactivo e onde franceses, ingleses, alemães e até italianos davam a ganhar, e ganhavam, uns tostões às populações que ali moravam. São exemplos dessas freguesias Pouzafoles, Sobral da Serra, Gonçalo e Casal de Cinza.

No entanto, a exploração de material radioactivo foi mais intensa no concelho do Sabugal, onde se destaca com grandiosidade a aldeia de Quarta-feira, que segundo os que ainda ali moram esteve no mapa do mundo bem antes da Urgeirica ou qualquer outra localidade.

Na Quarta-feira foi inicialmente explorado rádio, cujos efeitos eram tidos como benéficos, e posteriormente concentrados de urânio (normalmente sob a forma de óxidos de urânio). Chegaram a existir em funcionamento três minas: Bica, Vale d'Arca e Carrasca, tal era a riqueza das jazigas de minério existentes no subsolo.

Só em 1908 se iniciou a exploração de material radioactivo propriamente dito. Na Quarta-feira explorava-se apenas rádio por se considerar o urânio um subproduto bruto sem grande interesse. Inicialmente o minério, mesmo o que possuía menor teor de rádio, era todo exportado, por via ferroviária, para França, onde se realizaram importantes estudos no campo da radioactividade e terapia médica.

Em 1910 (curiosamente o ano em que o rádio é isolado no estado puro), uma companhia francesa, a Societé d'Uraïne et Radium, sediou-se no Barracão e dali controlava uma vasta área de exploração mineira. 1912 é a data da concessão da mina da Bica, no coração da aldeia de Quarta-feira, de todas as minas a de maior longevidade. Entre 1913 e 1915 foram descobertos importantes e riquíssimos jazigos radíferos na Bélgica e, quando em 1922 se iniciou a sua exploração, o minério português começou a ser menos procurado. A França deixou de negociar com o governo português e a exploração de material radioactivo sofre um declínio em todo o país. Os detritos do urânio, dissolvidos nos líquidos residuais para aproveitamento do rádio, foram carregados pelos rios e pelos oceanos, sendo esta situação comum a vários países.

Em 1920, a Societé d'Uraïne et Radium transformou-se em Societé des Applications Scientifiques du Radium, A.S.R., e fez-se exportação de minério, para França, até 1926, apesar de em



Exploração mineira na Guarda (1940)

pequena escala.

Entre 1929 e 1940, foram exportados concentrados de bário e rádio já para Inglaterra e em 1941 este país começa a interessar-se pelos concentrados de óxido de urânio. Nos anos de 1940 e 1941, estiveram em Portugal, particularmente na região da Guarda, em busca do urânio, engenheiros e geólogos alemães, mas em vão, pois tudo era explorado pelo povo britânico.

Em 1941 a Companhia Portuguesa de Radium Lda, CPR, passou a interessar-se pelos concentrados de óxido de urânio, abandonando-se o aproveitamento de rádio. Apesar da maior actividade mineira do país se encontrar já concentrada na Urgeiriça, o distrito da Guarda continuava ligado à exploração de material radioactivo e de outros metais que na época eram muito procurados. Na aldeia de Quarta-feira, a mina da Carrasca era das mais exploradas; nela os ingleses aproveitaram e exploravam minérios de urânio natural.

No início da era atómica, em 1945, começou a segunda fase da exploração dos jazigos radioactivos, na região da Guarda, agora unicamente virada para a produção de urânio. O minério explorado, com elevado teor de material radioactivo, era mandado para a Oficina de tratamento químico da Urgeiriça que tinha na época uma produção anual de 125 toneladas de óxido de urânio (talvez acabasse por originar o material radioactivo que punha centrais nucleares a funcionar). Para o tratamento do «minério mais pobre» criou-se um novo método designado por «lixiviação natural» que foi especialmente adaptado às minas de Quarta-feira, essencialmente à mina da Bica onde existia uma exploração subterrânea de 5 pisos em cortes ascendentes em profundidades que chegaram a atingir os 150 m.

Em 1954, foi criada a Junta de Energia Nuclear (JEN) tendo como principal objectivo organizar e controlar a prospecção e exploração mineira no domínio da energia nuclear em todo o território nacional.

Em 1955, iniciou-se a terceira fase da história do urânio em Portugal com meios técnicos e científicos fornecidos pelo estado, o que veio a permitir a pesquisa e o posterior aumento das reservas uraníferas portuguesas. Vários são os habitantes do distrito da Guarda que ainda recordam a passagem dos aviões, que sobrevoavam as zonas de exploração, transportando cintilómetros para reconhecimento radiométrico das áreas favoráveis.

Até Abril de 1962 a CPR manteve a exploração de muitas das minas do distrito da Guarda, mas em Maio desse mesmo ano interrompeu todas as suas actividades e toda a exploração mineira de urânio, à escala nacional, passou a ser exercida pela conhecida Junta de Energia Nuclear, JEN.

Quando em Maio de 1962 a mina da Bica, no coração da Quarta-feira, deixa de ser explorada pela indústria mineira privada, Companhia Portuguesa de Radium (CPR), e passou a ser explorada pela Junta de Energia Nuclear, a exploração quase cessa. A mina da Bica, em particular, esteve fechada, inundada de betão e selada até 1974. Nesse ano a JEN iniciou, em vão, a preparação para retoma dos trabalhos e em 1977 acaba por dar origem à Empresa Nacional de Urânio S.A (com actual sede na Urgeiriça).

Actualmente, a mina da Bica, com as reservas esgotadas, após uma década de processos de lixiviação (entre 1988 e 1998), atravessa uma fase de recuperação ambiental sofrendo processos de neutralização e descontaminação. Os dois funcionários que ainda hoje ali trabalham, e há 26 anos, explicam, com preocupação, que «as águas com ácido sulfúrico usadas na lavagem do minério infiltraram-se nas nascentes e quando vêm à superfície, naturalmente, são tratadas para não contaminarem os campos vizinhos». São eles quem realizam os

testes de pH e fazem o tratamento à base de cal. Acrescentam, também, que desde 1994 ninguém desce à galeria da mina sob o perigo de derrocada de pedras e terra.

### **Material radioactivo explorado na Região da Guarda — destinos e aplicações**

A exploração de materiais radioactivos na região da Guarda veio contribuir para o desenvolvimento económico da região numa época de pobreza. Quando a agricultura falhava e o ano era «menos bom», o dinheiro obtido com a venda do minério era a única forma de sobrevivência das populações. Nem as mulheres escapavam ao levantar cedo e ao carregar dos caldeiros com minério. O transporte do material radioactivo da estação ferroviária de Belmonte (para onde era levado o material radioactivo explorado na Quarta-feira, por exemplo) para o Barracão passou a justificar a existência de mais comboios e trabalhadores na linha da Beira Baixa.

O aumento de habitantes em localidades como a Quarta-feira contribuiu para o aumento dos pequenos comércios (as chamadas vendas), locais de diversão e até romarias. A padroeira dos mineiros da mina da Bica ainda hoje chama ao local alguns devotos e curiosos que anualmente vêm o local encher-se de cor e alegria.

Aquando da descoberta do rádio e polónio, o desenvolvimento da Física levou a grandes progressos no campo da medicina. Quando a comunidade científica se apercebeu das propriedades do rádio e da sua aplicação à medicina, no que respeita ao tratamento do cancro, este elemento radioactivo veio a revelar-se de grande importância no campo médico passando a ser procurado um pouco por todo o lado.

O rádio explorado na região da Guarda foi, pelo menos grande parte, exportado para França quando este país era o principal foco das investigações desenvolvidas na área da radioactividade. Em vários hospitais europeus o rádio era aplicado no tratamento de doenças cancerosas e Portugal não constituiu neste campo uma excepção. Em 1917 anúncios publicitários ao consultório do Dr. Décio Ferreira, em Lisboa, chamam já doentes cancerosos para o tratamento com rádio. Em Janeiro de 1923, pelos esforços e entusiasmo do Prof. Álvaro de Mattos (Director do Serviço de Ginecologia), conseguiram fazer-se aplicações de rádio a duas doentes do foro ginecológico nos hospitais de Coimbra. No mesmo ano, Domingues d'Oliveira profere uma comunicação, num Congresso Luso-Espanhol que decorreu na cidade do Porto, subordinada ao tema «Os cancros e o rádio».

A aplicação de rádio na terapia de doenças, particularmente do cancro, tornou-se tema de importantes investigações realizadas no nosso país. Em 1924, o Dr. António B. Sarmiento apresenta a sua tese de doutoramento na Faculdade de Medicina de Coimbra intitulada «Nota sobre a Curieterapia uterina — combate ao cancro com rádio».

Em Dezembro de 1933, ficou concluído o pavilhão de rádio no Instituto Português para o Estudo do cancro (criado em 1923), onde havia já uma preocupação com a protecção contra as radiações.

Quando em 1938 se realizou a Semana Internacional contra o cancro, os Curie, particularmente Marie Curie, eram vistos como os grandes beneficiadores da humanidade, apesar de eles próprios terem chegado a referir publicamente os possíveis danos causados na pele, particularmente nas mãos, de quem trabalhasse com rádio.

Após a 2ª Guerra Mundial, Portugal iniciou a exportação de urânio para Inglaterra, mais precisamente de concentrados de óxidos de urânio, que, depois de sofrerem transformações em estações fabris especializadas, poderão ter originado o material

## **Em Portugal passou a haver uma preocupação por parte das empresas de águas em querer a todo o custo que as suas águas fossem radioactivas. A região da Guarda não escapou à «febre da radioactividade»!**



**Recipiente contendo material radioactivo à base de óxidos de urânio (imagem cedida pela Junta de Energia Nuclear)**





radioactivo necessário à construção de armas nucleares.

A primeira central nuclear foi construída na antiga URSS, em Obninsk, em 1954. A vantagem da energia nuclear ao se produzirem grandes quantidades de energia a partir de uma pequena quantidade de combustível nuclear, utilizando um recurso natural — o urânio —, depressa leva à construção de outras centrais nucleares.

### Águas na região da Guarda

A radioactividade das águas portuguesas foi, desde início, atribuída, quase exclusivamente, à presença de rádio e tório; não que as águas contivessem na sua constituição sais desses elementos, mas manifestavam a presença de uma *emanação* desses elementos.

As primeiras pesquisas sobre a radioactividade das águas portuguesas datam de Maio de 1910 (apesar de na Inglaterra, Alemanha, Itália e França estes estudos se terem iniciado mais cedo), e decorreram pelas mãos do professor Oliveira Pinto, tendo sido usado um aparelho construído segundo modelo de um outro existente no laboratório de Madame Curie — aparelho de Danne.

Segundo o Professor Oliveira Pinto, em Portugal passou a haver uma preocupação por parte das empresas de águas em querer a todo o custo que as suas águas fossem radioactivas. Em 1913, no Congresso Internacional de Hidrologia de Madrid, Ch. Moureu designou este fenómeno por «febre da radioactividade».

Como na época o rádio era considerado benéfico para a saúde, a presença de uma *emanação* desse elemento na água passou a ser considerada como um factor importante na sua acção terapêutica. Aliás, a presença da emanação de elementos radioactivos era por si só considerada um factor essencial de valorização da própria água.

A região da Guarda não escapou à «febre da radioactividade»! Quem não conhece o imponente hotel das «águas rádio» à entrada da aldeia de Quarta-feira, perto de Sortelha, no concelho do Sabugal?

O conhecido edifício foi construído na época em que o rádio era encarado como um mineral benéfico e as águas radioactivas (contendo rádio), na encosta da Serra da Pena, eram muito procuradas por portugueses e estrangeiros.

Segundo os habitantes da aldeia de Quarta-feira, o hotel termal foi mandado construir por um Conde espanhol que, ouvindo falar das miraculosas águas com rádio da Quarta-feira, ali se deslocou afim de curar uma doença de pele de que sofria a sua filha. Diz-se, também, que as referidas águas curavam essencialmente doenças de pele, doenças do fígado, doenças dos coração e arterosclerose, doenças dos rins, bacia etc.

Pensa-se inclusive que tenha havido exportação das águas da Quarta-feira. Há algum tempo atrás um arqueólogo ao serviço da Câmara do Sabugal, Marcos Osório, encontrou numa das suas escavações por Sortelha uma garrafa de água intacta onde se encontrava escrito «Águas radium – Curia Portugal». Segundo Marcos Osório, o facto de se encontrar escrito «Portugal» significa que havia exportação das águas, o que possivelmente se fazia a partir de Curia (não se trata da localidade de Curia onde hoje existe uma instância termal!), a povoação mais próxima.

Mas a descoberta dos malefícios trazidos pela radioactividade e pela energia atómica, tristemente celebrados em Hiroshima e Nagasaki, durante a Segunda Guerra Mundial, fez votar tudo ao abandono. Hoje, por entre a vegetação que reveste a Serra da Pena, pode-se avistar e até visitar o imponente monumento erguido nos anos de ouro na localidade de Quarta-feira.



Sabugal

### Bibliografia

- CHANG, R. — Química. 5ª edição. Alfragide: McGraw-Hill, 1994.
- CALDEIRA, C. *et al.* — Ciências Físico-Químicas: Física, 9º ano de escolaridade. Lisboa: Didáctica Editora, 2000.



O Hotel das águas radium à entrada da Quarta-feira no concelho do Sabugal (foto do Clube de Física)



## As sete notas da música

No último artigo ficámos de ver porque é que a oitava se chama oitava e porque é que o meio tom se chama meio tom.

### Cenas dos últimos episódios

Não é demais recordar que a oitava é o intervalo que corresponde a uma proporção de frequências de 1:2, e que o meio tom é o intervalo que corresponde a uma proporção de frequências de  $1:12\sqrt{2} \approx 1,059$ .

E também não é demais recordar que à força de aplicar repetidamente as proporções 1:2 e 1:3 chegámos a duas divisões muito semelhantes da oitava em doze bocados diferentes; e que a razão de frequências  $1:12\sqrt{2}$  é a que uniformiza (ou tempera) esses doze bocados. Aqui tens repetidas as proporções das tabelas do artigo anterior, aproximadas a três casas decimais: na linha de cima tens as proporções da Tabela 1 desse artigo, na linha de baixo tens as proporções da Tabela 2 desse artigo, e na linha do meio tens as proporções temperadas, usando o meio tom de  $1:12\sqrt{2}$ .

1,000	1,068	1,125	1,201	1,266	1,351	1,424	1,500	1,602	1,688	1,802	1,898	2,000
1,000	1,059	1,122	1,189	1,260	1,335	1,414	1,498	1,587	1,682	1,782	1,888	2,000
1,000	1,053	1,110	1,185	1,249	1,333	1,405	1,480	1,580	1,665	1,778	1,873	2,000

Tabela 1 — Notas destemperadas, temperadas e destemperadas outra vez.

### Notas de A a H

Os gregos, à força de estudar esta história das proporções de frequências que são agradáveis ao ouvido com cordas a vibrar e martelos na forja, chegaram a algumas das proporções que constam da tabela anterior.

Uma delas, como não podia deixar de ser, era o 2. Duas outras saíram da primeira linha: são o  $9/8 = 1,125$  e o  $3/2 = 1,5$ . Outra vem na última linha: é o  $4/3 = 1,(3)$ . Depois chegaram a ainda mais três proporções; mas, como essas proporções são representadas por fracções muito complicadas quando só se recorre a potências de 2 e de 3, aquilo a que os gregos chegaram foi antes a umas fracções que envolvem o número 5, e cujo valor está muito próximo daqueles que resultam de só usar potências de 2 e 3, com a vantagem de ainda por cima só usarem números relativamente baixos. Uma dessas fracções é  $5/4 = 1,25$ : repara que está entre 1,249 e 1,266. Outra fracção a que chegaram foi  $5/3 = 1,(6)$ : está entre 1,665 e 1,688. A última foi  $15/8 = 1,875$ , que está entre 1,873 e 1,898. (Vê na tabela acima de onde raio é que este números saíram.)

E agora, pondo isto tudo por ordem, temos:

1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
---	-----	-----	-----	-----	-----	------	---

Tabela 2 — As notas dos gregos.

Aqui tens as proporções temperadas da Tabela 1, e, por cima, as fracções da Tabela 2 correspondentes. É claro que, como nós tínhamos doze sons numa oitava e os gregos só tinham sete, há uns valores sem correspondência. Adiante veremos o que é que isso veio a dar.

1		9/8		5/4	4/3		3/2		5/3		15/8	2
1,000	1,059	1,122	1,189	1,260	1,335	1,414	1,498	1,587	1,682	1,782	1,888	2,000

Tabela 3 — As notas dos gregos, temperadas.

Os gregos fizeram então o seguinte. Disseram que duas notas que diferissem de uma oitava eram afinal a mesma nota. Ficavam assim só com sete notas, e depois era só andar com aqueles sete sons tanto para cima como para baixo uma ou mais oitavas (como também nós fizemos no artigo anterior). O resultado era qualquer coisa do género:

...	5/6	15/16	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2	9/4	5/2	...
-----	-----	-------	---	-----	-----	-----	-----	-----	------	---	-----	-----	-----

Tabela 4 — Ainda mais notas dos gregos. Os tons de cinzento são diferentes oitavas.

Aos sete sons designaram eles pelas primeiras letras do alfabeto grego: A (alfa), B (beta), Γ (gama), Δ (delta), E (epsilon), Z (zeta) e H (eta). O A era a proporção que nós temos ali na tabela como sendo 5/6, o B era o 15/16, e por aí fora, até que o 3/2 era o H e o 5/3 era outra vez o A.

Estes nomes até faziam todo o sentido porque era assim que os gregos também representavam os números. O alfa era o 1, o beta era o 2, o gama era o 3, e por aí fora.

Já estamos então a ver porque é que a oitava se chama oitava. O som mais agudo que o H, o dos 5/3, era outro A, mas se se fosse a dar-lhe o nome da letra seguinte, que era o Θ (teta), isso seria dar-lhe o número 8...

### Notas de A a G

Os romanos copiaram uma data de coisas dos gregos, e não foram só os deuses (a que deram nomes diferentes): o sistema musical seguiu o mesmo caminho. Só que, se os romanos também representavam os números com letras, como tu bem sabes a numeração romana não é tão óbvia como a grega. O 1 não é o A, o 2 não é o B, e por aí fora; em vez disso, é aquela confusão toda com os Is e os Vs e os Xs, que ora se somam, ora se subtraem.

Os romanos tanto podiam manter os números das notas como manter a ideia de usar as primeiras letras do alfabeto para as designar. Felizmente foi esta última coisa que fizeram, mas usaram antes o alfabeto deles. De modo que as notas, para os romanos, eram: A, B, C, D, E, F e G.

Ainda hoje, sobretudo nos países de línguas germânicas, se usam estas letras para designar as notas.

### Notação musical

Quer com o esquema dos gregos, quer com o dos romanos, escrever as notas de uma canção era muito fácil: era só escrever as letras correspondentes. Aqui tens um exemplo ainda dos gregos: o texto é a letra da canção, e depois no meio das linhas vêm as notas que são para cantar.

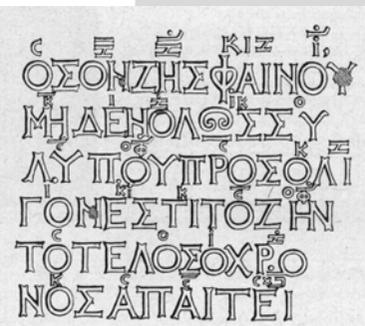


Figura 1 — Uma canção grega sobre um tema qualquer lá da mitologia deles.

### Setas para cima e para baixo

Esta notação da altura dos sons era exacta, mas era pouco apelativa. Na Idade Média começou antes a fazer-se o seguinte: escrevia-se uma linha, que correspondia a uma dada nota, e depois punham-se para lá uns sinais que diziam se a melodia subia ou descia. Não tinham o feito de setas para cima ou para baixo — mas a função era essa! Na Figura 2 temos um exemplo dessa notação.

A grande vantagem desta notação, que peca por ser pouco exacta, é precisamente ser apelativa. Naqueles tempos, em que ainda não havia fotocópias, nem sequer imprensa, copiar música era uma seca e dava imenso trabalho, de modo que o pessoal que cantava num coro tinha todo de ver o que é que havia de cantar por um só livro, que se punha numa estante, à frente de toda a gente, e que tinha umas letras garrafais para se ver bem. Ora, ter só uns sinais a dizer se a música subia ou descia era mais fácil de ver à distância.

### Notas de Ut a La

No século 11 viveu um monge chamado Guido d'Arezzo que reparou que havia uma música muito conhecida (que era um hino a S. João Baptista) que

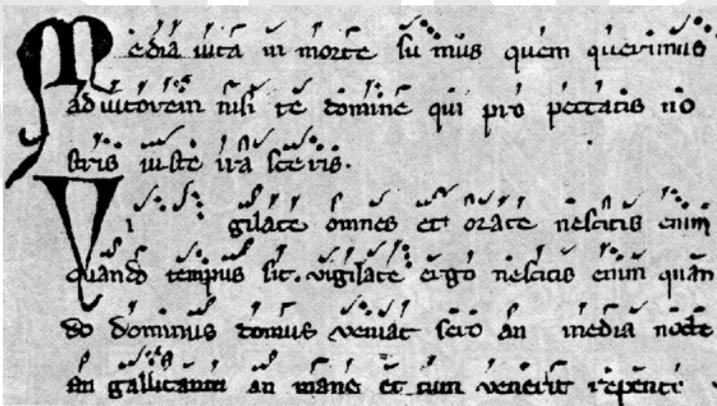


Figura 2 — Notação musical medieval, com os tais arabescos a indicar se a melodia sobe ou desce, e em que nem sequer há a dita linha, porque o próprio texto faz as vezes dela.



Figura 3 — Maralhal a cantar numa igreja durante a Idade Média.

tinha sete versos: o primeiro começava em C, o segundo em D, o terceiro em E, o quarto em F, o quinto em G, e o sexto em A. Ora, veio-lhe então a ideia de chamar essas notas pela primeira sílaba de cada um desses versos. Assim, toda a gente que soubesse esse cântico tão conhecido sabia logo por essa sílaba que nota é que era.

Aqui tens a letra da primeira estrofe do dito hino, em latim e em português:

Ut queant laxis	Para que possam,
Resonare fibris	vozes, ressoar
Mira gestorum	as maravilhas das tuas acções
Famuli tuorum,	os teus servos,
Solve polluti	apaga dos impuros
Labii reatum,	lábios a culpa,
Sancte Ioannes.	ó São João.

Portanto, os nomes das notas passaram a ser os seguintes:

C	D	E	F	G	A	B
Ut	Re	Mi	Fa	Sol	La	—

Tabela 5 — Os nomes das notas inventados por Guido d'Arezzo.

### Notas de Do a Si

Guido d'Arezzo não tinha querido dar um nome à nota B, mas como isso era uma situação estranha depois arranjou-se o nome Si a partir das iniciais das duas palavras do sétimo verso do hino *Ut queant laxis* — e isto apesar de esse verso não começar em Si.

Depois, como Ut era um bocado difícil de pronunciar, passou-se a chamar-lhe Do no século 17.

C	D	E	F	G	A	B
Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si

Tabela 6 — Os nomes das notas hoje em dia.

### Fixar ideias

Tudo isto é muito bonito, mas já deves ter reparado que, apesar de todos estes nomes e de todas estas proporções, ainda não dissemos a que altura é correspondente exactamente cada nota!

Pois na verdade isso foi variando com o tempo e o lugar, até porque o que interessa mesmo são as proporções, como já vimos; só que como convém que toda a gente se entenda (e depois os instrumentos afinados por pessoas diferentes não estavam afinados entre si, porque cada um deles tinha a mesma nota com alturas diferentes...), houve uns tipos quaisquer que fizeram uma reunião em Estugarda no século 19 e acharam que devia haver um La com a frequência de 440 Hz, e ainda hoje é assim que se faz<sup>1</sup>.

O Do imediatamente abaixo desse La chama-se Do central, e tem uma altura acessível a todas as vozes, sejam femininas ou masculinas (exceptuam-se algumas pessoas com a voz cronicamente desafinada). Esse Do corresponde, portanto, à frequência de  $440 / (\sqrt{2})^{10} \approx 246,94$  Hz.

Na Música, usam-se as notas de ainda mais três oitavas abaixo desse Do, e mais quatro oitavas acima. O Do mais grave, portanto, tem (mais ou menos) a frequência de  $246,94 / 2^3 \approx 31$  Hz; e o Do mais agudo tem (mais ou menos) a frequência de  $246,94 \times 2^4 \approx 3951$  Hz<sup>2</sup>.

Um instrumento como o piano consegue dar todas as notas dessas sete oitavas. A maioria dos instrumentos não consegue. Por exemplo, uma flauta transversal não dá uma única nota



Figura 4 — Esta ilustração dos cantores e músicos da corte do Imperador Maximiliano do Sacro-Império Romano da Nação Germânica (só Sacro-Império, para os amigos) é já do século 16, mas ainda assim, e apesar de já haver imprensa nesse tempo, continua a haver um único livro, que as pautas são caras.



Figura 5 — Guido d'Arezzo (995 - 1050; datas mais ou menos aproximadas que não se sabe lá muito bem quando é que morreu).



Figura 6 — Piano.

abaixo do Do central; e, para cima, só dá mais três oitavas (para dizer a verdade, três oitavas e mais quatro meios tons...).

### A pauta

Entretanto, e como a notação com aquelas imitações de setas era um bocado aproximada, houve quem se fosse lembrando de juntar mais riscos, em vez de haver um só, para representar mais notas. À força de juntar riscos chegou-se à pauta actual, que é um conjunto de cinco linhas (horizontais, rectas, equidistantes) e dos (quatro) espaços entre elas, como se vê na Figura 8.



Figura 7 — Flauta (transversal; não confundir com uma flauta de bisel).

E quando estes riscos não chegam, ainda se juntam mais, chamados suplementares, seja para cima, seja para baixo, como se vê na Figura 9.

### A clave

No princípio da pauta, depois, escreve-se sempre um sinal, chamado clave, para explicar a que nota corresponde uma das linhas da pauta.

<sup>1</sup> Demorou bastante até toda a gente se convencer a usar essa frequência. Para o mesmíssimo La chegaram a usar-se frequências tão graves como 376 Hz (qualquer coisa entre um Fa# e um Sol de hoje em dia) e tão agudas como 571 Hz (o que é mais que um Do# e quase um Re de hoje em dia). (O significado do # só vem explicado no próximo artigo... assim ficas já com vontade de o ler.)

<sup>2</sup> Vale a pena referir que acima de 4 ou 5 kHz (isto é, 4000 ou 5000 Hz) o mecanismo auditivo do ouvido humano se altera, e se torna muito mais difícil distinguir e comparar frequências. Por isso, as tais sete oitavas cobrem mais ou menos toda a gama de frequências que o ouvido humano ouve com boa capacidade de destringar alturas e intervalos.



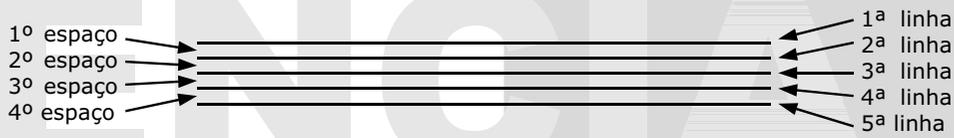
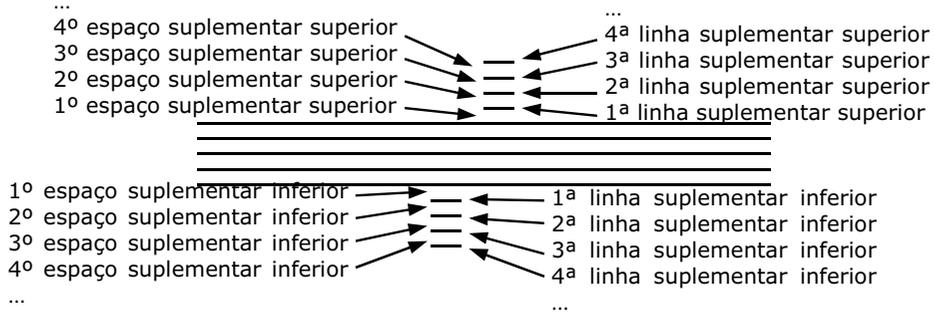


Figura 8 — A pauta.

Figura 9 — Linhas e espaços suplementares.



A clave mais usada é a clave de Sol na segunda linha. Os romanos chamavam G ao Sol, como já vimos, e na realidade a clave de Sol é um G maiúsculo com mais um arabesco para enfeitar. Quando se escreve essa clave na segunda linha, isso mostra que nessa tal segunda linha fica um Sol. Depois o resto das notas vem por acréscimo:

teve a sua origem num C maiúsculo, embora a semelhança seja mesmo muito pequena. Essa clave podia pôr-se na primeira, na segunda, na terceira ou na quarta linhas, e na linha onde ficava, aí representava-se o Do central.

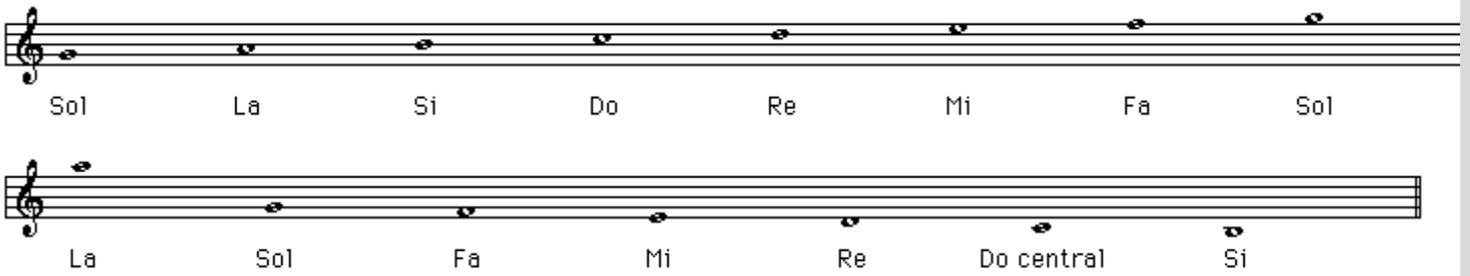


Figura 10 — A clave de Sol.

Hoje em dia já só se usa mais uma clave, que é a clave de Fa na quarta linha. Os romanos chamavam F ao Fa, como já vimos, e a clave de Fa é um F maiúsculo com os dois riscos horizontais todos atrofiados até só ficarem aquelas duas pintinhas. Na quarta linha, onde começa a clave, fica um Fa, e o resto das notas vem na sequência:

**Cenas do próximo capítulo**

No próximo artigo vais ficar a saber que tens vindo a ser enganado ao ler esta secção!

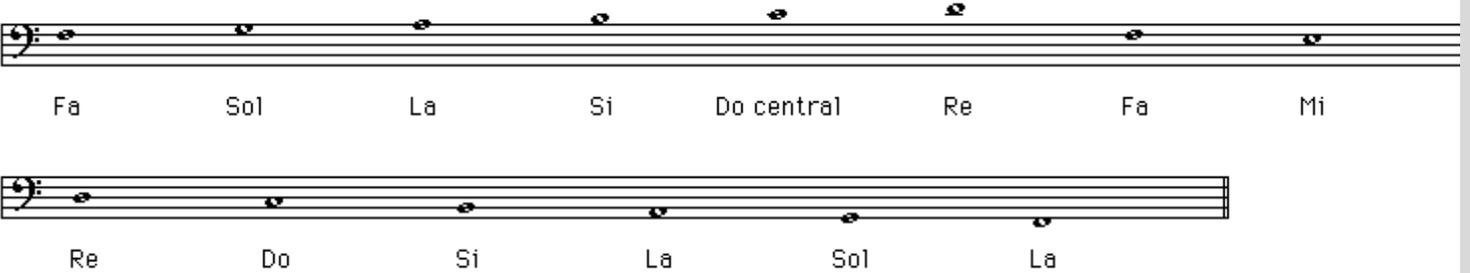


Figura 11 — A clave de Fa.

Dá para ver que com a clave de Sol é mais fácil representar notas mais agudas que o Do central, e que com a clave de Fa é mais fácil representar notas mais graves que o Do central. Não admira, portanto, que a clave de Sol se use para escrever as melodias que se destinam a vozes femininas, ou a instrumentos como a flauta transversal; enquanto a clave de Fa serve sobretudo é para melodias para vozes masculinas, ou para instrumentos como o contrabaixo.

**Se queres saber mais...**

E se entretanto queres saber mais, podes ir a

<http://www.dolmetsch.com/>

que é uma página com imensas coisas sobre Música, entre as quais um curso sobre a Física da Música (se te interessas mais pelo lado científico da questão) e outro de teoria musical nuns termos mais para o convencional (se te interessas mais pelo lado artístico do assunto).

Dantes também se chegou a usar a clave de Sol na primeira linha, e a clave de Fa na terceira linha. Também havia ainda uma clave de Do. Como os romanos chamavam C ao Do a clave



Figura 12 — Ainda mais claves.



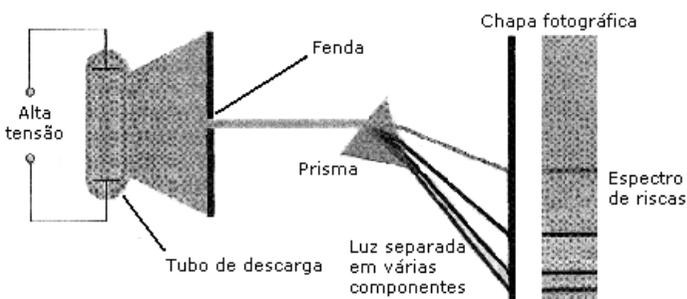
Esta secção publica extractos do trabalho intitulado «Átomo», que foi apresentado no 20º Encontro Juvenil de Ciência.

## O contributo da luz no estudo do átomo (continuação)

### Espectroscopia e teoria de Bohr

Desde o século XVII, quando Newton mostrou que a luz solar era constituída por diferentes cores que podem ser recombinadas constituindo a luz branca, que um novo «mistério» se tinha colocada aos cientistas: os espectros de emissão dos átomos.

A emissão de uma substância é obtida fornecendo energia a uma amostra de material, quer sob a forma de energia térmica, quer sob qualquer outra forma de energia (no caso de substâncias gasosas é muito usual empregarem-se as descargas eléctricas de alta voltagem).

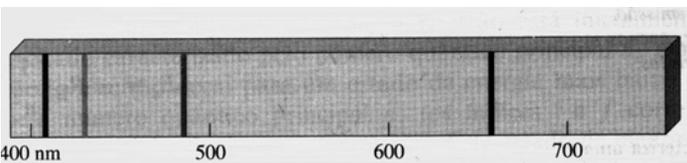


**Um arranjo experimental para estudar o espectro de emissão de átomos e moléculas. O gás em estudo encontra-se num tubo de descarga contendo dois eléctrodos. Os electrões, ao fluir do eléctrodo negativo para o eléctrodo positivo, colidem com o gás.**

**As colisões podem produzir emissão de luz pelos átomos e moléculas. A luz emitida é decomposta nos seus componentes por meio de um prisma. A cor de cada componente é focada para uma posição definida, de acordo com o seu comprimento de onda e forma assim uma imagem colorida na chapa fotográfica. As imagens coloridas são denominadas riscas espectrais.**

Por exemplo, uma barra de ferro incandescente (cor vermelha ou branca) tem um brilho característico. Esse brilho visível corresponde à porção do seu espectro de emissão que é captada pelo olho humano. O calor sentido a alguma distância da barra de ferro corresponde a uma outra região do seu espectro de emissão, a região do infravermelho. Uma característica deste espectro, e que é comum a muitos outros, é que é um espectro contínuo, ou seja, todos os comprimentos de onda estão representados.

Contudo, os espectros de emissão dos átomos em fase gasosa não apresentam continuidade de comprimentos de onda nos espectros de emissão (do vermelho ao violeta). Muito pelo contrário, estes átomos emitem luz apenas a comprimentos de onda específicos. Estes espectros são denominados por espectros de riscas.



Espectros de riscas dos átomos de hidrogénio

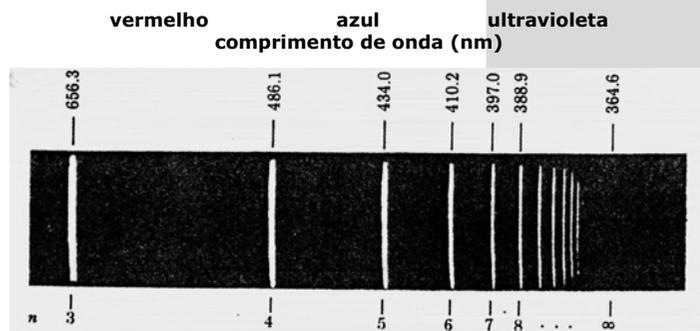
Cada elemento tem um espectro de emissão próprio, sendo que as riscas características podem ser utilizadas em análises químicas para identificar os átomos. Apesar de ter sido imediatamente reconhecida a utilidade deste processo, a origem das riscas permaneceu desconhecida até ao início do

século XX.

Por volta de 1885, Johann Balmer constatou que uma série de frequências emitidas pelo átomo de hidrogénio poderia ser equacionada da seguinte forma:

$$\nu = (1/4 - 1/n^2) \times 3,29 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

em que  $n$  é um número inteiro maior ou igual a 3. A simplicidade desta expressão era intrigante, e apesar de outras relações empíricas serem procuradas, nenhuma relacionava os valores de forma tão simples.



Linhas de Balmer. Os valores de  $n$  e dos comprimentos de onda do visível ao ultravioleta medidos ao ar estão indicados nas partes inferior e superior respectivamente.

Niels Henrik David Bohr, físico dinamarquês, em 1913, apresentou uma explicação teórica para o espectro de emissão do átomo de hidrogénio. Nessa altura já se sabia que o átomo era constituído por electrões e por protões e concebia-se o átomo como uma entidade na qual os electrões giravam em torno do núcleo em órbitas circulares a altas velocidades. Este era um modelo atraente pois assemelhava-se aos movimentos dos planetas em torno do Sol. No átomo de hidrogénio acreditava-se que a atracção electrostática entre o protão e o electrão «puxava» o electrão para dentro e que esta força era compensada pela aceleração devida ao movimento circular do electrão.

Para explicar o porquê das frequências emitidas obedecerem a uma lei tão simples, Bohr baseou-se em 4 postulados:

- 1) No átomo somente é permitido ao electrão estar em certos estados estacionários, sendo que cada um deles possui uma energia fixa e definida.
- 2) Quando um átomo estiver num desses estados, ele não pode emitir luz. No entanto, quando um átomo passar de um estado de alta energia para um estado de menor energia, há emissão de um quantum de radiação, cuja energia  $h \nu$  é igual à diferença de energia entre os dois estados;
- 3) Se o átomo estiver em qualquer um dos estados estacionários, o electrão movimenta-se descrevendo uma órbita circular em torno do núcleo.
- 4) Os estados electrónicos permitidos são aqueles nos quais o momento angular de electrão é quantizado em múltiplos de  $h / 2\pi$ .

Dentro destes quatro postulados, o primeiro e o segundo foram confirmados e são mantidos na teoria quântica actual. O terceiro postulado está completamente errado e o quarto está parcialmente correcto (o momento angular de um electrão é definido, mas não da maneira proposta por Bohr).

Para que um electrão se mantenha estável na sua órbita é necessário que a força electrostática entre o electrão e o núcleo seja exactamente equilibrada pela força centrífuga, devido ao movimento circular:

$$\text{força coulombica} = \text{força centrífuga} \Leftrightarrow Z e^2 / 4 \pi \epsilon_0 r^2 = m v^2 / r$$



em que  $m$  e  $v$  são a massa e a velocidade do electrão,  $Z$  é o número de unidades elementares de carga e do núcleo atómico e  $r$  é a distância entre o núcleo e o electrão.

De outra forma:

$$Z e^2 / 4 \pi \epsilon_0 r = m v^2$$

Bohr postulou que o momento angular,  $mvr$ , é:

$$m v r = n h / 2 \pi$$

onde  $h$  é a constante de Planck e  $n$  é denominado por número quântico de Bohr. De outro modo, o momento angular deve ser um múltiplo inteiro de  $h / 2 \pi$ . Combinando as duas equações anteriores e eliminando  $v$  temos que:

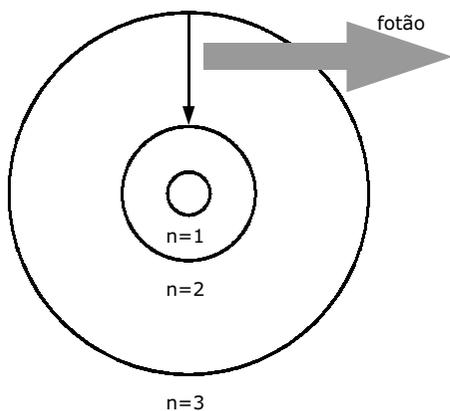
$$r = n^2 h^2 \epsilon_0 / \pi m Z e^2, n = 1, 2, 3...$$

Desta forma obtemos que somente certas órbitas podem ser ocupadas pelo electrão. A fórmula anterior pode ser reescrita apresentando a constante de Rydberg:

$$E_n = -R_H (1 / n^2)$$

onde a constante de Rydberg tem o valor de  $2,18 \times 10^{-18}$  J e  $n$  é um número inteiro positivo denominado de número quântico principal.

O sinal negativo na equação implica que todas as energias permitidas ao electrão sejam negativas. Na verdade, este sinal é uma convenção arbitrária, e diz-nos que a energia do electrão no átomo é mais baixa do que a energia de um electrão livre (electrão que está infinitamente afastado do núcleo). À energia de um electrão livre é arbitrariamente atribuído o valor zero (0). Matematicamente, isto corresponde a estabelecer, na equação,  $n$  igual a infinito para que  $E_\infty = 0$ . Deste modo, à medida que o electrão se aproxima do núcleo e que  $n$  decresce,  $E_n$  torna-se maior em valor absoluto. O valor mais negativo corresponde a  $n = 1$  (que corresponde também à órbita mais estável). Esta situação é denominada por estado fundamental, que é o estado de menor energia de um sistema — o átomo. Conforme  $n$  vai aumentando, a estabilidade vai diminuindo e cada um desses estados passa a ser denominado por estado excitado, pois a sua energia é superior à do estado fundamental.



**O processo de emissão numa excitação de um átomo de hidrogénio, de acordo com a teoria de Bohr. Um electrão, originalmente numa órbita de elevada energia ( $n = 3$ ), passa para uma órbita de menor energia ( $n = 2$ ). Como resultado é libertado um fóton de energia  $h\nu$ . Esta energia é igual à diferença de energias das duas órbitas ocupadas pelo electrão no processo de emissão. Para simplificar só se representaram três órbitas.**

Este espectro de riscas do átomo de hidrogénio. A energia absorvida pelo átomo obriga o electrão a mover-se de uma órbita de menor energia para uma órbita de maior energia. De modo contrário, é emitida energia sob a forma de fótons quando o electrão se move de uma órbita de maior energia para uma órbita de menor energia. O movimento quantificado

do electrão de uma órbita para outra é semelhante ao movimento de uma bola de ténis subindo e descendo um conjunto de degraus. A bola pode estar em qualquer degrau, mas nunca entre os degraus. A passagem de um degrau mais baixo para um mais alto é um processo que requer energia, enquanto que a passagem de um degrau mais alto para um

## Niels Bohr, físico dinamarquês, em 1913, apresentou uma explicação teórica para o espectro de emissão do átomo de hidrogénio. Este era um modelo atraente pois assemelhava-se aos movimentos dos planetas em torno do Sol.

degrau mais baixo é um processo que liberta energia. A quantidade de energia envolvida em qualquer tipo de mudança depende da distância entre os degraus. De igual modo, a quantidade de energia necessária para movimentar um electrão do átomo de Bohr depende da diferença entre os níveis dos estados iniciais e finais.

Se centrarmos novamente a atenção na fórmula:

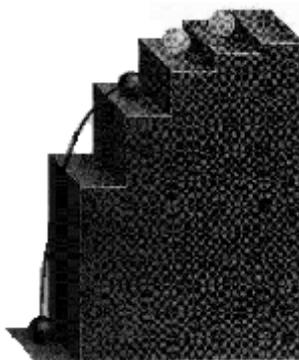
$$r = n^2 h^2 \epsilon_0 / \pi m Z e^2, n = 1, 2, 3...$$

e simplificarmos esta equação substituindo todas as constantes físicas conhecidas por uma única constante denominada por raio de Bohr,  $a_0$ , conseguimos definir essa constante como:

$$a_0 = h^2 \epsilon_0 / \pi m e^2$$

e então  $r$  pode passar a ser definido como:

$$r = a_0 n^2 / Z$$



Uma analogia mecânica para um processo de emissão.

O raio de Bohr foi determinado, sendo o seu valor actual  $5,2917706(44) \times 10^{-11}$  m.

A energia total do electrão é a soma da sua energia cinética  $T$  e da sua energia potencial  $V$ . A energia potencial é um valor negativo pois o electrão e o núcleo são mutuamente atraídos, mesmo existindo uma distância  $r$  relativamente grande. Assim a energia total pode ser expressa por:

$$E = T + V = 1/2 m v^2 + (-Z e^2 / 4 \pi \epsilon_0 r)$$

Caso se substitua, nesta equação, a relação já referida entre força coulombica e força centrífuga obtemos um resultado peculiar:

$$E = 1/2 (Z e^2 / 4 \pi \epsilon_0 r) - (Z e^2 / 4 \pi \epsilon_0 r) = -1/2 (Z e^2 / 4 \pi \epsilon_0 r)$$

Este resultando é, contudo, consistente com o resultado obtido a partir da mecânica planetária. A energia potencial numa órbita estável é negativa e o seu módulo é duas vezes superior à energia cinética. Deste modo, a energia total do átomo de Bohr é negativa e igual a metade da energia potencial. Se relacionarmos a equação do raio de Bohr com a equação da energia de um átomo temos que:

$$E = (-Z^2 / 2 n^2) (e^2 / 4 \pi \epsilon_0 a_0)$$

E agora é muito fácil perceber porque é que só certas energias são permitidas ao átomo.

Se olharmos para o segundo factor da multiplicação, na equação anterior, e se a essa combinação de constantes físicas dermos o nome de unidade atómica de energia (cuja abreviatura é u.a.), a equação adquire uma forma muito mais simples quando expressa em unidades atómicas:

$$E(\text{u.a.}) = -Z^2 / 2 n^2, n = 1, 2, 3...$$

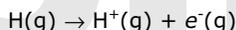
É, de facto, muito frequente expressarmos a energia em unidades atómicas, mas, para trabalhar com este valor, geralmente é necessário convertê-lo em unidades SI. A unidade atómica expressa no sistema SI é igual a um hartree:

$$1 \text{ hartree} = 1 \text{ u.a.} = e^2 / 4 \pi \epsilon_0 a_0 = 4,3598 \times 10^{-18} \text{ J}$$

Se voltarmos a centrar a nossa atenção sobre o valor inteiro  $n$ , veremos, como já foi referido, que a energia dos diversos

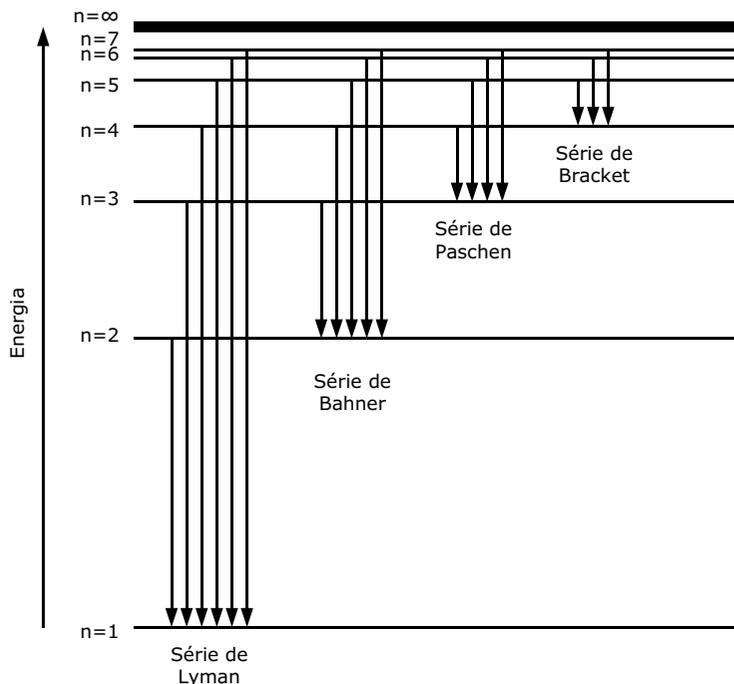


níveis tende para zero. Isto implica que a separação do electrão do núcleo gera um protão isolado, como indica a equação química seguinte:



A energia necessária para esta reacção, supondo que todos os átomos estão inicialmente no estado fundamental, é exactamente 0,5 u.a..

Num diagrama de níveis de energia, as setas de um nível para o outro indicam transições espectroscópicas que acompanham a emissão ou a absorção de luz. As setas para níveis energéticos mais baixos correspondem a transições com emissão de luz enquanto que as setas para níveis mais energéticos correspondem a transições com absorção de luz.



**Os níveis de energia do átomo do hidrogénio e as várias séries de emissão. Cada nível de energia corresponde à energia associada ao movimento de um electrão numa órbita, como postulado por Bohr.**

Para se obter um espectro de absorção deve passar-se uma luz que contenha todos os comprimentos de onda por uma amostra de átomos de hidrogénio ( ${}^1\text{H}$ ) e determinar quais os comprimentos de onda que foram absorvidos durante as transições. Dado que a maioria dos átomos se encontra no estado fundamental ( $n=1$ ), as transições ocorrem preferencialmente a partir desse nível. Por outro lado, a emissão pode ser observada quando os átomos são muito excitados. Se numa emissão o átomo decair para o estado  $n=1$ , esta é denominada de transição ressonante, pois a luz emitida pode ser reabsorvida pelos átomos de H que se encontram na vizinhança.

De modo a respeitar a lei da conservação, Bohr supôs que:

$$\text{variação de energia} = \Delta E = h \nu$$

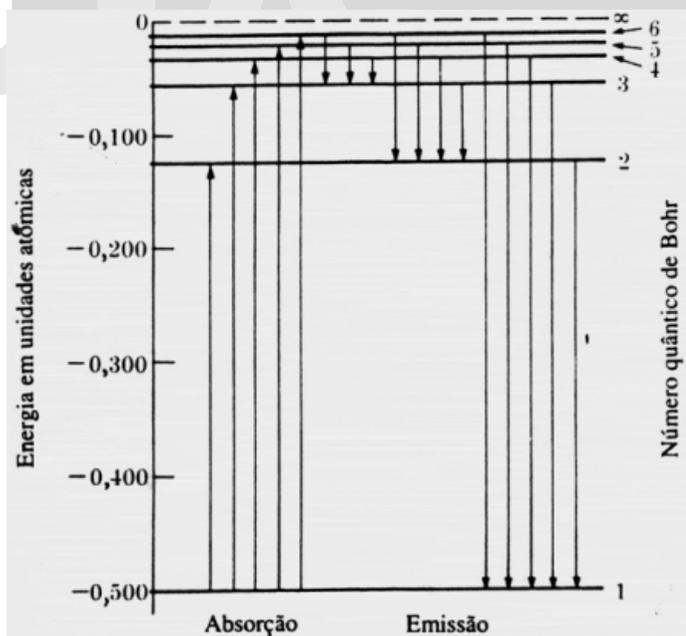
A energia  $E_i$  é menos negativa que a energia final  $E_f$  no caso de uma transição com emissão. Se substituirmos este conceito na equação da energia (antes da mudança para unidades atómicas) ficamos com:

$$E_i - E_f = h \nu = Z^2/2 (1/n_f^2 - 1/n_i^2) (e^2 / 4 \pi \epsilon_0 a_0)$$

Se confrontarmos esta equação com a sugerida por Balmer, no início desta secção, veremos que são muito similares e que Balmer somente considerou que  $Z = 1$  e  $n_f = 2$ , para todas as transições.

Cada risca do espectro de emissão corresponde a uma certa transição num átomo de hidrogénio. Quando estudamos um grande número de átomos H, observamos todas as transições possíveis, e portanto as correspondentes às riscas espectrais.

O brilho de uma dada risca espectral depende de quantos fótons são emitidos com esse comprimento de onda.



**Níveis de energia do átomo de hidrogénio de acordo com a fórmula de Bohr  $E(\text{u.a.}) = -1/2 (1/n^2)$ . As setas representam as possíveis transições de absorção e emissão entre estes níveis.**

O espectro de emissão do hidrogénio vai do infravermelho ao ultravioleta, como mostra a tabela seguinte:

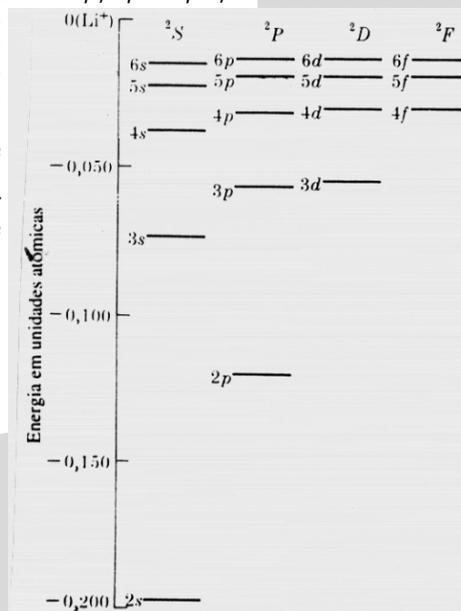
Séries	$n_i$	$n_f$	Região espectral
Lyman	2,3,4,...	1	Ultravioleta
Balmer	3,4,5,...	2	Visível e ultravioleta
Paschen	4,5,6,...	3	Infravermelho
Brackett	5,6,7,...	4	Infravermelho

### A teoria de Bohr aplicada a átomos multieletrónicos e números atómicos: conceitos gerais

As equações de Bohr, além de serem aplicadas ao átomo de hidrogénio ( ${}^1\text{H}$ ), também podem ser aplicadas a outros átomos monoelétrónicos, como por exemplo  $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^{2+}$ ,  $\text{Be}^{3+}$ , etc., desde que os seus números atómicos sejam utilizados. Contudo, as energias dos electrões em átomos com mais do que um electrão não podem ser calculadas utilizando a fórmula de Bohr. Somente podem ser obtidas através de medidas espectroscópicas. Os electrões de valência (da última camada) de muitos átomos podem ser promovidos quando excitados na faixa dos comprimentos de onda entre os 200 e os 1000 nm.

Várias séries de riscas de emissão, mais ou menos similares àquelas que foram observadas para o átomo de H, foram também observadas para os átomos de Li, Na e K. Tais séries foram denominadas *sharp*, *principal*, *diffuse* e *fine*. Se calcularmos os valores recíprocos dos comprimentos de onda de modo a obtermos uma unidade de energia, então podemos montar os diagramas de níveis de energia. Nestes diagramas,

**Níveis de energia observados para o átomo de lítio. Para obter a energia total do átomo somar o valor - 7,2798 u.a. de modo a considerar a energia do  $\text{Li}^+$ . Os dois primeiros electrões não são mostrados neste diagrama.**



para identificar as séries, os níveis foram classificados em S, P, D e F.

Na figura da página anterior observamos os níveis de energia atribuídos às transições de electrão de valência do átomo de Li, se supusermos que os dois electrões mais internos não participam em tais processos. Este electrão de valência não sente a carga total do núcleo  $Z = 3$ , logo não sente a influência dos três prótons existentes no núcleo, pois os electrões internos blindam-no. O efeito dos electrões internos pode ser avaliado utilizando-se uma carga nuclear efectiva:

$$Z_{ef} = Z - b$$

Esta carga nuclear efectiva é utilizada na equação de Bohr, onde  $b$  é a constante de blindagem. O valor de  $b$  pode ser determinado experimentalmente.

Devido ao efeito de blindagem pelos electrões internos, os electrões de valência no lítio, sódio e potássio possuem níveis de energia semelhantes. A transição do nível P para o nível S é responsável pela emissão na região visível do espectro (esta luz é utilizada para identificar substâncias nos tradicionais testes de chama).

Uma enorme quantidade de informações relativas aos níveis de energia nos átomos foi obtida analisando-se os espectros na presença de campos magnéticos. Por meio destas experiências, ficou-se a saber que, para além do número quântico  $n$  de Bohr, são necessários outros números quânticos para descrever os átomos.

O maior avanço a este respeito foi dado por G. Goudsmit e por S. Ulenbeck, que, em 1925, propuseram que os electrões devem ter um momento angular intrínseco denominado momento angular de spin, quantizado em unidades de  $h/2\pi$ . Este novo momento angular e o número quântico magnético a ele associado são muito importantes para a compreensão dos níveis de energia permitidos a átomos multieletrónicos.

H. G. J. Moseley, em 1912, desenvolveu uma técnica para determinar o número atómico de todos os elementos. Ele bombardeou electrodos metálicos com electrões acelerados por uma grande diferença de potencial. Desta forma ele foi capaz de obter espectros de emissão na região do raio X. Estas transições ocorrem devido à excitação de electrões muito próximos do núcleo dos elementos, na superfície do electrodo. Estes electrões formam as camadas K e L, sendo o efeito de blindagem quase nulo, nestes casos. Moseley apercebeu-se que todas as frequências observadas poderiam ser descritas pela fórmula empírica:

$$\nu = c(Z - b)^2$$

onde  $c$  e  $b$  são constantes que dependem da camada electrónica considerada.  $Z$  é um número inteiro cujo valor aumenta regularmente de uma em uma unidade, quando os elementos são tomados na ordem em que apareciam na tabela periódica. Então Moseley concluiu correctamente que a magnitude de  $Z$  é o número atómico, ou seja, a carga do núcleo do elemento emissor do raio X.

De acordo com Bohr, a frequência da luz emitida por um átomo monoeléctrico deveria ser proporcional a  $Z^2$ , o quadrado da carga nuclear. Moseley propôs que a razão das frequências dos raios X era proporcional a  $(Z-b)^2$  e não a  $Z^2$ , isto porque os electrões têm tendência a blindarem-se

mutuamente. Deste modo, sempre que for considerado mais do que um electrão, a carga nuclear efectiva será igual a  $(Z-b)$  e não a  $Z$ , sendo  $b$  aproximadamente igual a 1,0 para os electrões da camada K.

Se ordenarmos os elementos segundo as suas massas atómicas os pares níquel-cobalto, árgon-potássio e telúrio-iodo apareceriam em posições que não estariam de acordo com as suas propriedades químicas. Moseley arranjou então um modo de ultrapassar todas estas discrepâncias: ordenar os elementos segundo o seu número atómico e não segundo a sua massa. Deste modo ele demonstrou que a carga nuclear era mais importante do que a massa do átomo na definição das propriedades químicas do elemento.

### Limitações do modelo de Bohr

É de facto indiscutível que os níveis de energia são uma explicação consistente relativamente aos átomos monoeléctricos e que podem ser corrigidos para serem utilizados em átomos polieletrónicos. Mas estes níveis de energia não explicam por si só a tabela periódica. No caso do átomo de Li o electrão de valência tem  $n=2$  no seu estado de menor energia. De acordo com a teoria de Bohr, este electrão deveria ter um momento angular orbital igual a  $2h/2\pi$ . Contudo os dados experimentais contrariam esta teoria na medida em que, baseando-se em medidas magnéticas, os níveis S apresentam momento angular orbital igual a zero. Experiências algo semelhantes com o átomo de hidrogénio indicaram que o momento angular dos níveis S ( $n=1$ ) é também zero. A tabela periódica é consistente com a existência dos octetos electrónicos, mas a teoria de Bohr não o é. Obviamente algo necessitava de ser modificado nesta teoria.

Para melhorar a concordância das energias calculadas com as obtidas por meio de espectros, foi introduzido no modelo de Bohr o conceito de orbitais elípticas, mas, mesmo assim, a tabela periódica ainda não tinha explicação. Outros aspectos que esta teoria não explicava eram os detalhes dos espectros de átomos multieletrónicos e também não conseguia proporcionar uma explicação lógica para as ligações químicas.

Além destas falhas na teoria de Bohr, existiam ainda dois aspectos mal explicados e que poderiam interferir com todo o desenvolvimento da química: por um lado ainda não se tinha conseguido perceber se a luz tinha um carácter ondulatório ou corpuscular; por outro lado a quantização da energia tinha surgido de uma forma pouco aceitável, sem muita credibilidade, como um apêndice à teoria Newtoniana. Deste modo o desenvolvimento de uma nova teoria era inevitável. 

**Próximo artigo desta secção: A Mecânica Quântica.**



Henry Moseley (1887 — 1915)



Niels Bohr (1885 — 1962)



## Núcleo Regional de Braga

Caros Leitores (sócios / não sócios / outros):

As «merecidas» férias estão aí... por isso, nada melhor que leres descontraidamente tudo sobre as últimas novidades do Nbraga!

Este último trimestre foi bastante produtivo! Em primeiro lugar gostaria de destacar a importância do contacto do nosso núcleo com a Associação Nacional para o Estudo e Intervenção na Sobredotação (A.N.E.I.S.). Seguindo a política de «parcerias» levada a cabo pelo Nbraga em 2003, mais um protocolo de cooperação foi estabelecido, desta vez com a conhecida A.N.E.I.S.. Mas não fica por aqui... esta relação já deu frutos! Durante o mês de Maio e Junho o Núcleo Regional de Braga colaborou no projecto PEDAIS, da referida associação (mais informações em [www.aneis.org](http://www.aneis.org)).

Em segundo lugar, mas não menos importante, estão os cursos de Técnicas Aeroespaciais e de Imagem & Fotografia. Para provar que o Núcleo Regional de Braga é mesmo *regional*, resolvemos realizar estas duas actividades fora de Braga!

O curso de Imagem e Fotografia, leccionado pelo G.I.F. (Grupo de Imagem e Fotografia da AJC), foi realizado pelo Nbraga em Guimarães, onde contou com a colaboração do CMJ-Guimarães. À «imagem» do curso anterior (realizado em Braga), foi um sucesso, tendo o número de inscrições esgotado! Ah, o curso, com duração de dois dias, incluiu também o «Laboratório de Fotografia» e a revelação das fotografias tiradas durante a aprendizagem.

O curso de Técnicas Aeroespaciais foi por sua vez realizado na cidade da Trofa, em colaboração com o famoso G.T.A. da nossa Associação! Inserido no nosso Projecto «Nbraga na Escola», o curso foi realizado na Escola Secundária da Trofa e como é hábito o entusiasmo e curiosidade foram gerais, sendo o seu ponto alto o lançamento dos micro-foguetes construídos pelos próprios participantes. (Não nos podemos esquecer que o apoio do Núcleo do Porto da A.J.C. foi fundamental!)

Para além de todas estas actividades, relembramos que o Núcleo Regional de Braga também esteve envolvido na organização do 9º Encontro de Jovens Investigadores.

Bem, como podem ver temos tido muito (e pensamos que bom) trabalho. Para ser melhor só falta a tua participação! Pronto, e agora que o nosso «relatório» está feito, não te esqueças de visitar regularmente o *site* e o fórum da AJC (em [www.ajc.pt](http://www.ajc.pt))... Boas Férias!!!

Saudações AJCianas! 

**Em baixo, curso de Imagem e Fotografia, em Guimarães. Ao lado, curso de Técnicas Aeroespaciais, na Trofa**



## Errata

Errar é humano, e a origem humana do último número da CiênciaJ, o número 32, de Abril-Junho, é bem clara pelo número de erros que contém...

Na página 1, também conhecida por capa, onde se lê «Novas secções neste número:», há um erro porque os dois pontos são um sinal de pontuação, mas os quatro pontos não.

Na página 2, no índice, onde se lê «Fotografia de Matusalem Marques», há um erro porque a fotografia é da Rita Ramos.

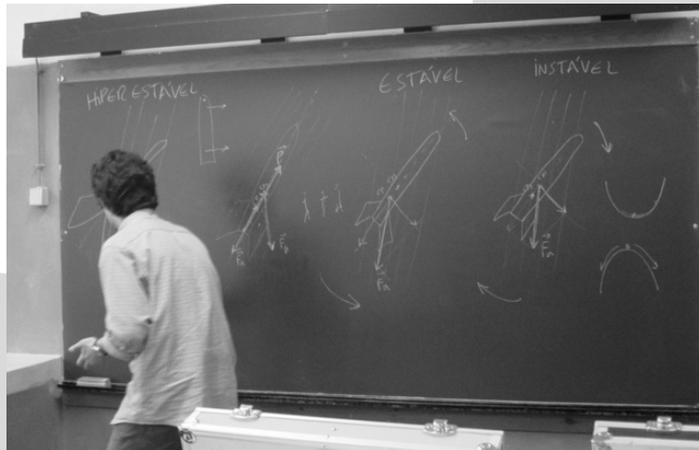
Na página 17, a encerrar o artigo da secção Energia Nuclear, deveria encontrar-se a bibliografia desse trabalho, que é a seguinte:

- OLIVEIRA, Jaime; MARTINHO, Eduardo — Energia Nuclear — Mitos e Realidades. 1ª edição. Santarém: O Mirante, 2000.
- PIRANI, Felix; ROCHE, Christine — Nuclear Power. 1ª edição. London: Hodder Children's Books, 1997.
- ARDLEY, Neil; MATTHEWS, Roberts — Enciclopédia do Conhecimento - A Física. 7º volume. 1ª edição. Mem Martins: Resomnia Editores, 1997.

Na página 22, no artigo da secção Prelúdio, há uma legenda duma figura que saiu completamente fora do sítio. A legenda era «Figura 2 — Som produzido por uma flauta.», e devia encontrar-se por baixo do último gráfico do artigo. Em vez disso está atrás do gráfico, só com o princípio a espreitar... nem sequer se consegue ler.

Na página 24, no artigo da secção O universo e tudo o resto, devia ler-se, várias vezes, Kuiper (e não Kupier). Felizmente que o nome saiu bem pelo menos na legenda da figura!

E, já agora, no número 31, na página 13, a meio do artigo da secção Avulso, aparece a certa altura uma linha que diz «boneco». Essa linha não tem nada que estar lá! 



# Um conto enredado

por Lewis Carroll (tradução de Duarte Valério)

## Nó 9 — Uma serpente com cantos

*Água, água por todo o lado,  
mas nem uma gota para beber<sup>1</sup>.*

— Já só vai levar mais um seixo.

— O que *raio* é que estás a fazer com esses baldes?

Os interlocutores eram Hugh e Lambert. O lugar, a praia de Little Mendip. A hora, uma e meia da tarde. Hugh estava a fazer flutuar um balde dentro de outro maior, e a experimentar quantos seixos levaria sem se afundar. Lambert estava deitado de costas, sem fazer nada.

Durante um ou dois minutos Hugh esteve calado, evidentemente embrenhado em profundos pensamentos. De repente começou:

— Ei, olha aqui, Lambert! — gritou.

— Se está vivo, é viscoso, e tem pernas, não quero saber — disse Lambert.

— O Balbus não disse esta manhã que, se um corpo for imerso num líquido, desloca tanto líquido quanto o seu volume? — disse Hugh.

— Disse umas coisas desse género — respondeu vagamente Lambert.

— Bem, olha só por um minuto. Aqui está o balde pequeno quase imerso: de modo que a água deslocada devia ter exactamente o mesmo volume. E agora olha só! — Tirou o balde pequeno enquanto falava, e entregou o grande a Lambert. — Bem, nem chega para uma chávena de chá! Vais-me dizer que essa água tem o mesmo volume do balde pequeno?

— Claro que sim — disse Lambert.

— Bem, olha aqui outra vez! — gritou Hugh, triunfante, ao verter a água do balde maior para o mais pequeno. — É que nem sequer o enche até meio!

— Isso é problema *dele* — disse Lambert. — Se o Balbus diz que é o mesmo volume, então é o mesmo volume, sabes.

— Bem, não acredito — disse Hugh.

— Não precisas — disse Lambert. — Além disso é hora de almoço. Vem daí.

Encontraram Balbus à espera deles para almoçar, e Hugh propôs-lhe imediatamente a sua dificuldade.

— Vamos servir-vos primeiro — disse Balbus, cortando rapidamente o assunto no momento certo. — Conhecem o velho provérbio: «Carneiro primeiro, mecânica depois»?

Os rapazes *não* conheciam o provérbio, mas aceitaram-no de boa fé, tal como faziam com cada informação, por mais surpreendente que fosse, que lhes advinha duma autoridade tão infalível como o seu tutor. Comeram rapidamente em silêncio, e, em terminando o almoço, Hugh dispôs o usual conjunto de canetas, tinta e papel, enquanto Balbus lhes repetia o problema que tinha preparado para resolverem à tarde.

— Um amigo meu tem um jardim: um jardim muito bonito, embora não muito grande...

— De que tamanho é que é? — disse Hugh.

— Isso é o que *vocês* têm de descobrir! — respondeu alegremente Balbus. — Tudo o que *eu* vos digo é que é oblongo (o comprimento excede a largura apenas por uma jarda<sup>2</sup>) e que um caminho de gravilha, com uma jarda de

largura, começa num canto e lhe dá a volta toda.

— É um caminho fechado? — disse Hugh.

— *Não* é um caminho fechado, jovem. Exactamente *antes* de se fechar, vira para o lado, e dá a volta ao jardim outra vez, ao lado do primeiro troço, e depois dá a volta outra vez por dentro, curvando cada vez mais para dentro, cada troço sendo adjacente ao anterior, até ter coberto toda a área.

— Como uma serpente com cantos? — disse Lambert.

— Exactamente. E se caminharem todo o seu comprimento, até à última polegada, mantendo-se no centro do caminho, terão andado exactamente duas milhas e meio estádio<sup>3</sup>. Agora, enquanto vocês acham o comprimento e a largura do jardim, vou ver se consigo resolver aquela complicação da água do mar.

— Não disse que se tratava de um jardim? — perguntou Hugh, quando Balbus ia a deixar a sala.

— Disse — disse Balbus.

— Onde é que crescem as flores? — disse Hugh. Mas Balbus achou melhor não ouvir a pergunta. Deixou os rapazes com o seu problema, e, no silêncio do seu próprio quarto, dispôs-se a desenredar o paradoxo mecânico de Hugh.

— Para clarificar as nossas ideias — murmurou para consigo mesmo, enquanto, com as mãos enfiadas no fundo dos bolsos, passeava de um lado para o outro do quarto —, vamos tomar um vaso cilíndrico de vidro, com uma escala em polegadas marcada no seu lado, e enchê-lo com água até à marca de 10 polegadas: e assumiremos que cada polegada de altura do



Lajos Kossuth

<sup>1</sup> Samuel Taylor Coleridge (1772-1834), *The Rhime of the Ancient Mariner*, parte segunda. (N. do T.)

<sup>2</sup> Veja-se a nota de pé de página 2 ao nó 1 (no número 27 da CiênciaJ). A título informativo, uma jarda corresponde a 0,9144 m. (N. do T.)

<sup>3</sup> A milha tem 1760 jardas e o estádio tem 220 jardas. (N. do T.)

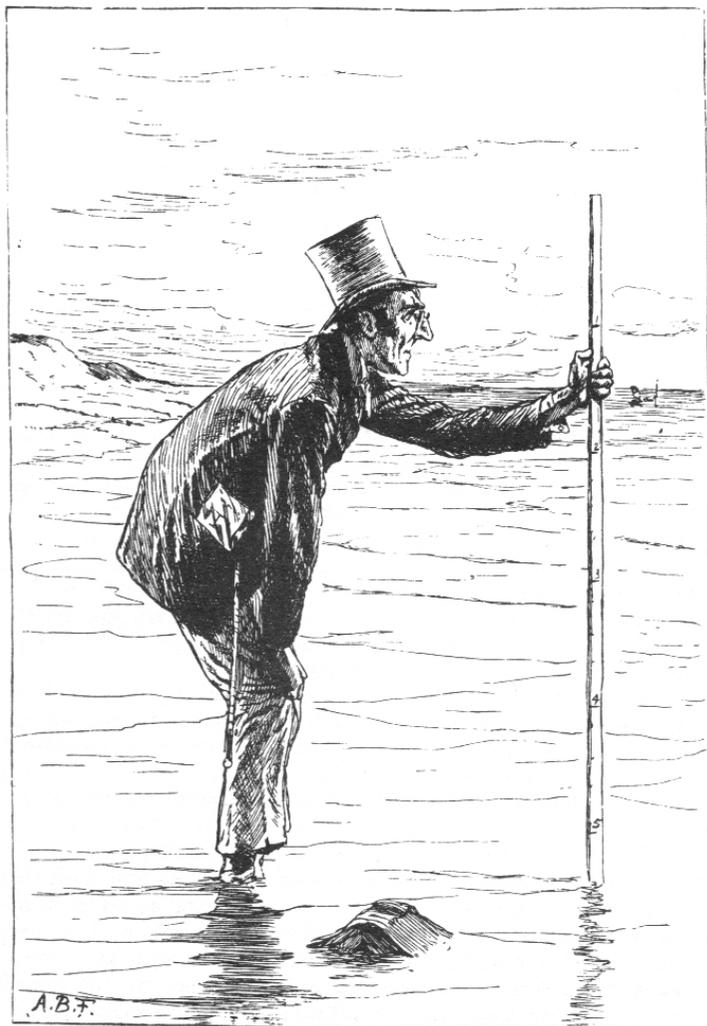
<sup>4</sup> Veja-se a nota de pé de página 2. A título informativo, a pinta corresponde a 4 / 7 dm<sup>3</sup>. (N. do T.)



vaso contém uma pinta<sup>4</sup> de água. Tomaremos agora um sólido cilíndrico, tal que cada polegada sua equivalha em volume a *meia* pinta de água, e mergulharemos 4 polegadas na água, de tal modo que o cilindro chegue à marca das 6 polegadas. Bem, isso desloca 2 pintas de água. O que é que lhes acontece? Ora, se não houvesse mais cilindro, ficariam confortavelmente no topo, e encheriam o vaso até à marca das 12 polegadas. Mas infelizmente há mais cilindro, que ocupa metade do espaço entre as marcas das 10 e 12 polegadas, de modo que lá só se pode acomodar *uma* pinta de água. O que é que acontece à outra pinta? Ora, se não houvesse mais cilindro, ficaria no topo, e encheria o vaso até à marca das 13 polegadas. Mas infelizmente... Ó sombra de Newton! — exclamou ele, com uma súbita voz de terror. — Quando é que a água *pára* de subir?

Ocorreu-lhe uma ideia brilhante.

— Vou escrever um ensaio sobre o assunto — disse ele.



Ele permanece firme e inamovível

### O ensaio de Balbus

«Como é bem sabido, quando um sólido é imerso num líquido desloca uma porção de líquido com um volume igual ao seu, e o nível do líquido sobe tanto quanto subiria se lhe tivesse sido adicionada uma quantidade de líquido de volume igual ao do sólido. Lardner<sup>5</sup> diz que ocorre exactamente o mesmo processo quando um sólido é *parcialmente* imerso: a quantidade de líquido deslocado, neste caso, iguala a porção de sólido que é imerso, sendo a subida do nível proporcional.

«Suponhamos um sólido suspenso sobre a superfície de um líquido e parcialmente imerso: é deslocada uma porção do líquido, e o nível do líquido sobe. Mas, com esta subida do nível, é, claro, imerso um pouco mais do sólido, e por isso há um novo deslocamento de uma segunda porção do líquido, e, consequentemente, outra subida do nível. Esta segunda subida

## — Quando é que a água pára de subir?

do nível causa novamente ainda outra imersão, e por consequência outro deslocamento de líquido e uma nova subida. É óbvio que este processo deve continuar até que todo o sólido seja imerso, e que o líquido começará então a imergir o que quer que segure o sólido, e que, estando-lhe ligado, deve por sua vez ser considerado como sua parte. Se o leitor segurar uma vara, com seis pés de comprimento, com a sua extremidade num vaso de água, e esperar o suficiente, acabará por ser eventualmente imerso. A questão que diz respeito à fonte donde provém a água — que pertence a um ramo superior das matemáticas, e se acha portanto para lá do nosso presente âmbito — não se aplica ao mar. Consideremos, pois, o caso familiar de um homem de pé à beira do mar, na maré alta, com um sólido na sua mão, que parcialmente imerge: ele permanece firme e inamovível, e tudo o que sabemos é que deve acabar afogado. As multidões que perecem diariamente desta forma para atestar uma verdade filosófica, e cujos corpos as ondas irracionais impiedosamente dão às nossas costas ingratas, têm uma pretensão de serem chamados os mártires da ciência mais fundada que um Galileu ou um Kepler. Para usar a eloquente expressão de Kossuth<sup>6</sup>, são os semideuses sem nome do século dezanove<sup>7</sup>.»

— Existe uma falácia *algures* — murmurou sonolentemente, enquanto esticava as suas compridas pernas sobre o sofá. — Tenho de repensá-lo novamente. — Fechou os olhos, para concentrar a sua atenção de modo mais perfeito, e durante a hora que se seguiu, sensivelmente, a sua respiração lenta e regular testemunhou a cuidadosa deliberação com que investigava esta nova e espantosa visão do assunto. ¶

## Nó 10 — Bolos de Chelsea

*Sim, bolos e bolos e bolos!*  
*Canção antiga*<sup>8</sup>

— É tão, tão triste! — exclamou Clara; e os olhos da gentil rapariga encheram-se de lágrimas enquanto falava.

— Triste, mas muito curioso quando encaras o assunto aritmeticamente — foi a resposta menos romântica da tia dela. — Alguns deles perderam um braço a serviço do seu país, alguns uma perna, alguns uma orelha, alguns um olho...

— E se calhar alguns perderam *tudo*! — murmurou Clara, sonhadora, enquanto passavam pelas longas filas de heróis gastos pelo tempo a apanhar sol. — Reparou naquele muito idoso, com uma cara vermelha, que estava a desenhar um mapa na terra com a perna de pau, enquanto todos os outros olhavam? Eu *acho* que era um plano duma batalha...

— Da batalha de Trafalgar<sup>9</sup>, sem dúvida — interrompeu bruscamente a sua tia.

— Difilmente, imagino — aventurou-se Clara a dizer. — Está a ver, nesse caso, ele dificilmente poderia estar vivo...

<sup>5</sup> Dionysus Lardner (1793-1859), professor de filosofia natural e astronomia no University College de Londres. Defendeu, em 1838, que era impossível atravessar o Atlântico Norte em barcos a vapor; e no final da vida avisou o público contra os efeitos perniciosos para a saúde de viajar em comboios a alta velocidade, isto é, a algumas dezenas de quilómetros por hora. (N. do T.)

<sup>6</sup> Lajos Kossuth (1802-1894), advogado e político húngaro. Esteve preso por motivos políticos entre 1837 e 1840, foi ministro das finanças do primeiro governo da Hungria, sob a coroa austríaca, em 1848, e presidente da República da Hungria em 1849. Após a invasão austríaca no mesmo ano exilou-se no estrangeiro. (N. do T.)

<sup>7</sup> Acho-me em dívida por este ensaio para com um querido amigo já falecido. (N. do Autor)

<sup>8</sup> Apesar desta indicação de origem, a citação é na realidade de uma outra obra do autor, *Sylvie and Bruno* (capítulo 17). (N. do T.)

<sup>9</sup> Batalha naval travada em 1805 em que a Armada Britânica, comandada por Lord Nelson, derrotou as armadas da França e da Espanha. (N. do T.)



— Difícilmente poderia estar vivo! — repetiu a idosa senhora escarnecendo. — Ele está tão vivo como tu e eu juntas! Bem, se desenhar um mapa na areia, com a própria perna de pau, não prova que se está vivo, então há-de ter a bondade de me dizer o que é que *prova*!

Clara não viu como se desembaraçar do problema. A lógica nunca tinha sido o seu forte.

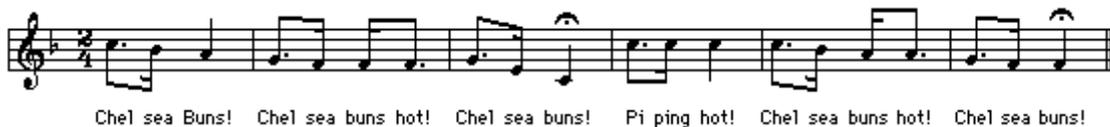
— Voltando à aritmética — continuou Mad Mathesis (a excêntrica senhora de idade nunca deixava escapar uma oportunidade de levar a sobrinha a fazer cálculos) —, que percentagem é que supões que tenha perdido as quatro coisas: uma perna, um braço, um olho e uma orelha?

— Como é que posso *saber*? — soluçou a rapariga aterrorizada. Ela sabia bem o que vinha aí.

— Claro que não podes sem dados — respondeu a tia —, mas vou mesmo agora dar-te...

— Dê-lhe um bolo de Chelsea, minha senhora! É do que as raparigas mais gostam! — A voz era rica e musical, e o interlocutor retirou dextramente o alvo pano que cobria o seu cesto, e mostrou uma tentadora formação dos familiares bolos quadrados, dispostos em filas, ricamente cobertos, a brilhar ao sol.

— Não senhor! Não lhe vou dar nada tão indigesto! Vá-se embora! — A velha senhora abanou a sombrinha ameaçadoramente: mas nada pareceu perturbar o bom humor do velho bem disposto, que continuou a andar, cantando o seu refrão melodioso<sup>10</sup>:



— Muito indigestos, minha querida! — disse a senhora de idade. — As percentagens vão-te cair muito melhor!

Clara suspirou, e tinha um olhar esfomeado nos olhos enquanto viu o cesto a desaparecer na distância; mas ouviu humildemente a incansável velha senhora, que imediatamente prosseguiu contando os dados pelos dedos.

— Digamos que 70 por cento perderam um olho; 75 por cento uma orelha; 80 por cento um braço; 85 por cento uma perna; isto serve perfeitamente. Agora, minha querida, qual a *menor* percentagem que tem de ter perdido as quatro coisas?

Não houve mais conversa — a menos que uma exclamação sufocada de «Quentes a fumar!» que escapou dos lábios de Clara quando o cesto desapareceu atrás de uma esquina possa ser considerada como tal — até que chegaram à velha mansão de Chelsea, onde o pai de Clara se encontrava então, com os seus três filhos e o seu velho tutor.

Balbus, Lambert e Hugh tinham entrado em casa apenas poucos minutos antes. Tinha estado a passear, e Hugh tinha estado a propor uma dificuldade que tinha reduzido Lambert a profundezas de tristeza, e tinha mesmo confundido Balbus.

— Muda-se de quarta-feira para quinta-feira à meia noite, não é? — tinha começado Hugh.

— Às vezes —, disse Balbus com precaução.

— Sempre —, disse Lambert com decisão.

— Às vezes —, insistiu gentilmente Balbus. — Seis noites em cada sete, muda para outro dia qualquer.

— Queria dizer, é claro — corrigiu Hugh —, que quando se *muda* de quarta para quinta, muda-se à meia noite: e *só* à meia noite.

— Com certeza — disse Balbus. Lambert ficou calado.

— Bem, suponhamos agora que é meia noite aqui em Chelsea. Então é quarta a *oeste* de Chelsea (digamos na Irlanda e na América), onde ainda não chegou a meia noite: e é quinta a *leste* de Chelsea (digamos na Alemanha ou na Rússia), onde já passou a meia noite?

— Sem dúvida — disse novamente Balbus. Mesmo Lambert acenou em aprovação desta vez.

— Mas não é meia noite em mais lugar nenhum<sup>11</sup>; de modo que não pode estar-se a mudar de dia em mais lugar nenhum. E contudo, se a Irlanda e a América e por aí adiante lhe chamam quarta, e a Alemanha e a Rússia e por aí fora lhe chamam quinta, *tem* de haver algum lugar, sem ser Chelsea, que tenha dias diferentes dos seus dois lados. E o pior disso é que as pessoas *lá* têm os dias na ordem errada: têm a quarta a *leste* deles, e a quinta a *oeste*, tal como se o dia deles tivesse mudado de quinta para quarta!

— Já ouvi essa história antes! — gritou Lambert. — E vou-te dizer qual é a explicação. Quando um navio vai à volta do mundo de leste para oeste, sabemos que ele perde um dia pelas contas dele: de modo que quando volta para casa e chama ao dia quarta, as pessoas de lá chamam-lhe quinta, porque tivemos mais uma meia noite que o navio. E se fores pelo outro lado ganhas um dia.

— Eu sei tudo isso — disse Hugh como resposta a esta explicação não muito lúcida. —, mas isso não me ajuda, porque o navio não tem dias dele. Indo por um lado, apanhas mais que vinte e quatro horas cada dia, e indo pelo outro apanhas menos: por isso é claro que os nomes ficam mal: mas as pessoas que vivem num mesmo local têm sempre vinte e quatro horas no dia.

— Julgo que *há* um lugar assim — disse Balbus, meditativamente —, embora nunca tenha ouvido falar dele. E as pessoas devem achar estranho, como o Hugh diz, ter o dia anterior a *leste* deles, e o novo a *oeste*: porque, quando a meia noite lhes chega, com o novo dia à frente e o velho atrás, não se percebe muito bem o que acontece. Tenho de

pensar mais nisso.

Assim entraram eles na casa no estado que descrevi — Balbus confundido, e Lambert mergulhado em escuros pensamentos.

— S'enhora, o senhor *está* em casa, 'nh'senhora — disse o digno e idoso mordomo. (Repare-se que só um mordomo com experiência consegue pronunciar tantas consoantes seguidas, sem quaisquer vogais interjacentes.) — E estão todos à vossa espera na belioteca.

— Não gosto que ele chame *velho*<sup>12</sup> ao teu pai — sussurrou Mad Mathesis à sobrinha, enquanto atravessavam o átrio. E Clara só teve tempo de sussurrar como resposta «ele queria dizer *todos*» antes de serem conduzidas à biblioteca, e a vista das cinco caras solenes aí reunidas reduziu-a ao silêncio.

O seu pai estava sentado no topo da mesa, e mudamente fez sinal às senhoras para tomarem os dois assentos vazios, um de cada um dos seus lados. Os seus três filhos e Balbus completavam o conjunto. Tinha sido dispostos à volta da mesa materiais de escrita, como se se tratasse de um banquete para fantasmas: o mordomo tinha evidentemente concedido muita atenção a conceber tal crueldade. Folhas de papel de quarto, cada uma delas flanqueada por uma caneta num dos lados e por um lápis no outro, representavam os pratos — o papel mata-borrão fazia as vezes de pãezinhos — enquanto que nos lugares habitualmente ocupados pelos copos de vinho havia tinteiros. A *pièce de résistance* era um enorme saco de feltro verde, que emitia, à medida que o idoso homem o levantava sem parar de um lado para o outro, uma agradável sonoridade, como a de inumeráveis guinéus de ouro.

— Minha irmã, minha filha, meus filhos... e Balbus... — começou o velho homem, tão nervosamente que Balbus fez

<sup>10</sup> Este pregão significa: «Bolos de Chelsea! Bolos quentes de Chelsea! Bolos de Chelsea! Quentes a fumar! Bolos quentes de Chelsea! Bolos de Chelsea!» (N. do T.)

<sup>11</sup> Entenda-se: em mais lugar nenhum que se não ache à mesma longitude. (N. do T.)

<sup>12</sup> Jogo de palavras intraduzível entre *whole* (inteiro, completo) e *old* (velho). (N. do T.)

soar um simpático «Apoiado, apoiado!» enquanto Hugh tamborilava na mesa com os punhos. Isto desconcertou o orador pouco praticado. — Minha irmã... — começou ele novamente, depois parou um momento, mudou o saco para o outro lado, e continuou apressado — Quero dizer... sendo esta... uma ocasião crítica... mais ou menos... sendo o ano em que um dos meus filhos atinge a maioria<sup>13</sup>... — Fez novamente uma pausa com alguma confusão, tendo evidentemente chegado a meio do seu discurso mais depressa do que tencionava: mas era tarde demais para voltar atrás. «Apoiado, apoiado!», gritou Balbus. — Isso mesmo — disse o idoso cavalheiro, recobrando um pouco o auto-controlo: — quando eu comecei com este hábito anual... o meu amigo Balbus há-de corrigir-me se eu estiver enganado... — (Hugh sussurrou «Com um cinto!» mas ninguém o ouviu senão Lambert, que só franziu o sobrolho e lhe abanou a cabeça.) — Este hábito anual de dar a cada um dos meus filhos tantos guinéus quanto o número de seus anos de idade... foi uma altura crítica... foi o Balbus que me disse... como as idades de dois de vocês juntas eram iguais à do terceiro... de modo que nessa ocasião fiz um discurso... — Fez uma pausa tão longa que Balbus houve por bem ir em seu auxílio com as palavras «Foi bastante...», mas o velho fê-lo parar com um olhar de aviso: — Sim, fiz um discurso — repetiu ele. — Uns anos depois, Balbus fez-me ver... quero dizer que ele me fez ver... — («Apoiado, apoiado!», gritou Balbus. «Isso mesmo», disse o homem idoso agradecido.) — ...que era *outra* ocasião crítica. As idades de dois de vocês juntas eram o *dobro* da do terceiro. Por isso fiz outro discurso... outro discurso. E agora é outra vez uma ocasião crítica... é o que o Balbus diz... e estou... — (Neste momento Mad Mathesis consultou reprovadamente o seu relógio.) — a ir tão depressa quanto posso! — disse o idoso homem, com maravilhosa presença de espírito. — De facto, irmã, estou agora a chegar ao âmago da questão! O número de anos que passou desde essa primeira ocasião é exactamente dois terços do número de guinéus que então vos dei. Agora, rapazes, calculem as vossas idades a partir dos dados, e eu mostro-vos o dinheiro!

— Mas nós *sabemos* as nossas idades! — gritou Hugh.

— Silêncio, cavalheiro! — trovejou o velho, levantando-se em toda a sua altura (tinha exactamente cinco pés e cinco polegadas<sup>14</sup>) na sua indignação. — Estou a dizer que só podem usar os dados! Nem sequer devem assumir *qual* é que atinge a maioria! — Agarrou o saco enquanto falava, e, com passos vacilantes (carregar com ele estava no limite das suas possibilidades), deixou o quarto.

— E *tu* terás um presente semelhante — sussurrou a idosa senhora à sua sobrinha — quando tiveres calculado aquela percentagem! — E seguiu o seu irmão.

Nada poderia exceder a solenidade com que o velho casal se levantara da mesa, e contudo teria... teria sido com um *sorriso* que o pai se afastara dos seus infelizes filhos? Poderia... poderia ter sido com um *piscar de olhos* que a tia abandonou a sua desesperada sobrinha? E seriam... seriam um *riso* abafado suprimido aqueles sons que fluturam na sala, mesmo antes de Balbus (que os tinha seguido) ter fechado a porta? Certamente que não: e contudo o mordomo disse à cozinheira... mas não, isso foi apenas coscuvilhice reprovável, e não vou repeti-la.

As sombras da noite<sup>15</sup> deferiram a sua petição não pronunciada, e não se fecharam sobre eles (pois o mordomo trouxera a lâmpada): as mesmas prestáveis sombras deixaram-nos com um ladrar<sup>16</sup> solitário (o latido de um cão, no pátio, que uivava à lua) por um pouco: mas nem a manhã, oh!, nem outra hora parecia poder trazê-los de volta — àquela paz de alma que fora deles outrora, e antes de esses problemas se terem precipitado sobre eles, e os terem esmagado com

uma carga de mistério impenetrável!

— Não é justo — murmurou Hugh — darem-nos uma trapalhada destas para resolver!

— Justo! — ecoou amargamente Clara. — Bem!

E a todos os meus leitores só posso repetir as últimas palavras da gentil Clara<sup>17</sup>:

ADEUS!



**— Agora, rapazes, calculem as vossas idades a partir dos dados, e eu mostro-vos o dinheiro!**

**— Mas nós sabemos as nossas idades! — gritou Hugh.**

**— Silêncio, cavalheiro! Estou a dizer que só podem usar os dados!**

## Apêndice

— *Um nó!* — disse Alice — *Oh, deixa-me desfazê-lo!*<sup>18</sup>

### Respostas ao nó 8

#### § 1. Os porcos

Problema — Coloque vinte e quatro porcos em quatro pocilgas de tal modo que, quando andar continuamente à volta<sup>19</sup>, encontre sempre em cada pocilga um número mais próximo de dez que na pocilga anterior.

Resposta<sup>20</sup> — Coloque 8 porcos na primeira pocilga, 10 na segunda, nada na terceira, e 6 na quarta: 10 está mais perto de dez que 8; nada está mais perto de dez que 10; 6 está mais perto de dez que nada; e 8 está mais perto de dez que 6.

#### § 2. Os qurumestípitos

Problema — De um certo ponto partem americanos, em ambos os sentidos, a cada 15 minutos. Um viajante, partindo a pé ao mesmo tempo que um deles, cruza-se com um em 12 1/2 minutos: quando é que será apanhado por um?

Resposta — Em 6 1/4 minutos.

Solução — Seja *a* a distância percorrida por um americano em 15 minutos, e *x* a distância da posição inicial ao ponto onde o viajante é apanhado. Dado que o americano com que se cruzou deve estar no ponto de partida em 2 1/2 minutos, percorre nesse tempo a distância que o viajante percorreu em 12 1/2; isto é, anda 5 vezes mais depressa. Ora o americano que há-de apanhar o viajante está a uma distância *a* dele quando ele começa a andar, e portanto percorre *a+x* enquanto ele percorre *x*. Logo  $a+x = 5x$ ; isto é,  $4x = a$ , e  $x = a/4$ . Esta distância seria percorrida por um americano em 15/4 minutos, e portanto pelo viajante em  $5 \times 15/4$  minutos. Logo este é apanhado 18 3/4 minutos depois de começar a andar, isto é, 6 1/4 minutos depois de se cruzar com o americano. 

<sup>13</sup> A maioria atinge-se então aos 21 anos. (N. do T.)

<sup>14</sup> A título informativo, o pé tem doze polegadas; e portanto a altura referida corresponde a 1,651 m. (N. do T.)

<sup>15</sup> O parágrafo que se segue contém diversas citações da letra da canção *Isle of beauty*, do poeta inglês Thomas Haynes Bayly (1797-1839), que começa com os versos: *Ó sombras da noite, não vos fecheis sobre nós: / deixai a nossa solitária barca ainda por um pouco! / A manhã, oh!, não nos trará de volta / àquela ilha distante e enevoadada. / Mesmo assim o meu desejo consegue descortinar / raios de sol sob os quais poderão estar amigos. / Sobre nós se cerram sombrias trevas; / adeus, ó ilha da beleza!* (N. do T.)

<sup>16</sup> Jogo de palavras intraduzível entre *bark* (barca) e *bark* (ladrar). (N. do T.)

<sup>17</sup> Jogo de palavras intraduzível entre *fair* (justo) e *well* (bem) por um lado, e *fare-well* (adeus) por outro. (N. do T.)

<sup>18</sup> Lewis Carrol (1832-1898), *As aventuras de Alice no País das Maravilhas*, capítulo 3. (N. do T.)

<sup>19</sup> Recorde-se que as quatro pocilgas se achavam nos quatro cantos de um pátio. (N. do T.)

<sup>20</sup> Este é mais um problema de natureza semelhante ao dos Kgovnianos que tinham sessenta mil libras esterlinas entre eles, no nó 6. (N. do T.)



## Temperamento das notas, parte 2 — o regresso

Tínhamos visto há dois artigos atrás que se conseguiam arranjar doze sons em cada oitava — mas vimos no artigo anterior que os gregos só se serviam de sete. Só que, quando alguém se começou a lembrar de transportar músicas (como vimos há dois artigos atrás) para cima ou para baixo, começaram a aparecer os tais cinco sons que os gregos não usavam.

### Tons e meios tons

Um exemplo: considera uma melodia que começa pelas notas Do—Si—Do—Re. Imagina que queremos que passe a começar em Sol. De Do a Re vai um tom, e de Sol a La também, pelo que o Re passa a ser La; mas de Do a Si só vai meio tom, enquanto de Sol a Fa vai um tom, pelo que o Si não pode passar a ser Fa... Tem de ser qualquer coisa mais aguda que o Fa mas mais grave que o Sol.

É por isso que os meios tons se chamam meios tons. Alguém reparou que no meio do Fa e do Sol ainda se lá conseguia meter mais um som no meio, e também entre o Sol e o La, e entre o La e o Si, e entre o Do e o Re, e entre o Re e o Mi. Entre o Mi e o Fa e entre o Si e o Do é que isso não dava.

Então, disse-se que a tal nota que estava no meio do Do e do Re estava meio tom acima do Do, e meio tom abaixo do Re...

À diferença de alturas entre as notas no meio das quais cabia uma nova nota chamou-se um tom.

### As alterações

O remédio que se arranjou para lidar com estas novas notas que apareciam no meio das sete que vinham do tempo dos gregos foi inventar as alterações. O sustenido (#), aplicado a uma nota, sobe-lhe meio tom; o bemol (b), aplicado a uma nota, desce-lhe meio tom.

Assim, a tal nota no meio do Do e do Re tanto pode ser o Do# como o Reb. Repara que o Mi# vai dar o mesmo que o Fa. Aliás, a maioria das doze notas de uma oitava fica com dois nomes diferentes, como podes ver:

Si#	Do#	Re	Re#	Mi	Mi#	Fa#	Sol	Sol#	La	La#	Si	Si#
Do	Reb		Mib	Fab	Fa	Solb		Lab		Si	Do	

Tabela 1 — As notas numa oitava.

Nos teclados dos pianos, dos órgãos, dos acordeões e demais trastes do género, as sete notas dos gregos são tocadas com as teclas brancas. As notas que ficam no meio, e que só se obtêm com sustenidos e bemóis, tocam-se com as teclas pretas.

### Uma vez mais, o temperamento...

Ora bem: o Do# só é o mesmo som que o Reb se os intervalos forem temperados... Vamos lá ver, usando agora as proporções dos gregos (que vêm na tabela seguinte, iguazinhas às de uma tabela do artigo anterior), qual é a razão das frequências de duas notas sucessivas:

Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
—	12,5%	11,1%	6,7%	12,5%	11,1%	12,5%	6,7%

Tabela 2 — Aumentos percentuais da frequência para as notas dos gregos

Repara que nem sequer os intervalos de um tom são todos exactamente iguais! E depois, se se definisse meio tom como uma diferença de alturas de 6,7%, que é o que há entre o Mi e o Fa e entre o Si e o Do, como isso é mais de metade da diferença de alturas entre o Do e o Re, o resultado é que o Do# era um tudo nada mais agudo que o Reb... Mas a diferença seria tão pequena que ninguém notaria. Entre o Re e o Mi também se passaria o mesmo, e entre as outras notas que diferiam de um tom também.

Por esse motivo, seria preciso haver *duas* teclas pretas entre as teclas brancas do Do e do Re, e entre as teclas brancas do Re e do Mi, e por aí fora... Isso era uma grande confusão, e foi um dos principais motivos que levou ao temperamento dos intervalos.

A princípio ainda houve quem achasse que bastava temperar as notas que resultavam do uso de alterações... A ideia era manter as proporções dos gregos, às quais já toda a gente estava habituada. Depois, em vez de se dizer que o Do# era meio tom acima do Do e o Reb meio tom abaixo do Re, sendo o meio tom a proporção que vai do Mi ao Fa, a ideia era dividir o intervalo de Do para Re ao meio. Como queremos aplicar a mesma proporção duas vezes, isso corresponde à *média geométrica* das proporções originais. (A média geométrica de dois números *a* e *b* é  $\sqrt{(a \times b)}$ ) Um exemplo: o Re tem uma frequência 1,125 vezes maior que o Do. Ora,  $\sqrt{1,125} \approx 1,061$ . Portanto, o Do# e o Reb teriam uma frequência 1,061 vezes maior que o Do, ou 1,061 vezes menor que o Re. Faz a conta, e verás que dá o mesmo.

O problema disto era, como de costume, a transposição. Já não bastava os intervalos de um tom não serem todos iguais. Agora com esse método de temperar só umas poucas de notas nem os meios tons escapavam, e uns eram maiores que os outros... Assim, ao transpor, as diferenças de alturas mudavam ligeiramente. É a tal coisa: as diferenças são tão poucas que não se ouvem. Mas para quê ter todas estas proporções diferentes? Para manter exactas as que vinham do tempo dos gregos? Depois ao transpor uma música para cima ou para baixo essas proporções exactas perdiam-se... A única coisa razoável a fazer é mesmo uniformizar os meios tons todos, como fizemos no último artigo, ou, por outras palavras, *repartir o mal pelas aldeias*, sendo as aldeias neste caso os intervalos de meio tom, e sendo o mal aquelas diferenzecas de altura que não chegam a nada.

E assim se acabou por adoptar o meio tom de  $1:12\sqrt{2}$ .

### Mais sobre notação musical

Até aqui temos vindo sempre a representar as notas na pauta com uma bolinha. Ora, o feito da bolinha dá-nos informações sobre a duração do som. Mas isso já não tem a ver com Ciência, é uma mera convenção; e podes encontrar a descrição dessas

*figuras das notas* em qualquer reles livro de teoria musical elementar. Também lá hão-de vir as *figuras das pausas* (que às vezes na música há silêncio por um bocadinho), e as indicações (que geralmente são abreviadas) para indicar a *intensidade dos sons*.



Figura 1 — Uma terceira.



Figura 2 — Uma quarta.



Figura 3 — Uma segunda.

### Intervalos

Para acabar de responder às perguntas que ficaram no artigo de há dois números atrás, eis o motivo pelo qual se fala em *somar* e *subtrair* intervalos quando na verdade se está mas é a multiplicar e dividir em vez de somar e subtrair...

Não é o só o intervalo de oitava que tem um número. Na verdade, *todos* têm. Considera o intervalo entre um Mi qualquer, e o Sol, mais agudo que esse Mi, que vem logo a seguir (é o caso da Figura 1). Então, contamos Mi—Fa—Sol: são três notas, e o intervalo é uma terceira.

Da mesma maneira, considera o intervalo da Figura 2: contamos Re—Do—Si—La, isto é, quatro notas, e dizemos que é uma quarta (descendente, neste caso).

Ou então o da Figura 3: há duas notas, o Sol e o La, e dizemos que o intervalo é uma segunda (ascendente).

Vejamos então o intervalo que resulta de subir uma terceira e depois uma segunda. Começemos no Mi: depois da terceira, temos um Sol; agora vem a segunda, e chegamos ao La.

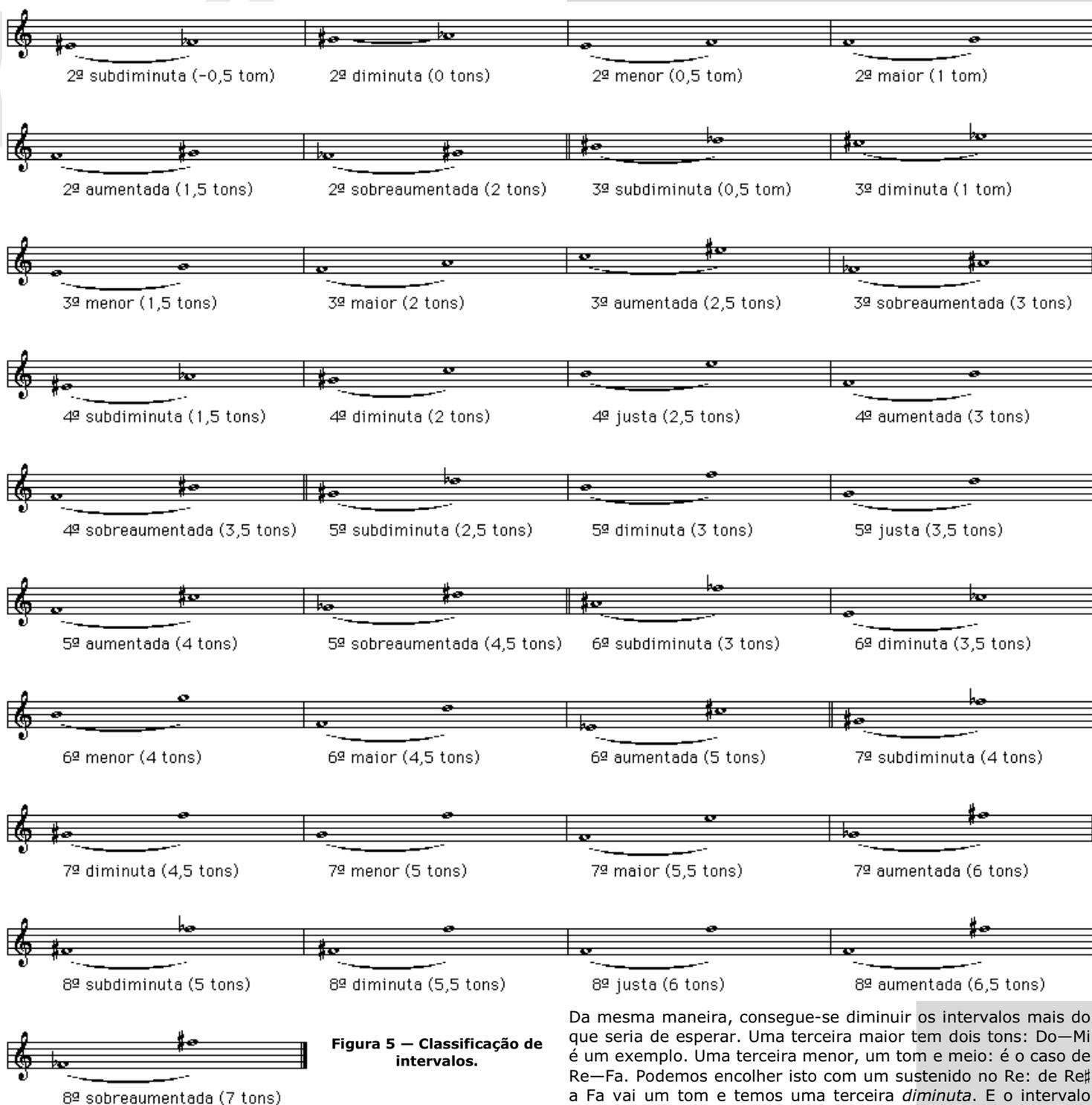


Figura 5 – Classificação de intervalos.

Mi—Fa—Sol—La são quatro notas: é uma quarta. Ora  $3+2-1 = 4$ . A regra é esta: somamos os números de ordem dos intervalos, e subtraímos 1 no fim.

Subtraímos 1, porquê? Porque senão estávamos a contar duas vezes com a nota em que acaba o primeiro intervalo e começa o segundo...

Mais um exemplo. Pegamos nessa tal quarta, que vai do Mi ao La, e descemos uma oitava. Desta vez o 8 da oitava vem com o sinal menos: -8, porque estamos a descer. Então  $4-8-1 = -5$ : o resultado é uma quinta. E, de facto, Mi—Re—Do—Si—La são cinco notas.

### E ainda mais intervalos

Claro que já deves ter reparado que uma segunda tanto pode corresponder a um tom (caso do intervalo Do—Re) como a um meio tom (caso do intervalo Mi—Fa). Para distinguir os dois casos, chama-se segunda *maior* ao intervalo com um tom e segunda *menor* ao intervalo só com meio tom.

Repara que, com as alterações, ainda se consegue esticar mais uma segunda: de Do a Re $\sharp$  temos um tom e meio! A esse caso chama-se segunda *aumentada*. E de Do $\flat$  a Re $\sharp$  já vão dois tons, e temos uma segunda *sobreaumentada*.



Figura 4 – Uma quarta, uma oitava, uma quinta.

Da mesma maneira, consegue-se diminuir os intervalos mais do que seria de esperar. Uma terceira maior tem dois tons: Do—Mi é um exemplo. Uma terceira menor, um tom e meio: é o caso de Re—Fa. Podemos encolher isto com um sustenido no Re: de Re $\sharp$  a Fa vai um tom e temos uma terceira *diminuta*. E o intervalo Re $\sharp$ —Fab só tem meio tom e chama-se terceira *subdiminuta*.

E na Figura 5 tens a lista dos nomes que qualificam os intervalos.

### Foste enganado

Usando só as sete notas dos gregos, conseguem arranjar-se (entre outros) os intervalos da Tabela 3. As proporções dessa tabela são aquelas que os gregos usavam, portanto sem temperamento nenhum.

Ora bem: todos estes intervalos soam bem. E quatro deles usam proporções que envolvem o número 5, e não apenas os números 2 e 3, que são os únicos que usámos no artigo anterior. Ora, logo no princípio deste artigo dissemos que os gregos chegaram a essas proporções porque elas são boas aproximações de outras, que só usam potências de 2 e de 3. Será verdade? Ou será que chegaram lá porque as proporções que metem o 5 também soam bem?

Enfim, para dizer a verdade, e embora seja sempre difícil mostrar qual é o caso, porque como são muito próximas mal se distinguem, e portanto é difícil dizer se uma proporção soa bem por si própria ou por ser aproximação doutra, tudo leva a crer que efectivamente as proporções que metem o 5 soam bem por

meterem o 5, e não por serem aproximações de outras proporções que só envolvem o 2 e o 3. A história foi apresentada de outra maneira, mas foi de propósito. Pessoalmente acho mais claro fazer as contas todas só com o 1, o 2 e o 3, e não meter o 5 ao barulho logo, senão ficava tudo logo ainda mais complicado do que já foi.

Mas há que reconhecer que *todas* as proporções que envolvem o 1, o 2, o 3 e o 5 podem ser obtidas a partir daquelas que vêm na Tabela 3, somando e subtraindo intervalos. Isto leva a crer que esses quatro numeritos têm alguma propriedade especial para os nossos ouvidos. Ora, talvez valha a pena notar que o 1, o 2, o 3 e o 5 são os quatro primeiros números primos. Curiosamente, quando se mete o número 7 ao barulho — literalmente... nas proporções —, o resultado são uns intervalos que não soam nada bem. E para os primos a seguir, idem. Portanto, esses quatro números têm *mesmo* alguma coisa de especial...

### Cenas do próximo capítulo

No próximo artigo (quando quer que a próxima Ciência] saia) vamos ver como é que se pode pôr um computador a compor músicas sozinho.

Terceira menor — 1:1,2 = 5:6
Terceira maior — 1:1,25 = 4:5
Quarta justa — 1:1,(3) = 3:4
Quinta justa — 1:1,5 = 2:3
Sexta menor — 1:1,6 = 5:8
Sexta maior — 1:1,(6) = 3:5
Oitava justa — 1:2

### Se queres saber mais... Tabela 3 — Intervalos que soam bem.

E se entretanto queres saber mais, e se tens mesmo muuuuuuuuita curiosidade sobre a Ciência que está por detrás da Música, então um dos melhores livros que podes encontrar é a gigantesca e completíssima *Encyclopedia of Acoustics*, em quatro volumes, coordenados por Malcolm Crocker, e editados pela John Wiley and Sons em 1997. (Não, isto não está tudo na Internet... tens mesmo de ir a uma biblioteca. E convém saberes um bocado de Análise Matemática antes de leres alguns dos cento e tal capítulos da obra.)

## BKD

por Duarte Valério

### Resolução dos problemas do número 31

#### Os caracóis

Um caracol empreendeu a subida de uma pilha de 10 tijolos. Consegue subir 4 tijolos em uma hora. Todavia, como o esforço é muitíssimo cansativo para um pobre caracol, tem de dormir a hora seguinte, durante a qual perde as forças e escorrega três tijolos. De quanto tempo precisa para chegar ao cimo dos 10 tijolos?

A altura  $h$ , em tijolos, em que o caracol se acha ao fim de  $t$  horas é, **se  $t$  for par**, dada por

$$h(t) = t / 2 \text{ tijolos, se } t \text{ for par}$$

**Se  $t$  for ímpar**, a altura é quatro tijolos superior àquela alcançada uma hora antes:

$$h(t) = (t-1)/2 + 4 \text{ tijolos, se } t \text{ for ímpar}$$

O menor valor de  $t$  para o qual  $h = 10$  é

$$(t-1)/2 + 4 = 10 \Leftrightarrow (t-1)/2 = 6 \Leftrightarrow t-1 = 12 \Leftrightarrow t = 13 \text{ horas}$$

#### Pensar...

Tenho um mapa de Portugal sobre o comprido onde foram feitas 3 dobras. Cada uma das partes pode dobrar-se para os 2 lados. De quantas formas diferentes posso dobrar o mapa?

Com três dobras o mapa acha-se dividido em quatro partes. Sejam elas  $a, b, c, d$ . É possível dispô-las pela ordem que nos aprouver. Qual é o número de disposições diferentes? Para a primeira parte há quatro hipóteses; para a segunda só três; para a terceira só dois; e para a última não há escolha. O total é assim de  $4 \times 3 \times 2 \times 1 = 4! = 24$  disposições.

Neste momento devemos reparar que para nós a ordem  $a, d, b, c$  é a mesma que a ordem  $c, b, d, a$ . Basta virar o mapa de cima para baixo para passar de uma para a outra. O mesmo sucede

com cada uma das outras 24 hipóteses. Portanto dessas todas só nos aproveitam  $24 / 2 = 12$ .

Finalmente devemos reparar que para uma mesma ordem podemos virar o mapa do avesso, isto é, dobrar cada dobra no sentido contrário. O resultado final terá as quatro partes do mapa pela mesma ordem, mas as faces adjacentes já não serão as mesmas. Como isso sucede para cada disposição do mapa, e há duas possibilidades para cada uma, existem então  $2 \times 12 = 24$  maneiras diferentes de dobrar o mapa.



O número de aviões é obviamente cinquenta, como é dito no enunciado! Mas não percebo como é que sendo cinquenta podem voar nessa formação, visto que numa disposição em triângulo equilátero há  $k$  aviões na fila  $k$ , e portanto, se houver  $f$  filas, o número de aviões  $n$  é

$$n = \sum_{k=1}^f k$$

Ora, na primeira e na última filas há  $1+f$  aviões. Na segunda e na penúltima há  $2+(f-1) = 1+f$  aviões. Na terceira e na antepenúltima há  $3+(f-2) = 1+f$  aviões. E por assim adiante. Isso significa que o total de aviões é o mesmo que na situação em que, em cada fila, existe um número constante de aviões, que é a média aritmética do número de aviões na primeira e na última (ou na segunda e na penúltima, ou na terceira e na antepenúltima, e por assim adiante; e isto é verdade mesmo que a média dê qualquer coisa e meio avião). Assim

$$n = f(1+f) / 2 = (f^2 + f) / 2$$

$$\text{Ora se } n = 50, \text{ vem } f^2 + f - 100 = 0 \Leftrightarrow f = (-1 \pm \sqrt{1+400}) / 2$$

E visto que  $\sqrt{401}$  não é um número inteiro, concluímos que 50 aviões não se conseguem distribuir como indicado. Julgo que o Hugo se deve ter enganado com este problema.

## Avulso

### continuação do artigo «Visão artificial» na página 11

doutorado em biofísica e detentor de um currículo invejável, se dedica a esta tarefa, tendo conseguido desenvolver o sistema que actualmente Jens e outros 14 pacientes já estão a utilizar.

Dobelle é um homem determinado, «se alguma é impossivelmente difícil eu tento». E foi desta forma que na década de 70, apenas com 27 anos, começou a trabalhar no projecto utilizando «computadores do tamanho de um pequeno edifício». Só mais tarde, quando a tecnologia evoluiu, foi possível tornar o sistema portátil.

Em 2000, Dobelle e a sua equipa publicam um artigo sobre o sistema de visão artificial no *ASAIIO Journal*. Já tinham sido implantados vários pacientes, uns temporariamente, outros de forma definitiva, sendo que não foi detectada nenhuma rejeição do mecanismo pelo organismo destes pioneiros.

O neurocirurgião João Lobo Antunes é quem lidera a equipa médica encarregada de implantar os eléctrodos no córtex visual dos pacientes. Colabora com Dobelle há cerca de seis anos. A paixão nasceu na John Hopkins University, em Nova Iorque, quando em 1975 se conheceram. Com o passar dos anos, esta ligação transformou-se numa relação de confiança tal que Dobelle decidiu abrir um delegação do seu Instituto em Portugal — no sétimo piso do Hospital CUF Infante Santo — durante o ano passado. João Lobo Antunes havia regressado às origens e Dobelle não quis ficar sem «um dos melhores neurocirurgiões que conheço».

# Um conto enredado

por Lewis Carroll (tradução de Duarte Valério)

## Apêndice

— Um nó! — disse Alice — Oh, deixa-me desfazê-lo! <sup>1</sup>

### Respostas ao nó 9

#### § 1. Os baldes

Problema — Lardner afirma que um sólido, imerso num fluido, desloca um volume igual ao seu. Como pode isto ser verdade no caso de um balde pequeno que flutua num maior?

Resposta — Por «desloca», Lardner quer dizer «ocupa um espaço que poderia ser preenchido com água sem alteração no meio circundante». Se a porção do balde que flutua, que se acha acima da água, pudesse ser aniquilada, e o resto transformado em água, a água circundante não mudaria de posição: o que concorda com a afirmação de Lardner.

#### § 2. O ensaio de Balbus

Problema — Balbus afirma que se um dado sólido for imerso num dado vaso de água, a água subirá segundo uma série de distâncias de duas polegadas, uma polegada, meia polegada, etc., série essa que é infinita. Ele conclui que a água subirá sem limite. Isto é verdade?

Resposta — Não. Esta série nunca pode atingir 4 polegadas, porque, qualquer que seja o número de termos que tomemos, estamos sempre a menos de 4 polegadas por uma distância igual ao último termo somado<sup>2</sup>.

#### § 3. O jardim

Problema — Um jardim oblongo, cujo comprimento é meia jarda maior que a largura, consiste inteiramente num caminho de gravilha, arranjado em espiral, com uma jarda de largura e 3630 jardas de comprimento. Ache as dimensões do jardim.

Respostas — 60; 60 1/2.

Solução — O número de jardas e fracções de jarda percorridas ao caminhar ao longo de um troço rectilíneo do caminho é evidentemente o mesmo que o número de jardas quadradas e de fracções de jarda quadrada contidas nesse troço do caminho: e a distância percorrida ao passar por uma jarda quadrada num canto é evidentemente uma jarda. Logo a área do jardim é de 3630 jardas quadradas: isto é, se  $x$  for a largura,  $x(x + 1/2) = 3630$ . Resolvendo esta quadrática<sup>3</sup>, achamos  $x = 60$ . Logo as dimensões são 60 e 60 1/2.

### Respostas ao nó 10

#### § 1. Os pensionistas de Chelsea

Problema — Se 70 por cento perderam um olho, 75 por cento uma orelha, 80 por cento um braço, 85 por cento uma perna: que percentagem *mínima* tem de ter perdido os quatro?

Resposta — Dez.

Solução — Somando as feridas todas, obtemos  $70 + 75 + 80 + 85 = 310$ , em 100 homens; o que dá 3 a cada, e 4 a 10 homens. Logo a menor percentagem é 10.

#### § 2. Mudança de dia

Tenho de adiar, *sine die*, o problema geográfico — parcialmente porque ainda não recebi as estatísticas que aguardo, e parcialmente porque me encontro a mim mesmo tão completamente confundido por ele; e quando um examinador se encontra ele próprio a oscilar tão obscuramente entre uma

segunda classe e uma terceira, como há-de ele decidir da posição de outros<sup>4</sup>?

#### § 3. As idades dos filhos

Problema — Inicialmente, duas idades são conjuntamente iguais à terceira. Alguns anos depois, duas delas são conjuntamente o dobro da terceira. Quando o número de anos decorrido desde a primeira ocasião é dois terços da soma das idades de então, uma idade é 21. Quais são as outras duas?

Resposta — 15 e 18.

Solução — Sejam as idades iniciais  $x$ ,  $y$ ,  $(x+y)$ . Agora, se  $a+b = 2c$ , então  $(a-n) + (b-n) = 2(c-n)$ , qualquer que seja o valor de  $n$ . Logo, a segunda relação, se alguma vez foi verdadeira, foi sempre verdadeira. Logo era verdadeira no início. Mas não pode ser verdade que  $x$  e  $y$  sejam conjuntamente o dobro de  $(x+y)$ . Logo isso deve ser verdade de  $(x+y)$  juntamente com  $x$  ou  $y$ ; e não importa qual tomemos. Assumimos, pois,  $(x+y) + x = 2y$ ; isto é,  $y = 2x$ . Portanto as três idades eram, inicialmente,  $x$ ,  $2x$ ,  $3x$ ; e o número de anos desde essa ocasião é dois terços de  $6x$ , isto é,  $4x$ . Logo as idades actuais são  $5x$ ,  $6x$ ,  $7x$ . As idades são claramente inteiros, dado que este é o único «ano em que um dos meus filhos atinge a maioridade». Logo  $7x = 21$ ,  $x = 3$ , e as outras idades são 15 e 18.

Aproveito esta oportunidade<sup>5</sup> para agradecer àqueles que, juntamente com as suas respostas ao décimo nó, lamentaram que não houvesse mais nós vindouros, ou pediram que reconsiderasse a minha resolução de lhes colocar um fim. Fico agradecidíssimo pelas suas amáveis palavras; mas penso ser mais sábio pôr fim àquilo que, na melhor das hipóteses, não foi senão uma tentativa coxa. A «métrica exagerada de uma canção antiga<sup>6</sup>» achase para além das minhas capacidades; e as minhas marionetas nem se achavam distintamente *dentro* da minha vida (como aqueles a quem agora me dirijo), nem bem distintamente *fora* dela (como Alice ou a Falsa Tartaruga<sup>7</sup>). Deixa-me porém acreditar ao menos, querido leitor, que ao pousar a caneta levo comigo para a minha vida silenciosa um sorriso de despedida da tua face que não vi e um simpático aperto de despedida da tua mão que não senti! E assim, boa noite! A despedida é uma mágoa tão doce que direi «boa noite!» até chegar a manhã. ¶

<sup>1</sup> Lewis Carroll (1832-1898), *As aventuras de Alice no País das Maravilhas*, capítulo 3. (N. do T.)

<sup>2</sup> Aliás, esta série geométrica tem por soma de *todos* os seus termos a razão entre o primeiro termo e 1 menos a razão, isto é, neste caso,  $2 / (1 - 0,5) = 4$ . Portanto só somando todos os termos da série se pode chegar a 4 polegadas. (N. do T.)

<sup>3</sup> Há também uma solução negativa, que neste caso deve, claro, desprezar-se. (N. do T.)

<sup>4</sup> Esta indecisão do autor não tem razão de ser desde que o problema foi resolvido pela adopção da Linha Internacional de Mudança de Data. «A bissecção do Pacífico pela Linha Internacional de Mudança de Data significa que (...) a hora (ao contrário da data) avança da esquerda para a direita. (...) apesar do seu título, a Linha Internacional de Mudança de Dia não tem estatuto no direito internacional e oscila para se adaptar à conveniência local. O uso normal faz coincidir a secção central com o meridiano de 180º; no norte faz uma curva para Oeste (para incluir as Aleutas com o Alasca); e no sul faz uma curva muito mais pequena para Leste (para incluir Tonga e Chatã com a Nova Zelândia).» (Colin McEvedy, *The Penguin Historical Atlas of the Pacific*) Para mais informações sobre o assunto veja-se o artigo «Afinal foram só 79 dias!» de Rudolf Appelt, publicado no número 27 (Maio-Junho de 2002) da revista *Ciência*. (N. do T.)

<sup>5</sup> Isto escreve o autor no fim de toda a obra, após comentar todas as resoluções recebidas. (N. do T.)

<sup>6</sup> William Shakespeare (1564-1616), *Sonetos*, 17. (N. do T.)

<sup>7</sup> Personagens do livro do autor *As aventuras de Alice no País das Maravilhas*. (N. do T.)



A falsa tartaruga, Alice e o grifo

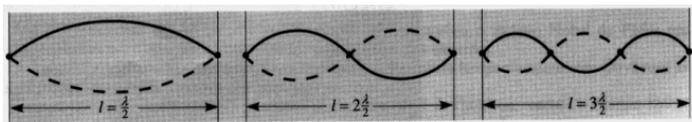


Esta secção publica extractos do trabalho intitulado «Átomo», que foi apresentado no 20º Encontro Juvenil de Ciência.

## A Mecânica Quântica

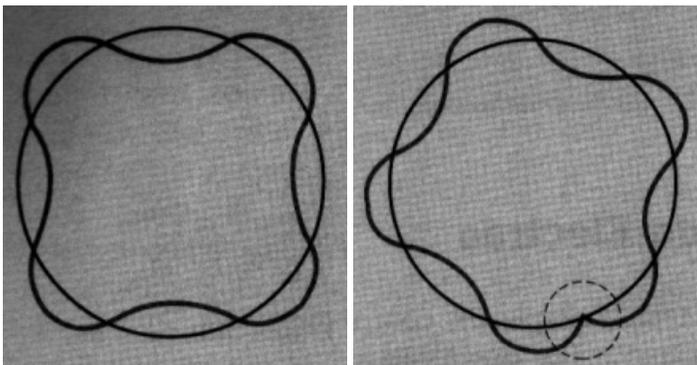
### A dualidade onda-partícula

Em 1924 várias perguntas continuavam sem resposta. Uma delas era por que é que o electrão ficava obrigado a orbitar em torno do núcleo a distâncias definidas. Foi nessa ano que Louis Victor Pierre Raymond, duque de Broglie e físico francês, arranhou uma solução para este enigma. Ele pensou que se as ondas de luz se podem comportar como fotões (feixes de partículas), então talvez algumas partículas como os electrões possam ter propriedades ondulatórias. De acordo com De Broglie, um electrão ligado ao núcleo comporta-se como uma onda estacionária. Um exemplo flagrante de uma onda estacionária é, por exemplo, o dedilhar de cordas de viola. As ondas são descritas como estacionárias porque não se propagam ao longo da corda. Alguns pontos dessa mesma corda nem sequer se movem, são os nodos. Nestes pontos a amplitude da onda é nula. Existe sempre um nodo em cada extremidade, podendo existir outros nodos entre eles. Quanto maior a frequência de vibração, menor o comprimento de onda da onda estacionária e maior o número de nodos. Mas como a onda do electrão não se pode fechar em si mesma, apenas são permitidos ao electrão alguns comprimentos de onda.



As ondas geradas pela vibração de uma corda de viola. Cada ponto representa um nodo. O comprimento da corda ( $l$ ) deve ser igual a um número inteiro de metades do comprimento de onda ( $\lambda/2$ ).

De Broglie esclareceu que se um electrão se comporta como uma onda estacionária no átomo de hidrogénio, o comprimento da onda tem de se ajustar perfeitamente à circunferência da órbita, caso contrário a onda iria sendo parcialmente anulada em órbitas sucessivas e eventualmente a amplitude da onda seria reduzida a zero. Neste caso a onda deixaria de existir.



A figura da esquerda representa a circunferência da órbita. Esta é igual a um número inteiro de comprimentos de onda e, portanto, é uma órbita permitida. Na figura da direita, a circunferência da órbita já não é igual a um número inteiro de comprimentos de onda. Como resultado, a onda do electrão não se fecha em si mesma. Esta é uma órbita proibida.

A relação existente entre o perímetro de uma órbita permitida e o comprimento de onda ( $\lambda$ ) do electrão é dada pela expressão:

$$2 \pi r = n \lambda$$

onde  $r$  é o raio da órbita,  $\lambda$  é o comprimento de onda da onda do electrão e  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Como  $n$  é um número inteiro, então é lógico que  $r$  só poderá tomar alguns valores bem definidos.

Chegou-se deste modo à conclusão que as ondas se podem comportar como partículas e de que as partículas podem exibir propriedades de ondas. Deduziu-se ainda que as propriedades corpusculares e ondulatórias estão relacionadas pela expressão:

$$\lambda = h / m v$$

onde  $\lambda$ ,  $m$  e  $v$  são o comprimento de onda associado à partícula em movimento, a sua massa e a sua velocidade.

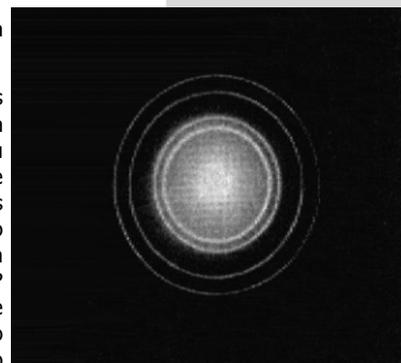
Contudo, apesar da equação de De Broglie poder ser aplicada a diversos sistemas, as propriedades ondulatórias tornam-se observáveis apenas em objectos submicroscópicos, devido ao valor muito pequeno da constante de Planck que aparece no numerador. Podemos confirmar este facto se compararmos o comprimento de onda associado a uma bola de ténis e a um electrão, nas mesmas condições de velocidade; constatamos que, para o objecto macroscópico, o comprimento de onda associado é tão pequeno que a descrição ondulatória é desnecessária, enquanto que para o electrão, como o comprimento de onda é já muito maior, é necessário fazer essa descrição.

Pouco depois de De Broglie ter introduzido a sua equação, Clinton Joseph Davisson, físico americano, Lester Halbert Germer, também físico americano e George Paget Thomson, físico inglês (filho de J. J. Thomson) demonstraram que os electrões possuem realmente propriedades ondulatórias. Eles fizeram passar um feixe de electrões através de uma fina folha de ouro e obtiveram um resultado surpreendente: um conjunto de anéis concêntricos, imagem semelhante à observada quando se utilizam raios X, que são ondas.

Actualmente, os cientistas afirmam que não existe nenhuma inconsistência relativamente à dualidade onda-partícula. Assim o que quer que sejam fotões ou electrões é universalmente aceite o facto de terem uma natureza dual: em algumas experiências comportam-se mais como partículas, mas noutras comportam-se essencialmente como ondas.

### O princípio da incerteza de Heisenberg

Com a descoberta de que os electrões têm também uma natureza ondulatória, surgiu um novo problema, que se veio acumular a muitos outros já existentes: Como é que a posição de uma onda pode ser especificada? Podemos, isso sim, falar de amplitude num certo ponto de uma onda, mas não podemos definir a sua localização precisa, porque uma onda se estende no espaço.



Padrão devido a um feixe de electrões que passa através do alumínio. Estas formas são similares às produzidas pelos raios X, que sabemos serem ondas.

Se tentarmos usar luz para localizar um electrão, segundo as leis da óptica não o conseguiremos localizar com uma precisão maior de que  $\pm \lambda$ , o comprimento de onda da luz utilizada. Claro que se pode tornar  $\lambda$  tão pequeno de modo a que possamos localizar o electrão com muita precisão. Mas será que conseguimos determinar o momento e a posição do electrão simultaneamente? A resposta é inevitavelmente não. Isto acontece porque para determinarmos a posição do electrão mudaremos o seu momento por uma quantidade desconhecida.

Supondo que vamos determinar a posição de um electrão com a ajuda de um fotão. Para isso deve haver a colisão entre os dois. Um fotão de comprimento de onda  $\lambda$  possui um momento  $p = h / \lambda$ , sendo que uma fracção qualquer do momento do fotão vai ser transferida para o electrão, aquando da colisão. Logo, ao determinarmos a posição do electrão com uma precisão:

$$\Delta x \approx \pm \lambda$$

produzimos uma incerteza no seu momento equivalente a:

$$\Delta p \approx h / \lambda$$

O produto destas incertezas é equacionado pela seguinte expressão:

$$\Delta p \Delta x \approx (h / \lambda) \lambda = h$$

Esta é uma dedução um tanto ou quanto «grosseira» do princípio da incerteza de Heisenberg, determinado pelo físico alemão Werner Karl Heisenberg, o qual estabelece um limite na precisão com que a posição e o momento são determinados. Por exemplo, se fizermos uma medição precisa do momento da partícula (incerteza associada ao momento muito baixa), a incerteza associada à posição ficará muito maior, como seria de esperar, o mesmo acontece de maneira inversa. A consequência imediata deste princípio é que, ao contrário do que acontece com os objectos macroscópicos, só podemos descrever o comportamento do electrão em termos de probabilidade.

Se utilizarmos argumentos muito mais exactos obtemos que o princípio da incerteza pode ser definido por:

$$\Delta p \Delta x > h / 4 \pi$$

A determinação exacta e simultânea do momento e da posição é um requisito fundamental para descrever a trajectória da partícula. Logo existe um limite para a precisão com que podemos conhecer a trajectória dessa mesma partícula.

Podemos agora analisar um exemplo para sabermos qual a influência do princípio da incerteza na trajectória dos electrões no átomo. Assim, para termos uma ideia da localização exacta do electrão, podemos tentar determinar a sua posição com uma precisão de 5 pm. Sabemos que associada à medida da posição do electrão temos uma incerteza no momento dada por:

$$\Delta p = h / 4 \pi \Delta x = 6 \times 10^{-34} \text{ Js} / 60 \times 10^{-12} \text{ m} = 1 \times 10^{-23} \text{ kg m s}^{-1}$$

Dado que a massa do electrão é igual a  $9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ , a incerteza na velocidade do electrão será igual a:

$$\Delta v = \Delta p / m \approx 1 \times 10^{-23} \text{ kg m s}^{-1} / 9 \times 10^{-31} \text{ kg} \approx 10^7 \text{ m s}^{-1}$$

De acordo com este cálculo não muito preciso, a incerteza da velocidade do electrão aproxima-se da velocidade da luz, mais um pouco do que a velocidade esperado para o electrão. Daqui podemos retirar que a velocidade do electrão é tão incerta que não há modo de determinar a sua trajectória.

Estava claro que, para os físicos da década de 20, era necessário desenvolver uma nova mecânica, dado que a tentativa de impor as condições de quantização às equações de Newton não tinham sido bem sucedidas. Esta nova teoria deveria explicar o comportamento ondulatório das partículas. As ondas preencheriam o espaço em torno das partículas e as suas propriedades deveriam ser descritas em função da onda.

### Formulação da mecânica quântica

As equações fundamentais desta nova teoria (a mecânica quântica) foram apresentadas pela primeira vez entre 1925 e 1926. No início essas equações dividiam-se em dois grupos distintos. Por um lado tínhamos as equações desenvolvidas por Heisenberg em 1925 e que se baseavam na álgebra de matrizes. Por outro lado tínhamos as equações desenvolvidas por Erwin Schrödinger, físico austríaco, em 1926, e que se valiam de equações diferenciais de segunda ordem. Mas, após um período de divisão, ficou claro que ambos os conjuntos de equações derivavam da mesma equação básica. A maior parte da mecânica tem em vista encontrar meios de resolver esta equação de uma forma simples.

Alguns dos mais importantes problemas da física podem ser resolvidos utilizando-se a solução exacta da equação

fundamental, mas na maioria dos casos (por exemplo os que envolvem átomos ou moléculas com mais do que um electrão) os problemas devem ser resolvidos por meio de métodos numéricos e de forma aproximada. Estes resultados podem ser muito precisos mas envolvem um número inimaginável de cálculos aritméticos. Os modernos supercomputadores resolvem este tipo de cálculo muito mais facilmente, mas o seu custo é extremamente elevado.

**Se compararmos o comprimento de onda associado a uma bola de ténis e a um electrão, nas mesmas condições de velocidade, constatamos que, para o objecto macroscópico, o comprimento de onda associado é tão pequeno que a descrição ondulatória é desnecessária, enquanto que para o electrão, como o comprimento de onda é já muito maior, é necessário fazer essa descrição.**

Algumas das propriedades dos átomos são calculadas mais precisamente do que são medidas experimentalmente, mas a exactidão da medida experimental é muito mais elevada do que a exactidão dos cálculos, no caso de algumas propriedades físicas, pelo que as duas técnicas se complementam mutuamente.

## Números quânticos

### De onde surgem os números quânticos?

Na teoria de Bohr era necessário postular a existência de números quânticos. Contudo, na mecânica quântica, estes números surgem naturalmente da solução matemática da equação de Schrödinger.

Estes números são de enorme relevância quando se trata de descrever a posição dos electrões nos átomos. Existem quatro números quânticos: o número quântico principal, o número quântico de momento angular (também utilizado com a designação de azimutal) e o número quântico magnético. Estes três números são usados na descrição das orbitais atómicas e na caracterização dos electrões que nelas se encontram. O quarto número quântico, número quântico de spin, é utilizado na descrição do comportamento específico de cada electrão.

Estes quatro números quânticos, além de se complementarem, permitem-nos fazer uma descrição completa dos electrões nos átomos.

### Número quântico principal

O número quântico principal ( $n$ ) pode tomar como valores quaisquer números inteiros positivos, começando no 1, 2, 3, 4, etc.. Como o próprio nome o sugere, este número quântico é o mais importante, pois o seu valor define a energia do átomo de hidrogénio (ou de qualquer outro átomo monoeléctrico de carga nuclear  $Z$ ) por meio da equação:

$$E = - m e^4 Z^2 / 8 \epsilon_0^2 n^2 h^2$$

onde  $m$  e  $e$  são a massa e a carga do electrão. Esta equação foi obtida como resultado da equação de Schrödinger e é igual a uma das equações obtidas por Bohr, utilizando os seus postulados incorrectos.

No caso de átomos polielectronicos, o número quântico principal está relacionado com a distância média do electrão ao núcleo, numa determinada orbital. Quanto maior for  $n$ , maior é a distância média de um electrão numa orbital, ao núcleo e portanto maior e menos estável é essa orbital. No caso de  $n$  ser um valor baixo, acontece exactamente o contrário.

### Número quântico de momento angular

O número quântico de momento angular, ou azimutal,  $l$ , informa-nos sobre a forma das orbitais. Como o próprio nome o indica, o valor de  $l$  define o momento angular do electrão, sendo que o aumento do seu valor implica o aumento correspondente do valor do momento angular. Deste modo a energia cinética do electrão é associada ao movimento angular e está dependente da energia total do electrão, pelo que é natural que os valores permitidos de  $l$  estejam associados ao número quântico principal. Para um dado valor de  $n$ ,  $l$  pode ter como valores possíveis os números inteiros de 0 a  $(n - 1)$ .

Por exemplo, se  $n = 1$ , existe apenas um único valor de número quântico de momento angular possível ( $l = n - 1 = 1 - 1 = 0$ ). Se  $n = 2$ , existem dois valores de  $l$  possíveis, 0 e 1. Se  $n = 3$ , há três valores de  $l$ , nomeadamente 0, 1 e 2. O valor de  $l$  é geralmente designado pelas letras  $s, p, d, f, \dots$  da



seguinte maneira:

$l$	0	1	2	3	4	5
Designação da orbital	s	p	d	f	g	h

Deste modo se  $l = 0$  temos uma orbital s, se  $l = 1$  temos uma orbital p, se  $l = 2$  temos uma orbital d e assim sucessivamente.

A sequência invulgar das três primeiras letras tem uma origem histórica. Os físicos que estudaram os espectros de emissão atômicos tentaram relacionar as ricas espectrais observadas com os estados de energia envolvidos nas transições. Notaram que algumas riscas eram estreitas (*sharp*, em inglês), algumas eram difusas (*diffuse*, em inglês) e outras ainda eram bastante fortes e referidas como principais (*principal*, em inglês). Deste modo as letras iniciais desses adjetivos foram atribuídas a esses estados de energia. No entanto, após a letra d, as designações das orbitais seguem por ordem alfabética (só com as consoantes).

Um conjunto de orbitais com o mesmo valor de  $n$  é normalmente designado por camada. Uma ou mais orbitais com os mesmos valores de  $n$  e  $l$  são designadas por subcamada. Por exemplo a camada  $n = 2$  é composta por duas subcamadas,  $l = 0$  e  $l = 1$  (os valores permitidos para  $n = 2$ ). Estas subcamadas são designadas respectivamente por 2s e 2p.

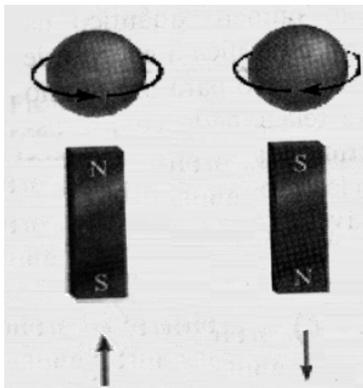
### Número quântico magnético

Um electrão com momento angular pode ser comparado a uma corrente eléctrica circulando por uma espiral feita com fio de cobre. O momento magnético é determinado pelo valor do número quântico magnético ( $m_l$ ). Visto que ele aparece devido ao momento angular do electrão, é normal que os valores permitidos de  $m_l$  dependam do valor de  $l$ . Para um dado valor de  $l$ , existem  $(2l+1)$  valores inteiros de  $m_l$ , cujos valores são:

$$-l, (-l+1), \dots, 0, \dots, (l-1), l$$

Se  $l = 0$ , então  $m_l = 0$ . Se  $l = 1$ , então há  $[(2 \times 1) + 1] = 3$  valores de  $m_l$ , nomeadamente, -1, 0 e 1. No caso de  $l = 2$  existem cinco valores possíveis para  $m_l$ , nomeadamente, -2, -1, 0, 1 e 2. O número de valores  $m_l$  indica o número de orbitais numa subcamada com um determinado valor de  $l$ .

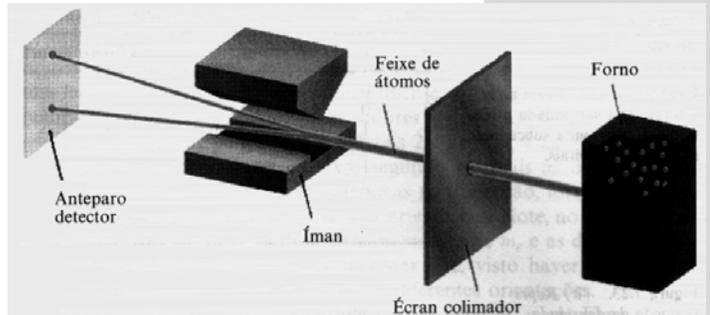
Para terminar com um exemplo, vamos considerar a situação em que temos  $n = 2$  e  $l = 1$ . Os valores de  $n$  e  $l$  indicam que temos uma subcamada 2p e nesta subcamada temos três orbitais 2p (visto que há três valores de  $m_l$ , que são -1, 0 e 1).



**Spins de um electrão com o sentido contrário aos ponteiros do relógio (à esquerda) e com o sentido dos ponteiros do relógio (à direita). Os campos magnéticos criados por estes dois movimentos de spin são análogos aos criados por dois ímans. As setas para cima e para baixo são usadas para representar os dois sentidos do spin.**

isso dizemos que o electrão tem um momento angular de spin. Se pensarmos nos electrões como estando a rodar sobre o seu próprio eixo (como o planeta Terra), as suas propriedades magnéticas podem ser justificadas. De acordo com a teoria electromagnética, qualquer carga em rotação gera um campo magnético em seu torno. Como o movimento de rotação do electrão pode ter dois sentidos, o sentido dos ponteiros do relógio e o contrário a esse, também o quarto número quântico, número quântico de spin electrónico, pode ter dois valores. Deste modo o número quântico de spin electrónico ( $m_s$ ) pode tomar os valores  $-1/2$  e  $+1/2$ .

Uma demonstração inquestionável da existência do spin electrónico foi conseguida por Otto Stern e Walter Gerlach, ambos físicos alemães, em 1924. O seu dispositivo experimental consistia num feixe de átomos, produzidos num forno quente, que era ejectado através de um campo magnético não homogéneo. A interacção entre um electrão e o campo magnético provoca um desvio do seu trajecto linear. Como os movimentos de spin são completamente aleatórios, metade dos átomos são desviados numa direcção e a outra metade noutra. No anteparo detector conseguem-se determinar duas regiões de igual intensidade.



**Arranjo experimental para demonstrar o movimento de spin dos electrões. Um feixe de átomos atravessa um campo magnético. Por exemplo quando um átomo de hidrogénio, com um único electrão, atravessa o campo, é deflectido num ou noutro sentido, consoante o sentido do spin. Num fluxo contendo muitos átomos, haverá distribuições iguais dos dois tipos de spin e assim duas manchas de igual intensidade são observadas no alvo.**



Em cima: Werner Heisenberg (1901-1976)



Em baixo: Louis Raymond, duc de Broglie (1892-1987)

## Uma publicação da



Associação Juvenil de Ciência

## Com o apoio de



Instituto  
Português  
da Juventude



FUNDAÇÃO para a DIVULGAÇÃO  
das TECNOLOGIAS de INFORMAÇÃO



Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA

Apoio do Programa Operacional  
Ciência, Tecnologia, Inovação  
do Quadro Comunitário de  
Apoio III



Editorial do  
Ministério da  
Educação