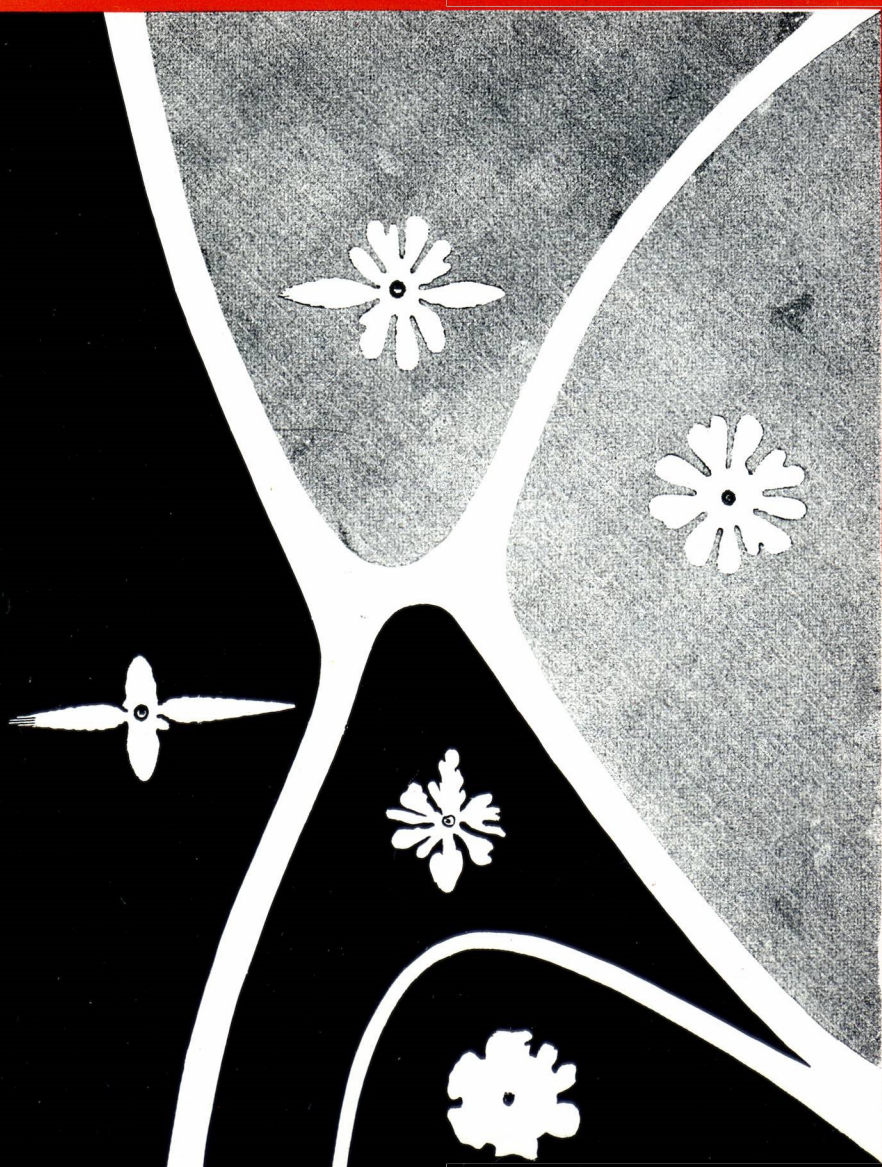


GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA

PRESSÃO



VOL. 11, FASC. 1

Publicação Trimestral

Janeiro a Março 1988

• Física de Interfaces •
Diagrama de fases morfológicas
de um líquido injectado entre
duas placas paralelas

DISTÂNCIA ENTRE PLACAS

GAZETA DE FISICA

Fundada em 1946 por A. Gibert

Propriedade e Edição: Sociedade Portuguesa de Física

Director: Filipe Duarte Santos (Secretário-Geral da S.P.F.)

Comissão de Redacção e Administração

Conselho Directivo da S.P.F.: H. Machado Jorge, F. Duarte Santos, J. Bessa Sousa, Ana M. Eiró, Carlos Matos Ferreira, F. Costa Parente, M. Fernanda Silva, J. Brochado Oliveira, J. Monteiro Moreira, N. Ayres Campos, C. Lopes Gil.

Endereço: Sociedade Portuguesa de Física, Av. da República, 37-4.º – 1000 Lisboa

A **Gazeta de Física** publica artigos, com índole de divulgação, considerados de interesse para estudantes, professores e investigadores em Física. Os artigos podem ter índole teórica, experimental ou aplicada, visando promover o interesse dos jovens pelo estudo da Física, o intercâmbio de ideias e experiências profissionais entre os que ensinam, investigam ou aplicam a Física. As opiniões expressas pelos autores não representam necessariamente posições da S.P.F.

A **Gazeta de Física** deverá constituir também um espaço de informação para as actividades da S.P.F., nomeadamente as suas Delegações Regionais e Divisões Técnicas.

Os manuscritos deverão ser submetidos para publicação em duplicado, dactilografados a dois espaços. Figuras ou fotografias deverão ser apresentadas em folhas separadas e prontas para reprodução, com eventual redução de tamanho.

Toda a correspondência deverá ser enviada para

Gazeta de Física

Sociedade Portuguesa de Física

Av. República, 37-4.º – 1000 LISBOA

A **Gazeta de Física** é enviada gratuitamente a todos os Sócios da S.P.F. no pleno uso dos seus direitos.

Preço de assinatura : pais 1000\$00 ; estrangeiro US\$20.

Preço do fascículo avulso (sede e delegações da SPF) : 250\$00.

Publicação subsidiada pelo Instituto Nacional de Investigação Científica
e pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica

Tiragem: 2200 exemplares

Composto e Impresso na *Imprensa Portuguesa* • Rua Formosa, 108-116 • 4000 PORTO

Na Capa: Instabilidades interfaciais e respectivas linhas de transição de fase, de um líquido viscoso injectado sob pressão ($p: 0-30$ mm Hg) numa célula radial de Hele-Shaw: placas à distância d (0,2–1,5 mm), sendo uma delas estriada uniaxialmente.

V. Horváth, T. Vicsek, J. Kertész, *Europhysics News* 19 24 (1988).

A superfície líquida

M. M. TELO DA GAMA

Departamento de Física da F.C.U.L. e Centro de Física da Matéria Condensada
Av. Prof. Gama Pinto, 2, 1699 Lisboa, Codex, Portugal

B. S. ALMEIDA

Departamento de Química do IST e Centro de Química Estrutural
Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa, Codex, Portugal

P. I. TEIXEIRA

Centro de Física da Matéria Condensada
Av. Prof. Gama Pinto, 2, 1699 Lisboa, Codex, Portugal

Apresentamos neste artigo uma descrição com fins didácticos da estrutura molecular das superfícies líquidas e de como ela se relaciona com (i) propriedades macroscópicas como a tensão superficial e (ii) as forças intermoleculares que se exercem entre as partículas.

1. Introdução

É bem conhecido que a superfície da água se comporta, do ponto de vista mecânico, como se se tratasse de uma membrana em tensão. Caracterizamos macroscopicamente este comportamento atribuindo à superfície uma força por unidade de comprimento que contraria o aumento da respectiva área, a chamada tensão superficial.

Entre as manifestações correntes da tensão superficial que discutiremos nas secções seguintes contam-se a forma de gotículas e de pequenas bolhas, a ascensão e descida de líquidos em tubos capilares e o ângulo de contacto de gotas sobre superfícies sólidas.

O interesse que temos no comportamento das interfaces é não só teórico como também eminentemente prático, uma vez que muitos dos processos tecnológicos modernos dele dependem. Os fenómenos superficiais são importantes sempre que houver transporte de massa e energia entre fases, ou quando a região interfacial concentrar parte considerável das moléculas do sistema.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira: começamos por discutir de uma forma geral a estrutura molecular de sólidos, líquidos

e gases (secção 2), bem como a função de distribuição radial (secção 3).

Na secção 4 discutimos potenciais intermoleculares e modelos para líquidos simples e na secção 5 descrevemos os aspectos gerais da estrutura molecular das superfícies líquidas. Na secção 6 definimos energia superficial e tensão superficial, na secção 7 descrevemos aspectos do comportamento interfacial próximo da coexistência das 3 fases e na 8 referimos um caso particularmente interessante — a transição de «wetting» — descoberta há apenas alguns anos.

Finalmente na secção 9 nomeamos algumas teorias usadas para o cálculo das propriedades de uma interface líquido-vapor e apresentamos exemplos de aplicação.

2. O estado líquido

Enquanto um sólido cristalino apresenta ordem de grande alcance, num gás a baixa pressão as moléculas não se encontram praticamente correlacionadas, isto é, a posição de uma molécula é quase independente das posições de todas as outras (ver figs. 1(a) e 1(c)). Podemos portanto calcular as propriedades termodinâmicas e estruturais de sólidos e gases

reais com base em perturbações de sistemas ideais bem conhecidas — o cristal ideal (rígido), consistindo num conjunto de (uma ou mais) moléculas fixas nos pontos de uma rede cristalina perfeita e infinita; e o gás ideal, composto por um conjunto de moléculas completamente independentes. No primeiro caso toda a energia do sistema é de natureza potencial, enquanto no segundo só existe energia cinética.

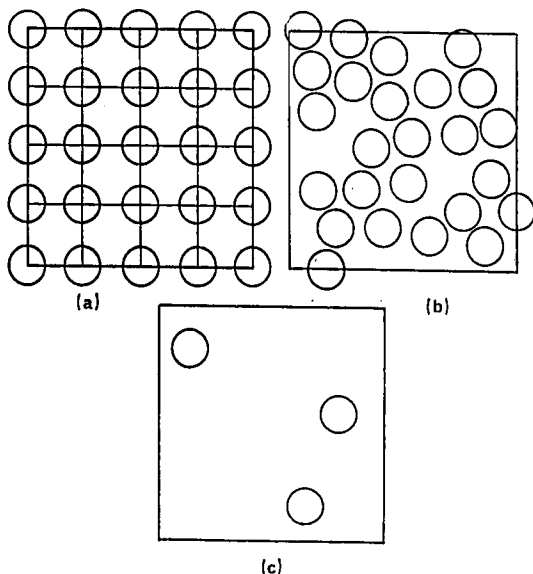


Fig. 1 — Os estados sólido (a), líquido (b) e gasoso (c) da matéria (representação esquemática). Nos sólidos reais, os átomos vibram em torno das suas posições de equilíbrio (ilustradas em (a)) e existem defeitos — átomos que faltam ou que se encontram deslocados. Num gás ideal as moléculas são pontuais enquanto que num gás real o volume molecular não pode ser ignorado (c).

De facto, num sólido *real* os átomos e/ou moléculas vibram em torno das suas posições de equilíbrio e num gás real há interações entre as partículas. Isso não impede, porém, que a energia total seja dominada pelo termo potencial no primeiro caso (pelo menos, a temperatura afastada do ponto de fusão) e pelo termo cinético no segundo, dada a grande separação média entre as partículas.

Um líquido situa-se, no entanto, longe de qualquer destes casos-limite, e tanto o termo potencial como o cinético contribuem significativamente para as suas propriedades termo-

dinâmicas. Microscopicamente, um líquido apresenta ordem de curto alcance, mas ao contrário do que se passa nos sólidos, a correlação entre as posições das moléculas tende para zero à medida que a distância entre elas aumenta (ver fig. 1(b)).

3. A função de distribuição radial

A função de distribuição de pares $g(r)$, definida como a razão entre a densidade numérica de moléculas na posição r medida a partir de uma dada molécula tomada como origem ($r=0$) e a densidade média $\rho=N/V$, onde N é o número de partículas e V o volume, fornece-nos uma descrição particularmente útil da estrutura microscópica de um sistema. Isto é, $g(r)$ é proporcional à densidade de «probabilidade condicional» de encontrar uma molécula na posição r , sabendo que existe uma em $r=0$.

Para um sistema isotrópico (líquido ou gasoso), $g(r)$ é apenas função de r (distância radial) e é conhecida por função de distribuição radial. Seja $\Delta N(r)$ o número médio de centros moleculares situados no interior de uma «coroa» esférica de espessura Δr à distância r do centro de uma dada molécula. A função de distribuição radial é então dada pelo limite

$$g(r) = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\Delta N(r)}{\rho 4\pi r^2 \Delta r} \quad (1)$$

Como ρ é a densidade média, $g(r)=1$ corresponde à não existência de correlação entre as partículas. Além disso, $g(r) \rightarrow 0$ quando $r \rightarrow 0$ dada a repulsão entre os centros das moléculas que impede a sobreposição dos centros moleculares.

A figura 2 ilustra o comportamento de $g(r)$ para sólidos, líquidos e gases. Num sólido ideal (rígido), $g(r)$ consiste numa série de picos muito bem definidos (funções δ) situados a intervalos regulares ao longo de uma fiada reticular, traduzindo a correlação perfeita existente entre as posições de todas as moléculas (fig. 2(a)). Num sólido real os picos serão mais largos e mais baixos, mas à escala da figura tudo se manterá praticamente inalterado.

Num gás ideal, $g(r)$ é identicamente igual à unidade, isto é, as moléculas são completa-

mente independentes, enquanto que num gás real $g(r) \rightarrow 0$ quando $r \rightarrow 0$ e $g(r)$ é ligeiramente maior do que 1 (reflectindo a tendência para a formação de agregados) para distâncias da ordem de um diâmetro molecular (fig. 2(c)).

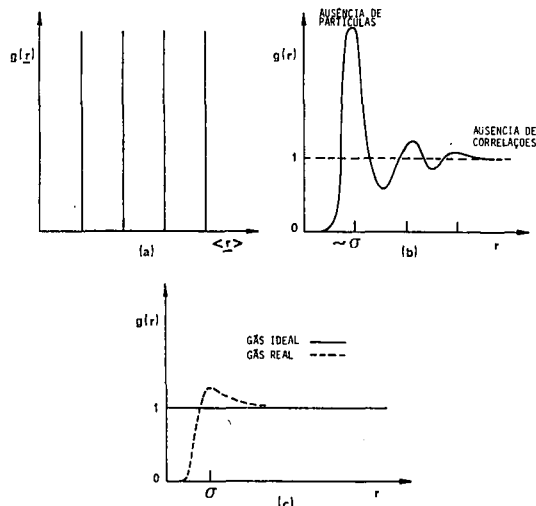


Fig. 2 — Função de distribuição radial para um sólido ideal (ao longo de uma fiada reticular) (a), para um líquido (b), e para um gás (c). Num sólido real os picos de (a) tornam-se mais largos (ver texto), mas a figura mantém-se qualitativamente inalterada. Num gás real $g(r)$ tende para zero para pequenos valores de r (devido ao volume molecular) e apresenta um máximo pouco acentuado para $r \sim \sigma$ que se deve a uma leve tendência para a formação de agregados. Num líquido as distâncias mais favoráveis entre pares de moléculas são aproximadamente múltiplas de σ (ver texto para mais pormenores).

Finalmente, num líquido denso $g(r)$ tem a forma que a figura 2(b) ilustra. Para distâncias inferiores a alguns diâmetros moleculares, a probabilidade de encontrar uma molécula a uma distância r da origem é maior do que 1 se r for (aproximadamente) um múltiplo inteiro do diâmetro molecular; e inferior a 1 se assim não for. A altura dos picos decresce, porém, rapidamente à medida que r aumenta e $g(r) \rightarrow 1$ quando $r \rightarrow \infty$.

4. Potenciais intermoleculares e modelos para líquidos clássicos simples

O modelo mais simples de fluido consiste num conjunto de partículas clássicas, electrica-

mente neutras, interagendo por meio de potenciais entre pares de moléculas que dependem unicamente da distância r entre os seus centros (a hipótese das forças centrais foi já feita na secção 3 quando considerámos a isotropia da função de distribuição radial). É claro que o problema real é muito mais complicado, pelo que é preferível olhar o potencial intermolecular como uma interacção efectiva. Um exemplo simples e largamente utilizado é o potencial de Lennard-Jones ilustrado na fig. 3(a).

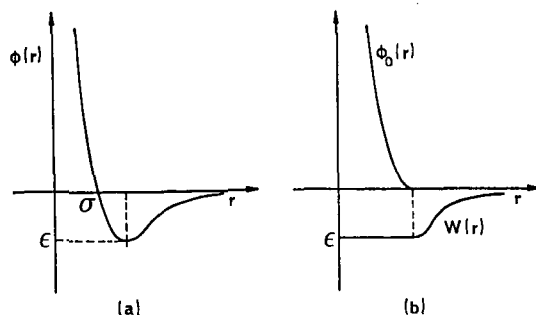


Fig. 3 — (a) O potencial intermolecular de Lennard-Jones (12-6) tem a expressão analítica

$$\phi(r) = 4 \epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

onde ϵ é a energia da interacção quando o potencial é mínimo, e σ (a distância para a qual $\phi(r)$ se torna positivo) é uma medida do diâmetro molecular. (b) A divisão do potencial de pares de Weeks, Chandler e Andersen (WCA) [8]: $\phi(r)$ divide-se num termo de referência $\phi_0(r)$ (que representa a parte repulsiva) e numa perturbação $W(r)$ (que descreve a parte atractiva).

O potencial é fortemente repulsivo a pequenas distâncias e fracamente atractivo a distâncias maiores. O termo repulsivo (repulsão dos vizinhos mais próximos) é responsável pela estrutura local, enquanto o termo atractivo cria um fosso de potencial (campo médio) para as partículas do líquido.

Os resultados de simulações em computador feitos há cerca de 25 anos mostraram [3, 8, 12] que a estrutura dos fluidos densos simples é, de facto determinada pelas forças repulsivas. Os mesmos resultados revelaram ainda, que as propriedades do sistema repulsivo são reproduzidas com rigor por um sistema equi-

valente composto por esferas duras. Isto é, embora não exista um sistema de referência analiticamente simples para os líquidos, existe um sistema prático — o fluido de esferas duras de densidade numérica ρ igual à do fluido real e cujo diâmetro é uma função (pré-determinada, mas) bastante complexa da densidade ρ e da temperatura T . Este sistema só pôde porém ser tratado quantitativamente depois do aparecimento dos computadores modernos de alta velocidade.

As teorias teomodinâmicas de perturbações [3, 8] que tanto êxito tem tido na previsão das propriedades dos líquidos simples, baseiam-se precisamente na divisão do potencial num termo repulsivo e numa perturbação atractiva (a fig. 3 (b) ilustra uma divisão particularmente útil).

5. A superfície líquida

Estamos frequentemente interessados em fluidos não homogêneos, como sejam misturas binárias com interface líquido-líquido ou sistemas em que um líquido e o seu vapor estão separados por uma interface.

De um ponto de vista microscópico, a descrição de uma interface compreende a especificação de várias funções de distribuição de probabilidade [8] que sofrem variações numa gama de transição chamada região superficial. Destas, a mais importante é o perfil de densidade $\rho(r)$ que varia entre o valor que toma no líquido, ρ_l , e o valor que temos no vapor, ρ_v , ao longo duma distância que é tipicamente da ordem de alguns diâmetros moleculares (desde que a temperatura seja inferior à temperatura crítica das fases homogêneas). Numa interface plana de um sistema com forças centrais (por exemplo, árgon ou metano líquidos), o perfil de densidade é exclusivamente função da distância z medida perpendicularmente à interface (ver figs. 4(a) e 5(a)). Ao aproximarmos da temperatura crítica T_c , a região superficial entre o líquido e o vapor aumenta de espessura acabando por se tornar macroscópica para $T = T_c$.

No caso de líquidos mais complicados, como o álcool (ver figs. 4(b) e 5(b)), precisa-

mos de mais uma função para descrever a região interfacial — o parâmetro de ordem $\eta(z)$, i.e. uma medida do número de moléculas com cota z orientadas perpendicularmente à interface e com as extremidades polares apontadas para a fase líquida que as atrai com maior intensidade.

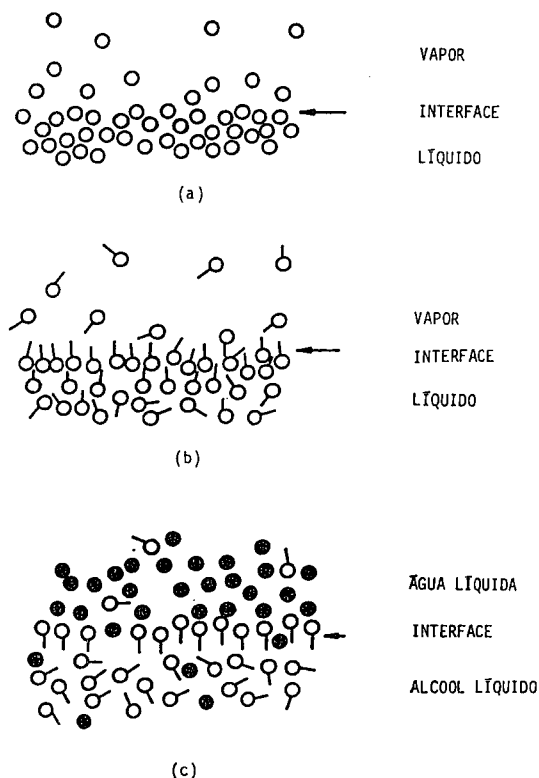


Fig. 4 — (a) Interface líquido-vapor de um sistema com forças centrais, por exemplo, árgon ou metano líquidos. (b) Interface líquido-vapor do álcool. As extremidades polares das moléculas são atraídas para o líquido, enquanto as extremidades apolares apontam preferencialmente para a fase de vapor. (c) Interface água (líquida) — álcool (líquido). As extremidades polares das moléculas do álcool apontam para a fase aquosa.

Se na fig. 4(b) substituirmos a fase de vapor por água líquida, as moléculas inverterão a sua orientação (fig. 4(c)) devido às forças de atracção entre a água e as extremidades polares das moléculas serem agora mais intensas e o parâmetro de ordem atrás definido é agora negativo (fig. 5(c)). A descrição completa da interface deste sistema exige a especificação

de dois perfis de densidade (um para a água e outro para o álcool) e do parâmetro de ordem do álcool (ver fig. 5(c)).

Como a vizinhança de uma molécula que se encontra na interface é normalmente muito diferente da de qualquer outra situada no interior de uma fase, as concentrações locais na interface são diferentes das concentrações em volume. Se a concentração de uma dada espécie química for maior na interface, diz-se que aquela foi adsorvida (positivamente) nesta. É o caso do álcool na mistura água-álcool (figs. 4(c) e 5 (c)).

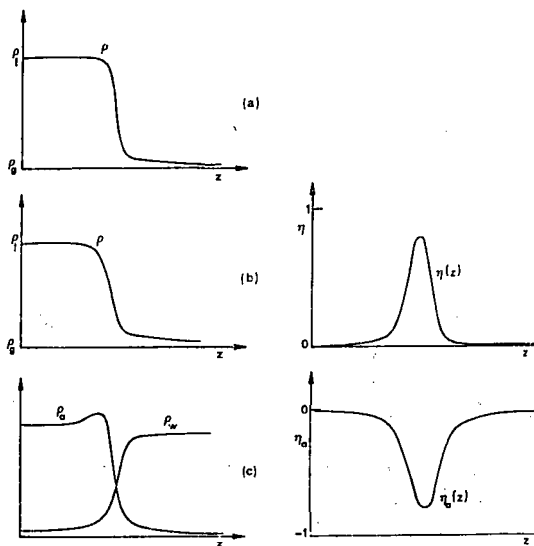


Fig. 5 — (a) Perfil de densidade $\rho(z)$ de um sistema com forças centrais, por exemplo, árgon ou metano líquidos. (b) Perfil de densidade $\rho(z)$ e parâmetro de ordem $\eta(z)$ do álcool. O máximo de $\eta(z)$ ocorre para um valor de z situado na interface. (c) Perfis de densidade $\rho_a(z)$ e $\rho_w(z)$ do álcool e da água e parâmetro de ordem $\eta_a(z)$ do álcool no sistema líquido, binário, constituído por água e álcool. $\eta_a(z)$ é negativo, o que traduz o facto de as moléculas de álcool apontarem as suas extremidades polares para a fase aquosa (ver texto) (cf. fig. 4(c)).

A adsorção de uma espécie química pode conduzir a um decréscimo apreciável da tensão superficial. Este fenómeno tem aplicações [18] de grande importância como sejam a recuperação de petróleo por injeção e a indústria dos sabões.

6. Energia superficial e tensão superficial

A energia superficial de um líquido é a quantidade de energia necessária para criar uma nova superfície com área igual à unidade. Para melhor compreensão, imaginemos que seccionamos de algum modo uma coluna de líquido de secção recta unitária. É necessário dispendir energia para vencer as interações entre as moléculas de ambos os lados do corte. Se houver N_A moléculas por unidade de secção recta ($N_A \sim 1/\sigma^2$ onde σ é o diâmetro molecular), a energia que é preciso fornecer (por unidade de área) é da ordem de $1/2 N_A n \epsilon$, onde n é o número de vizinhos mais próximos de cada molécula, ϵ é o simétrico da energia potencial do sistema de duas moléculas situadas nas suas posições de equilíbrio e $1/2 N_A n$ é o número de interações entre vizinhos mais próximos que têm de ser vencidas para se criar a nova superfície. Como neste processo se formam duas superfícies de área igual à unidade, a energia superficial é $1/4 N_A n \epsilon$.

A tensão superficial, definida como a força que tende a fechar uma secção de comprimento unitário praticada na superfície do líquido, está relacionada com a energia superficial definida atrás. Imaginemos uma película delgada de líquido, com superfícies superior e inferior, por exemplo um filme de sabão, suspenso num arame rectangular (fig. 6). Um

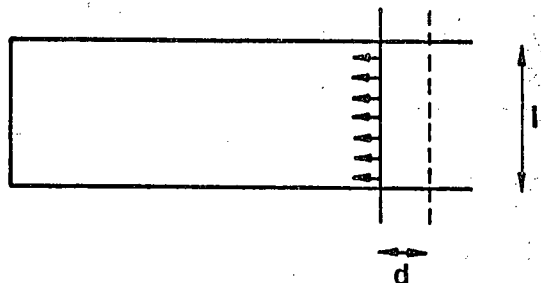


Fig. 6 — Película líquida suspensa num arame rectangular. O lado direito é preciso aplicar-lhe para vencer a tensão superficial é móvel, e a força que é proporcional ao comprimento l .

dos lados do rectângulo é móvel. Admite-se que a película tem espessura correspondente a muitos diâmetros moleculares. A força que a película exerce no lado móvel é $2 \gamma l$, onde l

é o comprimento do lado, γ a tensão superficial e o factor 2 aparece devido à existência de duas superfícies. Se fizermos o lado móvel deslizar de uma distância d , o trabalho realizado será $2\gamma l d$. Imaginemos agora que o processo se realiza com lentidão suficiente para que haja troca de calor entre o sistema e o meio, de modo a que tanto a temperatura como γ se mantenham constantes. Como a área total da película é aumentada de $2ld$, a quantidade de energia que é preciso fornecer é γ /unidade de área. É então evidente que a tensão superficial está relacionada com a energia superficial e com as forças intermoleculares (ver tabela 1). As duas grandezas não são

TABELA 1—Tensão superficial de várias substâncias puras a 20 °C.

Substância	γ / mN m ⁻¹
n-Hexano	18.43
Acetona	23.70
Tetracloreto de carbono	26.66
Benzeno	28.86
Água	72.75
Mercúrio	480

porém idênticas. A tensão superficial é o trabalho que é preciso realizar para aumentar de uma unidade a área de uma superfície, a temperatura constante, e está relacionada com a energia livre de Helmholtz de excesso. A energia superficial, por seu lado, está relacionada com o excesso de energia interna por unidade de área.

De facto, se definirmos grandezas superficiais de excesso como a diferença entre os valores que essas grandezas tomam para um sistema real e para um sistema hipotético constituído por duas fases uniformes separadas por uma superfície matemática de espessura nula, pode demonstrar-se [5, 14] a partir da termodinâmica clássica que a energia superficial de excesso por unidade de área u_s é dada pela seguinte expressão:

$$u_s = \frac{F_s + TS_s}{A} \quad (2)$$

F_s e S_s representam os valores superficiais

de excesso, respectivamente, da energia de Helmholtz e da entropia, e A é a área da interface.

A equação (2) pode escrever-se na forma:

$$F_s = u_s A - TS_s \quad (3)$$

que evidencia a competição entre os termos energético e entrópico na determinação do valor da energia de Helmholtz do sistema. A minimização desta energia condiciona a forma da interface no equilíbrio — o termo entrópico tende a alargar a zona de transição enquanto que a energia superficial de excesso, u_s , favorece uma diminuição da espessura da interface.

7. Capilaridade, ângulos de contacto e «wetting»

O comportamento das interfaces próximo da coexistência de três fases é particularmente interessante e merece atenção especial. Consideremos um sistema no qual três fases distintas, A, B e C, coexistem em equilíbrio (fig. 7). Seja γ_{ij} a tensão interfacial entre as fases i e j . Tomaremos AC como sendo a interface a que corresponde a tensão mais elevada. Pode então argumentar-se que as tensões satisfazem a desigualdade [15, 16]

$$\gamma_{AC} \leq \gamma_{AB} + \gamma_{BC} \quad (4)$$

Quando for válida a igualdade (regra de Antonow), isto é, quando

$$\gamma_{AC} = \gamma_{AB} + \gamma_{BC} \quad (5)$$

diz-se que a fase B molha a interface entre A e C. Na ausência da gravidade, a fase B forma então uma camada uniforme de espessura macroscópica entre as fases A e C (fig. 7(a)). Isto deve-se ao facto de a energia livre de excesso da interface AC relativamente às fases homogêneas resultar apenas das interfaces AB e BC separadas por uma distância macroscópica.

Quando for válida a desigualdade (4), diz-se que a fase B não molha (ou molha parcial-

mente) a interface entre A e C. Nesta situação, as três fases fluidas coexistem ao longo de uma linha de contacto (fig. 7(b)), sendo os ângulos

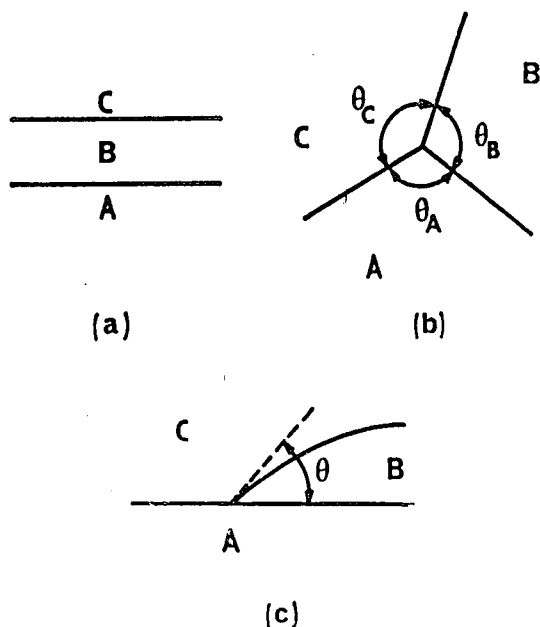


Fig. 7 — Equilíbrio entre três fases fluidas, A, B e C, coexistindo na ausência da gravidade. (a) A fase B molha completamente a interface AC, formando uma camada de espessura macroscópica entre as fases A e C. (b) A fase B molha incompletamente a interface AC. Passa a existir uma linha de coexistência das três fases, com ângulos de contacto não nulos entre os planos que separam pares de fases. (c) A fase B molha incompletamente a interface AC sendo A um sólido rígido; a linha de coexistência é definida por um único ângulo de contacto θ .

diedros dados pela condição do triângulo de Neumann [15, 16]

$$\frac{\sin \theta_C}{\gamma_{AB}} = \frac{\sin \theta_A}{\gamma_{BC}} = \frac{\sin \theta_B}{\gamma_{AC}} \quad (6)$$

Se uma das três fases (digamos, A) for um substracto plano indeformável, e B e C forem duas fases fluidas, há que substituir a eq. (6) pela equação de Young

$$\gamma_{AC} = \gamma_{AB} + \gamma_{BC} \cos \theta \quad (7)$$

onde θ é o ângulo de contacto da fase B na interface entre A e C (fig. 7(c)). Repare-se que θ depende apenas de grandezas termo-

dinâmicas (γ_{ij}) e que o sinal da diferença $\gamma_{AC} - \gamma_{AB}$ determina se θ é maior ou menor que 90° . A situação que a fig. 7(c) ilustra corresponde à nossa convenção de tomar γ_{AC} como a maior das três tensões.

Interfaces curvas como BC na fig. 7(c) estão associadas a uma diferença de pressão entre as duas fases fluidas B e C, diferença esta dada pela equação de Laplace [15],

$$p_B - p_C = \gamma_{BC} C \quad (8)$$

onde C é a curvatura da interface (definida como $C = R_1^{-1} + R_2^{-1}$ sendo R_1 e R_2 os raios principais de curvatura [15]). Na ausência da gravidade (ou de outros campos exteriores) a diferença de pressão $p_B - p_C$ é uma constante no espaço. Nestas circunstâncias, a forma da gotícula da fase B é determinada unicamente pelo ângulo de contacto θ e pela tendência para a minimização da área da superfície total. As gotículas terão portanto forma esférica ($R_1 = R_2 = r$).

Por outro lado, na presença da gravidade vários fenómenos de capilaridade bem conhecidos (a ascensão capilar em tubos finos, a forma de gotículas ou bolhas microscópicas etc.) resultam do equilíbrio entre as forças hidrostáticas gravitacionais e as forças interfaciais.

8. A transição de «wetting»

Um dos problemas que tem atraído a atenção tanto dos teóricos como dos experimentalistas nos últimos anos é a transição de *wetting* [15, 16]. Esta transição dá-se quando a fase B deixa de molhar parcialmente a interface AC (figs. 7(b) e 7(c)) para passar a molhá-la completamente (fig. 7(a)), o que ocorre devido a uma variação da temperatura ou de qualquer outra variável termodinâmica equivalente. A fig. 8 ilustra uma transição deste tipo para um sistema líquido binário com fases separadas.

A física por detrás da transição de *wetting* é a seguinte. Suponhamos que é válida a desigualdade em (4), isto é, que a energia livre por unidade de área necessária para

formar uma interface entre as fases A e C é menor do que a necessária para a formação de uma camada intermédia da fase B, a qual

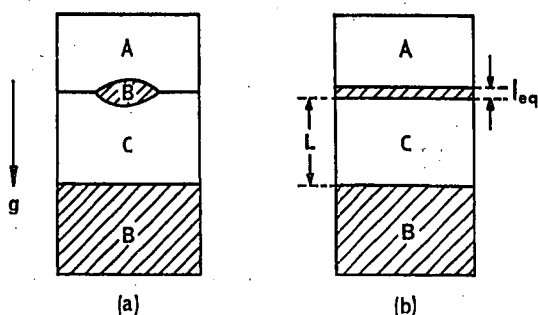


Fig. 8 — Separação das fases A, B e C num campo gravítico sendo B a fase de maior massa específica e que molha preferencialmente a interface AC. Dá-se uma transição de «wetting» entre os estados (a) em que B molha parcialmente a interface e (b) em que a molha completamente.

implica a criação de duas interfaces, AB e BC. Recordemos que $\gamma_{AC} > \gamma_{AB}$ e que B não molha completamente a superfície devido essencialmente ao custo em energia livre associado a γ_{BC} . Mas, se ao elevar-se a temperatura a tensão γ_{BC} diminuir mais rapidamente que a diferença $\gamma_{AC} - \gamma_{AB}$, existe uma temperatura T_w (a temperatura de «wetting») para a qual é válida a igualdade em (4), e para $T > T_w$ a fase B molha completamente a interface AC. Cahn [6, 15, 16] propôs originalmente que isto se devia à proximidade do sistema de um ponto crítico, no qual as fases B e C se tornam idênticas em presença da fase A.

9. Conclusões

Para descrever a estrutura e as propriedades termodinâmicas de uma interface líquido-vapor necessitamos de uma teoria para a energia livre de um fluido, não homogêneo, capaz de descrever quantitativamente a tensão superficial e os perfis de densidade, com base nas forças que se exercem entre as partículas do fluido.

Van der Waals em 1894 [15] deu a primeira descrição quantitativa da interface lí-

quido-vapor de fluidos com um único componente introduzindo poderosos métodos de aproximação na termodinâmica clássica.

Existem hoje teorias mais precisas [1, 4, 7], baseadas na mecânica estatística, que conduzem a equações formalmente exactas para os perfis de densidade, para a energia livre do sistema e para a tensão superficial. Estas equações não têm, contudo, utilidade prática por envolverem funções de distribuição de sistemas não homogêneos que ainda são desconhecidas. Há então que recorrer a aproximações mais ou menos simplificadas, como, por exemplo, a aproximação do quadrado do gradiente [7] que não é mais do que uma generalização microscópica da teoria de van der Waals [7, 15]. Neste tratamento considera-se a energia livre do fluido, não homogêneo, como um desenvolvimento em série nos gradientes de densidade truncado a partir dos termos de segunda ordem.

A título de exemplo apresentam-se na fig. 9 os perfis de densidade obtidos [17] a seis

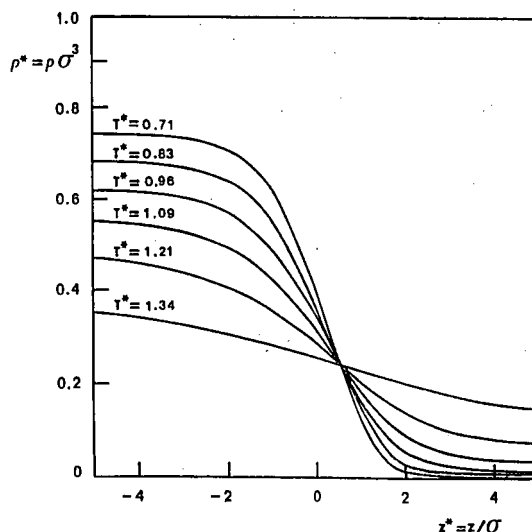


Fig. 9 — Perfis de densidade no equilíbrio de um fluido de Lennard-Jones a seis temperaturas diferentes [17] (em unidades reduzidas $T^* = KT/\epsilon$)

temperaturas diferentes para um fluido de Lennard-Jones (12-6), com base na aproximação do quadrado do gradiente. Na fig. 10 comparam-se valores da tensão superficial do

árgon líquido obtidos experimentalmente [13], através da simulação por computador [11] e usando a aproximação do quadrado do gradiente [17] e verifica-se que o acordo é razoável.

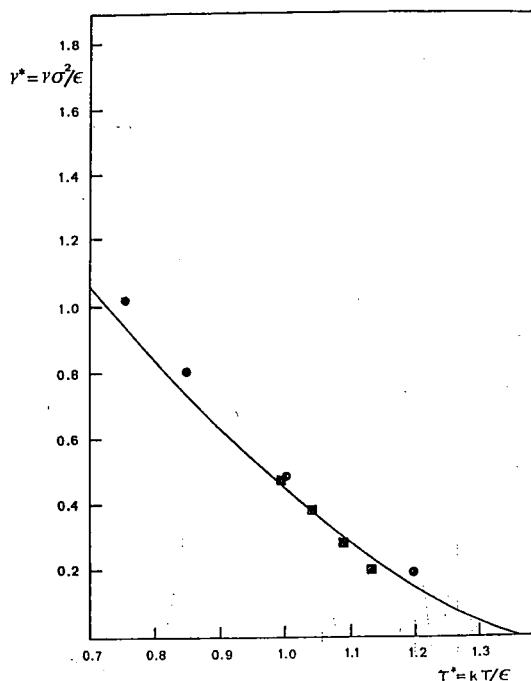


Fig. 10 — A tensão superficial γ^* em função da temperatura (em unidades reduzidas). A curva corresponde à aproximação do quadrado do gradiente [17], e os símbolos assinalam os resultados obtidos em simulações com computador para um fluido de Lennard-Jones [11] (●), bem como os valores experimentais obtidos por Nadler [13] para o árgon líquido (■).

Uma alternativa útil (ainda que não rigorosa) para fins práticos (e ainda mais simples do que a aproximação do quadrado do gradiente) tem por base as chamadas teorias termodinâmicas clássicas [2].

Finalmente, existem dois aspectos do comportamento das interfaces que não são correctamente descritos nem pela aproximação do quadrado do gradiente nem por nenhuma teoria do tipo campo médio (categoria que inclui a maior parte das restantes teorias das superfícies líquidas). Um deles diz respeito às ondas de capilaridade e o outro às flutuações

críticas [9, 10, 15]. Estes aspectos são irrelevantes em muitas aplicações práticas o que não obsta a que a sua compreensão seja indispensável para uma descrição completa do comportamento interfacial (ver por exemplo os artigos de revisão de Jasnow [9, 10]).

REFERÊNCIAS

- [1] ABRAHAM, F. F. — *Phys. Rep.*, **53**, 93-156 (1979).
- [2] ALMEIDA, B. S. — Tese de doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa (1986).
- [3] BARKER, J. A. e HENDERSEN, D. — *Rev. Mod. Phys.*, **48**, 587-671 (1976).
- [4] CROXTON, C. A. — *Statistical mechanics of the liquid surface*. John Wiley and Sons, Inc., Londres (1980).
- [5] DEFAY, R.; PRIGOGINE, I.; BELLEMANS, A. e EVERETT, D. H. — *Surface tension and adsorption*. Longmans, Green and Co., Londres (1966).
- [6] DE GENNES, P. G. — *Rev. Mod. Phys.*, **57**, 827-863 (1985).
- [7] EVANS, R. — *Adv. Phys.*, **28**, 143-200 (1979).
- [8] HANSEN, J. P. e McDONALD, I. R. — *Theory of simple liquids*. Academic Press, Londres (1976).
- [9] JASNOW, D. — *Rep. Prog. Phys.*, **47**, 1059-1132 (1984).
- [10] JASNOW, D. — *Phase Transitions and Critical Phenomena*, vol. 10, cap. 3, págs. 269-363, Academic Press, Londres (1986).
- [11] LEE, J. K.; BARKER, J. A. e POUND, G. M. — *J. Chem Phys.*, **60**, 1976-1980 (1974).
- [12] LEBOWITZ, J. L. e WAISMAN, E. M. — *Phys. Today*, Março, 24-30 (1980).
- [13] NADLER, K. C.; ZOLLWEG, J. A.; STREET, W. B. and McLURE, I. A. — *J. Coll. and Interface Sci.* (accepted for publication in the March issue) (1988).
- [14] ONO, S. e KONDO, S. — *Encyclopedia of Physics*, Vol. 10, pág. 134, Springer, Berlim (1960).
- [15] ROWLINSON, J. S. e WIDOM, B. — *Molecular Theory of Capillarity*. Clarendon Press, Oxford (1982).
- [16] SULLIVAN, D. E. e TELO DA GAMA, M. M. — *Fluid Interfacial Phenomena*, Ch. 2, págs. 45-134, John Wiley and Sons, Inc., Londres (1986).
- [17] TELO DA GAMA, M. M. — Tese de doutoramento, Universidade de Bristol (1982).
- [18] VOLD, R. D. e VOLD, M. J. — *Colloid and Interface Chemistry*. Addison-Wesley, Reading Mass (1983).

Microscópios Electrónicos

CARLOS PINTO MOREIRA DE SÁ

Centro de Metalurgia e Ciências dos Materiais da U.P. (CEMMUP)

A atribuição do prémio Nobel da Física em 1986 a E. Ruska, que construiu o primeiro microscópio electrónico no ano de 1933, veio polarizar novamente a atenção sobre este tipo de equipamentos.

Têm já mais de cinquenta anos as primeiras imagens obtidas num microscópio electrónico de transmissão. Fruto do estudo aprofundado das propriedades dos feixes electrónicos e das suas interacções com campos eléctricos e magnéticos, o microscópio electrónico permitiu ultrapassar por várias ordens de grandeza a resolução característica da microscopia óptica ($\sim 10^4 \text{ \AA}$) e facultar, com o seu progressivo desenvolvimento, outras informações sobre as características locais das amostras observadas (nomeadamente químicas e de estrutura cristalina), de importância bem superior ao simples aumento do poder resolvente.

De facto, desde o estudo e caracterização estrutural, química e física de materiais dos mais diversos tipos às aplicações na Biologia e Medicina, passando pela Geologia, Química e Ciências dos Materiais — e envolvendo áreas que vão desde a investigação pura e aplicada ao desenvolvimento e controlo industrial de processos e produtos — a microscopia electrónica tem hoje um vastíssimo campo de aplicação.

1. Limitações do Microscópio Óptico

Utilizado há mais de 300 anos para observação e estudo da matéria, só em 1873, mercê dos trabalhos de E. Abbe, ficou claramente compreendido e quantificado o limite de resolução de um microscópio óptico.

Devido à natureza ondulatória da luz, a nitidez da imagem obtida num microscópio óptico é perturbada pela difracção do feixe

luminoso produzida pela abertura finita da lente objectiva.

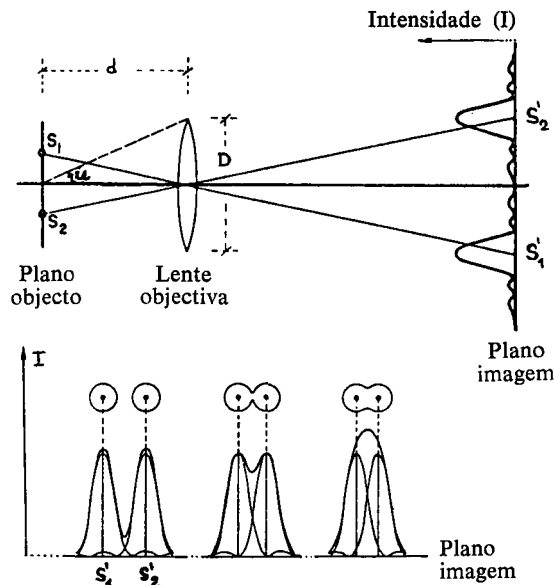


Fig. 1 — Efeito da difracção da luz numa lente na imagem de dois pontos.

Como se ilustra na Fig. 1, em resultado da difracção, a cada ponto objecto corresponde uma imagem constituída por um disco central (disco de Airy) rodeado por anéis menos brilhantes. A distância mínima entre dois pontos no objecto que originam ainda imagens diferenciadas, determinada de acordo com o critério de Rayleigh — de contraste mínimo central — permite definir o limite de resolução:

$$R = 0.61 \lambda / (n \sin u) \quad (1)$$

em que λ é o comprimento de onda da radiação luminosa utilizada, n é o índice de refracção do meio entre o objecto e a lente objectiva e u o ângulo que um raio marginal faz com o eixo da lente.

Decorre da relação anterior que a melhor resolução de um microscópio óptico é conse-

guida com a utilização de uma radiação visível com menor comprimento de onda (azul, violeta) e interpondo entre o objecto e a lente um meio de elevado índice de refração (caso da lente de imersão). Como $n \lesssim 1.5$ e $\text{sen } u < 1$ teremos $R \geq 0.4 \lambda$, pelo que em última análise é o comprimento de onda da radiação utilizada que limita a resolução do microscópio óptico.

Como ilustração prática, diremos que o objecto é colocado junto do plano focal da lente objectiva, sendo

$$\text{sen } u = \frac{D/2}{\sqrt{f^2 + (D/2)^2}} \quad (2)$$

em que f é a distância focal e D o diâmetro da lente objectiva. Para um microscópio de boa qualidade pode tomar-se $f = 2$ mm, $D = 6$ mm e teremos $\text{sen } u = 0.8$. Para $n = 1.5$ (óleo de cedro) teremos $R = 0.5 \lambda$. Se utilizarmos $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ (verde/azul) teremos $R = 8500 \text{ \AA}$, o que nos dá uma ideia da resolução disponível neste tipo de instrumentos.

Com referência, sabemos que as células dos seres vivos, com dimensões características da ordem de 10^4 \AA podem ser facilmente observadas ao microscópio óptico. Já com um vírus, com dimensões entre 10^2 e 10^3 \AA , tal não é possível, sendo porém observados facilmente com os microscópios electrónicos.

A caracterização morfológica e identificação de uma amostra observada ao microscópio óptico de transmissão ou reflexão — conforme a luz que entra na objectiva atravessa a amostra (em biologia) ou é reflectida pela sua superfície (em metalurgia e estudo de materiais) — apoia-se na diferenciação dos constituintes pelas suas propriedades ópticas — poder de absorção e reflexão, cor, acção de polarização — dependentes das características do material e das técnicas utilizadas na sua preparação.

O limite da utilidade da microscopia óptica é, por este facto, determinado não apenas pela resolução das imagens que é possível obter, mas fundamentalmente pelo conteúdo de informação que as características ópticas de um material revelam em relação às propriedades de interesse.

2. Os diferentes métodos de Microscopia Electrónica

Os microscópios electrónicos são instrumentos que permitem a observação, com elevada resolução, de amostras com características muito diferenciadas utilizando como radiação incidente («iluminação») um feixe electrónico previamente acelerado.

O seu desenvolvimento resultou fundamentalmente dos progressos verificados nos sistemas de «óptica» electrónica e do conhecimento do comportamento ondulatório de um feixe electrónico (De Broglie, 1924).

De facto, se comunicarmos aos electrões uma velocidade (v) muito elevada (p.ex. acelerando-os com um potencial electrostático V ; $eV = 1/2 mv^2$), o comprimento de onda associado a cada electrão é dado pela conhecida fórmula de De Broglie:

$$\lambda = h / mv \quad (3)$$

onde h ($h = 6.6256 \cdot 10^{-34}$ J.s) é a constante de Planck, m ($m = 9.1091 \cdot 10^{-31}$ kg) é a massa do electrão. Por exemplo, se acelerarmos um electrão com uma diferença de potencial de 100 KV, a correspondente velocidade será extremamente elevada, $v = 1.73 \cdot 10^8$ m/s, isto é, cerca de metade da velocidade da luz! Introduzindo na expressão (3) obtém-se um comprimento de onda muito pequeno ($\lambda = 0.037 \text{ \AA}$) que de acordo com a eq. (1) deverá conduzir, em princípio, a uma resolução R muito pequena.

Foram considerações deste tipo que motivaram os trabalhos desenvolvidos na Alemanha, na década de 1930/40, por várias equipas de investigação na expectativa de conseguirem a realização de instrumentos de observação, utilizando feixes electrónicos, com resolução superior à do microscópio óptico. Como consequência, é colocado em funcionamento em 1933 o primeiro microscópio electrónico de transmissão (TEM: *transmission electron microscope*) realizado por E. Ruska, sendo em 1938 comercializado, pela Siemens, com uma resolução de 7 nm (70 \AA). Por comparação com o microscópio óptico trata-se de um progresso espectacular na melhoria da resolução para a observação da matéria.

Também neste período são dados os primeiros passos em técnicas semelhantes mas envolvendo modos diferentes de operação, e que só muito mais tarde vieram a sofrer desenvolvimento significativos:

Microscopia electrónica de varrimento (SEM) (SEM: Scanning electron microscopy)

A imagem é neste caso realizada num ecran fluorescente, sendo o brilho em cada ponto determinado pelo número de electrões emergentes do ponto correspondente da amostra (espessa), cuja superfície é percorrida sequencialmente (e em sincronismo com o varrimento do écran) por um feixe electrónico finamente focado.

Esta técnica tem um grande desenvolvimento na década de 1950 (C. W. Oatley—GB), sendo em 1965 comercializado o primeiro SEM (Cambridge).

Microscopia electrónica de varrimento e transmissão (STEM)

Tem fundamentalmente um modo de funcionamento semelhante ao SEM, com um feixe electrónico a percorrer sequencialmente a amostra, mas utilizando amostras finas (em transmissão).

Tem desenvolvimento nas décadas de 1960/70 (Crewe—USA) com a realização de equipamentos de elevada resolução e múltiplas possibilidades de operação.

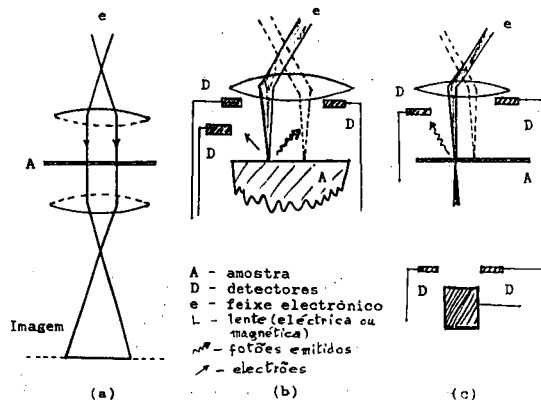


Fig. 2—Métodos utilizados em microscopia electrónica
a—transmissão, b—varrimento,
c—varrimento e transmissão.

Num dos parágrafos seguintes veremos com mais detalhe a estrutura e operação dos microscópios correspondentes a estes modos de operação.

3. Interação feixe electrónico-amostra

A construção da imagem em microscopia electrónica pode ser realizada aproveitando os electrões ou diversas radiações provenientes da interacção entre o feixe electrónico incidente e a amostra, sendo a natureza da informação obtida dependente dos processos físicos que estão na sua origem.

São diversas as interacções que se exercem entre os electrões do feixe incidente — com energias desde poucos keV, em SEM, até às centenas de keV, em TEM e STEM — e a amostra:

a—interacção elástica, de que resulta apenas uma mudança de direcção da trajectória do electrão incidente: difusão/difracção;

b—interacção não elástica, envolvendo perda de energia e eventual mudança de trajectória do electrão incidente, e que pode ocorrer em diferentes condições:

b1—interacção com os electrões das orbitais atómicas periféricas, com reduzida perda de energia do electrão incidente; pode resultar a emissão de um electrão de baixa energia e ainda, no caso de materiais semicondutores e isolantes, a emissão de um fóton (que pode ocorrer no domínio do visível). Nos semicondutores ocorre geração local de portadores;

b2—interacção com os electrões das camadas electrónicas internas, com expulsão de um electrão; há posteriormente, por regresso do átomo ao estado fundamental, a emissão de um fóton de raios X ou de um electrão Auger com energia quantificada (este segundo processo mais frequente nos elementos de baixo número atómico). Em qualquer dos casos a energia associada à radiação é característica do elemento químico envolvido;

b3 — interacção com o núcleo atómico com emissão de um espectro contínuo de raios X, por desaceleração do electrão no campo eléctrico produzido pelo núcleo.

Dependendo da espessura da amostra, cada electrão incidente sofre os efeitos de diferentes interacções até perder a totalidade da sua energia cinética inicial ou abandonar a amostra.

Podemos agrupar em categorias com interesse específico, para cada modo de observação habitualmente utilizado, as diferentes radiações anteriormente consideradas, como se vê na Fig. 3:

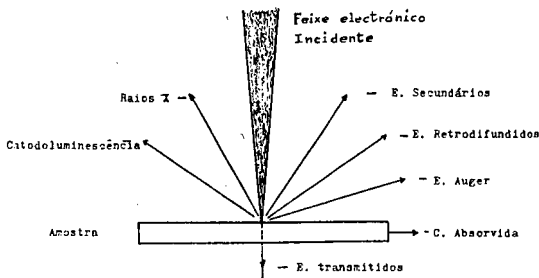


Fig. 3 — Radiações emitidas pela amostra.

a. *Electrões transmitidos*

Constituem o feixe utilizado nas observações em transmissão (amostra fina, de espessura muito menor que o comprimento médio de difusão do feixe electrónico no interior da amostra) e contém diferentes informações:

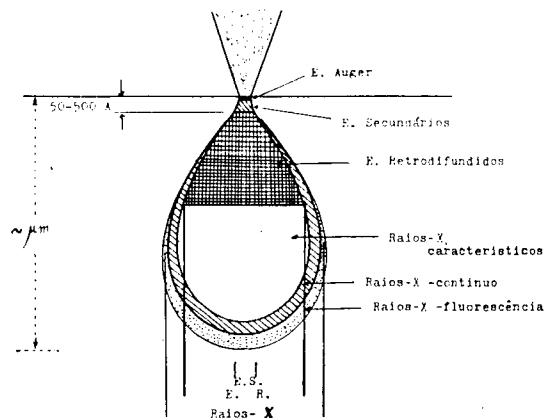


Fig. 4 — Volume de emissão para as diferentes radiações (amostra espessa).

— $n.^{\circ}$ atómico — o número de electrões do feixe incidente que atravessa a amostra sem mudança de direcção e com perda reduzida de energia decresce com aumento do número atómico médio local;

— estrutura cristalina — a interacção local do feixe electrónico com os átomos dos cristais produz a emergência de elevado número de electrões, com reduzida perda de energia, em direcções preferenciais (reflexões de Bragg). O seu estudo permite a identificação e caracterização da rede cristalina local;

— composição química: a medida das perdas de energia sofridas pelos electrões transmitidos permite identificar alguns dos elementos envolvidos nas interacções locais (perdas reduzidas — uma única interacção com perda quantificada de energia);

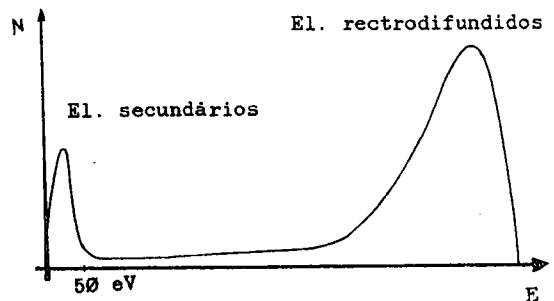


Fig. 5 — Distribuição energética dos electrões emitidos (amostra espessa).

b. *Electrões retrodifundidos*

(utilizados apenas em m.e. de varrimento).

São os electrões emergentes da superfície da amostra com energia próxima da do feixe incidente, e que resultam de interacções elásticas ou com perdas reduzidas de energia, mas forte desvio angular.

O coeficiente de retrodifusão ($n.^{\circ}$ de electrões retrodifundidos/ $n.^{\circ}$ de electrões incidentes), depende do ângulo de incidência do feixe electrónico, e cresce com o número atómico médio local da amostra. Por este facto as ima-

gens obtidas em SEM utilizando esta radiação contêm informação:

- química : do n.º atómico médio local;
- topográfica: relevo da superfície da amostra;

e ainda informações associadas a outras características da amostra que afectam as condições de penetração do feixe primário ou de emergência dos electrões retrodifundidos: orientação cristalina, domínios magnéticos, etc.

c. *Electrões secundários*

(utilizados apenas em m.e. de varrimento)

Designam-se desta forma os electrões de baixa energia (<50 eV), que resultam fundamentalmente dos processos de interacção de electrões periféricos nos átomos, quer com electrões primários (incidentes) quer com electrões retrodifundidos. Pela sua energia, provêm de uma vizinhança do ponto de impacto do feixe primário e de uma profundidade máxima de algumas dezenas de Å. O seu número depende fortemente do ângulo de incidência do feixe primário.

Estas características explicam que as imagens obtidas com electrões secundários apresentem forte contraste topográfico, cumulativamente com informação relativa às propriedades que afectam a emissão de electrões retrodifundidos.

A reduzida energia dos electrões secundários ocasiona também forte sensibilidade da intensidade da radiação detectada à presença de campos eléctricos e magnéticos locais, o que permite a obtenção de imagens contendo a correspondente informação associada.

d. *Catodoluminescência*

(utilizada apenas em m.e. de varrimento)

Consiste na emissão de fotões no domínio do visível, ou de comprimentos de onda próximos, que ocorre em materiais isolantes e semicondutores. A sua detecção possibilita a obtenção de informação sobre a composição química ou estrutura física local do material.

e. *Electrões Auger*

(utilizados apenas em m.e. de varrimento).

Trata-se de electrões de baixa energia (até algumas centenas de eV), resultantes do regresso ao estado fundamental de átomos que foram ionizados (interacção b2), e que apresentam por isso uma energia característica do elemento emissor.

Pelas suas características de baixa energia só podem resultar da emissão das primeiras camadas de átomos da amostra, permitindo com a utilização de um espectrómetro de electrões, a análise química elementar pontual da superfície (primeiras camadas atómicas) das amostras.

A sua detecção exige uma redução drástica da contaminação superficial da amostra, impondo a utilização de níveis de vácuo inferiores a 10^{-8} torr, só possíveis em equipamentos de grande qualidade de concepção e construção, vocacionados para a análise de superfícies.

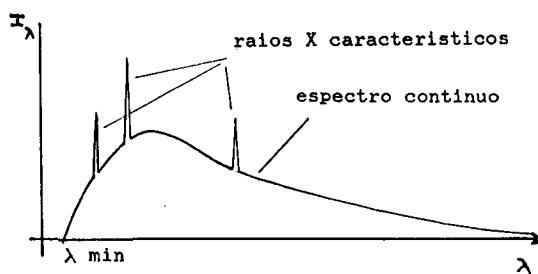


Fig. 6 — Distribuição em comprimento de onda dos raios X (amostra espessa).

f. *Raios X*

(utilizados apenas em m.e. de varrimento).

A emissão de raios X compreende duas componentes:

— um fundo contínuo cuja intensidade e distribuição espectral depende do número atómico médio local da amostra e da energia do feixe incidente (interacção b3) — e que é normalmente um elemento perturbador;

— radiação característica dos elementos presentes no microvolume excitado pelo feixe electrónico.

A utilização de espectrómetros de raios X para detecção e análise da radiação emitida

pela amostra permite a análise química elementar, qualitativa ou quantitativa, do microvolume considerado, considerando todos os elementos desde o boro (B) ao urânio (U).

4. Características e funcionamento dos diferentes tipos de Microscópios Electrónicos

Correspondendo a diferentes métodos de microscopia electrónica desenvolveram-se equipamentos que, partilhando elementos base comuns (mesmo com equipamentos que utilizam como sondas outros feixes de partículas), apresentam também características fundamentais bem diferenciadas.

Em todos estes equipamentos a radiação primária incidente na amostra é um feixe electrónico acelerado, que percorre um sistema óptico electromagnético e interactua com a amostra. O conjunto encontra-se confinado a uma câmara em que se assegura um nível de vácuo de pelo menos 10^{-5} torr (mm de Hg). Um nível de vácuo tão acentuado no interior dos microscópios electrónicos resulta das exigências de propagação dos electrões e outras radiações emitidas pela amostra, do funcionamento do canhão de electrões e das limitações impostas à contaminação.

— O Microscópio Electrónico de Transmissão (TEM — Transmission electron microscope)

No microscópio electrónico de transmissão, que é estruturalmente muito próximo do microscópio óptico de projecção, a imagem (real) tornada visível sobre um alvo por fosforescência é obtida utilizando os electrões transmitidos.

A fonte luminosa é um canhão de electrões, normalmente constituído por um filamento de tungsténio aquecido a uma temperatura elevada (2700 K) por forma a libertar electrões (efeito termoiónico) que são acelerados num campo eléctrico até energias de 100 a 200 keV (há microscópios que vão a 1 MeV).

Um conjunto de lentes electromagnéticas, operando de forma semelhante às lentes utili-

zadas nos sistemas, ópticos, permitem a obtenção de uma imagem.

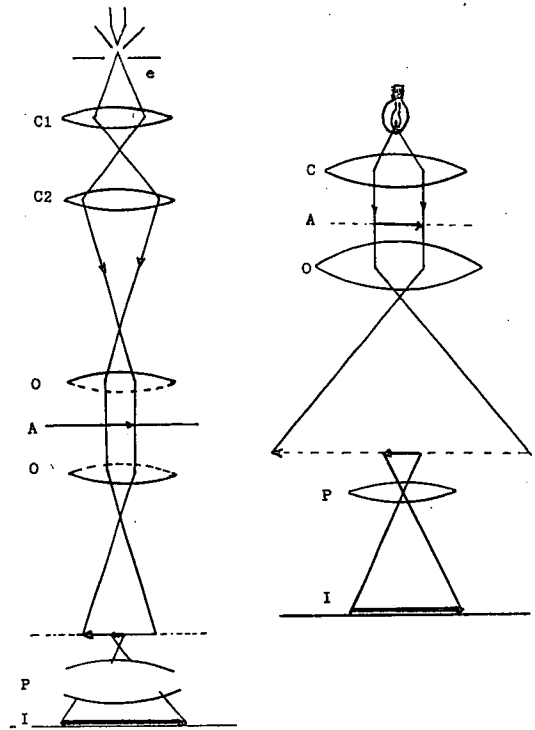


Fig. 7—Microscópio electrónico/Microscópio óptico.

- C — Condensador
- O — Objectiva
- P — Lente projectora
- A — Amostra
- I — Imagem

O controlo da ampliação é realizado pelo ajustamento da distância focal da objectiva, que no caso das lentes electromagnéticas depende directamente da intensidade de corrente que percorre a respectiva bobina, pelo que é possível com o mesmo sistema óptico obter uma vasta gama de ampliações.

As amostras observáveis são de pequenas dimensões e, por razões de transparência ao feixe electrónico, muito reduzida espessura — de 10 a 100 nm —, normalmente suportadas numa grelha de 3 mm de diâmetro.

A resolução, da ordem de 2 a 10 Å, resulta fundamentalmente de compromissos associados às aberrações do sistema deflector electromagnético, permitindo ampliações máximas superiores a 1 000 000 vezes.

É frequente, especialmente nos equipamentos para aplicação na área dos materiais,

a associação de uma unidade de varrimento a estes microscópios por forma a possibilitar o seu funcionamento como STEM, o que permite explorar sequencialmente as características da amostra, utilizando todas as radiações emitidas (com os detectores convenientes). Esta possibilidade torna-se particularmente interessante se ao microscópio for associado um espectrómetro de raios X permitindo a realização de microanálise com uma resolução espacial da ordem das centenas de Å (amostra delgada). Neste modo de observação a resolução é de algumas dezenas de Å.

— *Microscópio Electrónico de Varrimento (SEM — Scanning electron microscope)*

Em microscopia electrónica de varrimento a superfície da amostra é percorrida sequencialmente por um feixe electrónico finamente focado. As radiações, incluindo os electrões, emitidas em cada ponto são recolhidas por detectores adequados a cada tipo de radiação, colocados na vizinhança da amostra e dão origem a um sinal eléctrico que vai modular o brilho de um ecran de observação cujo varrimento é síncrono com o da superfície da amostra.

O sistema «óptico» electromagnético conduz a um feixe electrónico de diâmetro reduzido, que determina o limite de resolução, e que vai excitar pontualmente a superfície da amostra. O sincronismo do varrimento da superfície da amostra e do ecran de observação estabelece uma relação biunívoca ponto objecto/ponto imagem. A imagem observada é construída ponto por ponto com um brilho pontual proporcional à intensidade da radiação utilizada.

A ampliação é simplesmente o cociente da largura da imagem observada pela largura da superfície da amostra varrida pelo feixe electrónico, e o seu controlo envolve apenas a fixação das dimensões da superfície da amostra que é examinada, sem fazer intervir qualquer elemento do sistema óptico.

Embora a resolução dependa fortemente das características da amostra e da radiação utilizada na observação (volume de interacção;

Fig. 4) — sendo máxima em electrões secundários — o sistema óptico electromagnético é no entanto responsável pela resolução máxima disponível, da ordem dos 30 a 100 Å, permitindo a obtenção de ampliações superiores a 100 000.

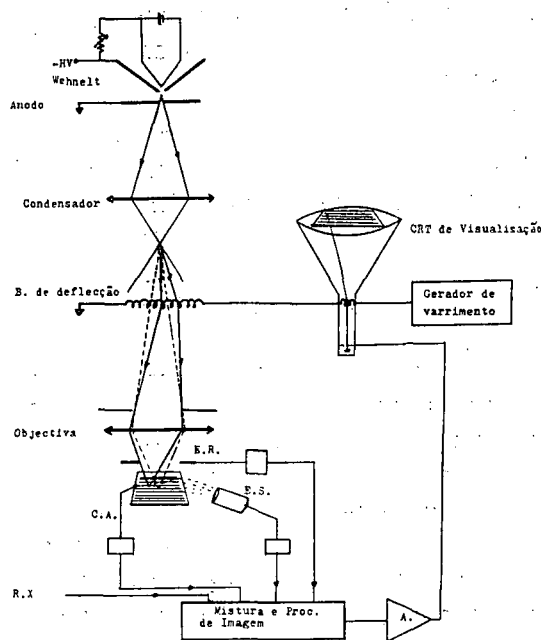


Fig. 8 — Estrutura do microscópio electrónico de varrimento.

A reduzida dispersão angular do feixe incidente ($<10^{-2}$ rad) está na origem da grande profundidade de campo conseguida, que possibilita o exame de amostras com relevo significativo a ampliações elevadas, mantendo em foco planos da amostra muito distantes entre si. Esta característica possibilita a observação de amostras, que mesmo a baixas ampliações (ao nível das conseguidas no microscópio óptico) é impossível examinar por qualquer outro meio.

A utilização simultânea dos sinais de vários detectores das radiações provenientes da amostra, cujo conteúdo analisamos anteriormente, permite caracterizar cada ponto da amostra tendo em conta uma grande variedade de propriedades:

- topografia (electrões secundários, e retrorodifundidos; ex. Figs. 9a) b);
- n.º atómico (electrões retrorodifundidos; Fig. 9c));

- composição química elementar (raios X; Fig. 9d), mapa de raios X);
- propriedades cristalinas (electrões retro-difundidos);

e muitas outras resultantes da selecção do modo de funcionamento mais adequado. Na Fig. 9 mostram-se imagens obtidas em SEM, em possibilidades do conjunto (*).

Particularmente interessante é o acoplamento de espectrómetros de raios X, de dispersão de energias (EDS) ou comprimentos de onda (WDS), que possibilitam a caracterização qualitativa e mesmo quantitativa da composição elementar dos constituintes da amostra ao nível do microvolume — alguns μm^3 — e aumentam extraordinariamente as possibilidades do conjunto.

As possibilidades do SEM, equipado com espectrómetros de raios X, aproximam-se muito das da microsonda electrónica, instrumento que tendo seguido uma via de desenvolvimento diferenciado é estruturalmente muito semelhante.

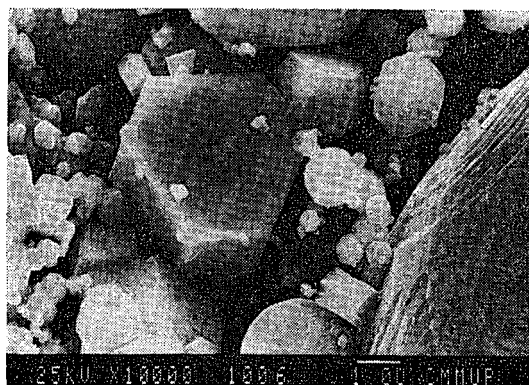
A gama de tensões de aceleração disponível, bastante menor do que o utilizado em transmissão, é tipicamente de 0 a 40 kV, por passos, possibilitando a exploração de condições de funcionamento diversificadas.

Pela sua estrutura estes microscópios possibilitam a manipulação de amostras (espessas) de grandes dimensões — com vários centímetros de diâmetro e mais de um centímetro de espessura.

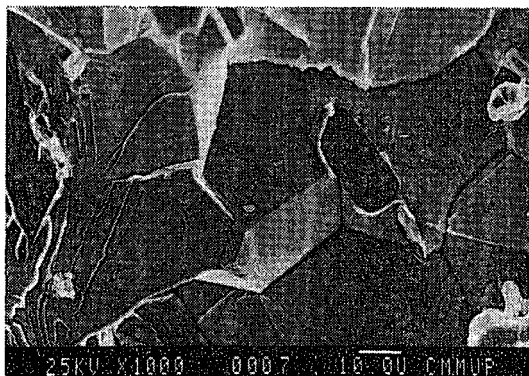
— *Microscópio Electrónico de Varrimento e Transmissão*
(STEM — Scanning Transmission Electron Microscope)

É um microscópio electrónico de varrimento optimizado do ponto de vista de resolução, pela utilização de um canhão electrónico (de cátodo frio) de elevada intensidade e produzindo um feixe electrónico de reduzido diâmetro, e preparado para funcionar em transmissão.

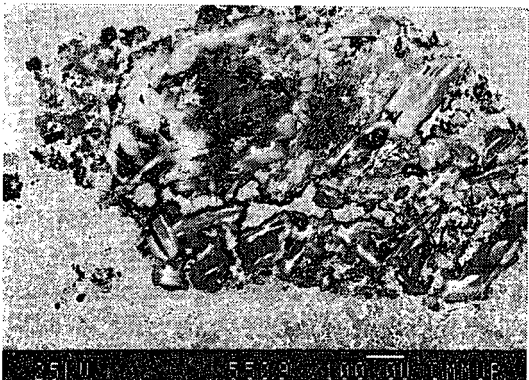
(*) EDS : energy dispersive spectroscopy;
WDS: wavelength dispersive spectroscopy.



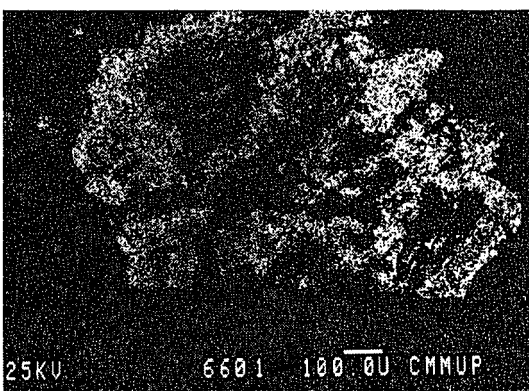
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 9— a) Cristais de zinco; b) Fractura de aço; c) inclusão em liga de alumínio; d) Distribuição de Ca na amostra c).

Estas características permitem o aproveitamento da totalidade das radiações provenientes da amostra, e porque a utilização de amostras delgadas minimiza o volume de interacção, nas melhores condições de resolução.

É possível a obtenção de imagens com uma resolução da ordem de 2 \AA , e uma resolução para análise elementar de poucas dezenas de \AA . A utilização de níveis de vácuo melhores que 10^{-8} torr assegura uma contaminação reduzida e a possibilidade de análise de superfície (electrões Auger).

As amostras utilizadas para observação em microscopia electrónica, para além da adequação dimensional — o que em transmissão e para muitos materiais implica a utilização de técnicas complexas para obter lâminas delgadas — e eventual preparação por forma a assegurar a observação das características desejadas, devem ter estabilidade física e química nas condições de observação — alto vácuo e incidência de um feixe electrónico energético — e um mínimo de condutividade eléctrica (que pode ser obtida por revestimento) que assegure o escoamento da carga eléctrica resultante da absorção total ou parcial do feixe electrónico incidente.

Estas exigências não são impedimento, como já referimos, da aplicação da microscopia electrónica aos mais diversos materiais, e nas mais diversas áreas, como técnica privilegiada de caracterização microscópica.

Em Portugal a microscopia electrónica vem sendo utilizada há algumas dezenas de anos em aplicações na área da Medicina e Biologia, existindo um elevado número de microscópios electrónicos de transmissão (TEM) instalados em hospitais e centros de investigação.

Na última década verificou-se um crescente interesse pela aplicação dos microscópios electrónicos de varrimento (SEM), nomeadamente no estudo e caracterização de materiais — Ciência dos Materiais e Engenharia — com a instalação de diversos equipamentos em centros de investigação e mesmo em laboratórios da indústria.

Richard P. Feynman

Já na fase de impressão do presente número, a Comissão Redactorial da Gazeta de Física tomou conhecimento da morte do Prof. R. Feynman, ocorrida em Los Angeles a 15 de Fevereiro passado. Tinha 69 anos.

Feynman foi um dos físicos mais notáveis e influentes deste século, tendo sido um dos laureados com o prémio Nobel da Física em 1965, pela sua contribuição fundamental nos campos da Electrodinâmica Quântica e da Superfluidade do Hélio líquido.

Dotado de uma rara originalidade e intuição física, com uma elegância ímpar no tratamento das questões que abordava, Feynman sempre conseguiu transmitir uma mensagem viva e actuante do pensamento científico, despertando um profundo optimismo, entusiasmo e gosto pela Física em sucessivas gerações de jovens estudantes, cientistas e professores. A sua salutar irreverência, humanismo e um raro sentido de comunicação, aliados à extrema facilidade com que aplicava métodos não convencionais na resolução de problemas complexos, são facetas inesquecíveis de Feynman, que marcaram todos quantos leram os seus escritos ou que com ele privaram.

O seu Curso de Física, ministrado no California Institute of Technology e editado em livro nas célebres «Feynman Lectures on Physics» (1963), passou desde então a constituir um ponto de referência obrigatória para todos os físicos, e uma fonte permanente de novas ideias inspiradoras, despertando sempre um grande prazer intelectual na sua leitura. Feynman tinha, de facto, uma curiosidade intelectual insaciável, tendo encontrado na Física um desafio supremo e permanente.

Gazeta de Física procurará prestar uma homenagem singela à memória de Richard Feynman, publicando em próximos números, artigos sobre a sua vida e obra, nas suas vertentes científica e humana.

Uma perspectiva construtivista para o ensino da Física

II — Objectivos para o Ensino de Física (*)

MARÍLIA FERNANDES THOMAZ

Departamento de Física, Universidade de Aveiro, 3800 Aveiro

1. Introdução

Nesta segunda parte do artigo pretende-se analisar alguns objectivos gerais para o ensino da física à luz da «Psicologia da Construção Pessoal» de George Kelly. O trabalho de Kelly parece oferecer uma teoria e uma metodologia baseadas numa posição epistemológica que põe ênfase na relatividade do conhecimento e no esforço e relevância do indivíduo na construção do seu próprio conhecimento. Se se adoptar a posição de Kelly e a sua metáfora «O Homem-O Cientista» o papel do professor de ciências deixa de ser o de transmissor de conhecimento para passar a ser o facilitador do desenvolvimento das capacidades e atitudes científicas do ser humano.

2. Objectivos para o ensino da Física à luz da «Psicologia da Construção Pessoal» de George Kelly

Numa perspectiva construtivista um dos objectivos da disciplina de física será o de ajudar os jovens a progredir na sua construção de conhecimento, usando como base o conhecimento já existente no indivíduo. Isto ajudará o estudante a desenvolver a habilidade de recordar certos factos e a compreender conceitos e princípios. Outro objectivo, adoptando o modelo de Kelly, «O Homem-O Cientista», é o de ajudar o desenvolvimento, no aluno, de certos «skills» ou habilidades mentais e práticas que são específicas da disciplina de física. Contudo um objectivo mais básico e mais vasto para um ensino construtivista será a utilização dos conteúdos de física como veículos para ajudar a compreensão de, e a simpatia com, os métodos da ciência, para ajudar os jovens a desenvolverem as suas capacidades, atitudes e habilidades científicas. Uma revisão de literatura sobre capacidades revela uma

certa confusão entre estes 3 termos. Enquanto que uns autores identificam certos atributos como «atitudes» outros identificam-nos como capacidades e outros ainda como «habilidades». Como Tasker, Freyberg e Osborne (1982) apontam, parece existir uma certa confusão entre objectivos relacionados com «habilidades», «hábitos científicos», «atitudes científicas» e «atitudes para com a Ciência».

2.1. O Desenvolvimento de Capacidades Científicas

No contexto deste artigo, considera-se «capacidades científicas» como o poder mental adequado para conhecer, compreender e realizar actividades científicas. Uma capacidade científica é por exemplo, a capacidade de ser capaz de encarar situações novas com *espírito aberto*. É a capacidade de ser *curioso* em relação ao desconhecido. É também o poder mental que cada um deve desenvolver de modo a ser capaz de, *criticamente* analisar situações científicas, afirmações, problemas, documentos, resultados experimentais, etc. É o talento de ser *criativo* no sentido científico, isto é, capaz de imaginar e criar situações que possam contribuir para a compreensão dos fenómenos numa nova perspectiva. Outra capacidade científica é a qualidade de ser capaz de realizar trabalho científico num grupo. Isto significa ser capaz de realizar *trabalho de grupo*, sendo um membro activo de um grupo, tendo em consideração os pontos de vista dos outros, sendo capaz de «negociar» os seus próprios em vez de os impor aos outros durante a execução duma tarefa científica. Ainda outra capacidade científica é a capacidade de *auto-confiança*. Entende-se por isto a aptidão que permite a uma pessoa reconhecer as suas próprias possibilidades de embarcar em explora-

(*) Parte I: Gazeta de Física, vol. 10, fasc.º 4, pp. 121-128 (Outubro 1987).

ções científicas. É a capacidade de ter confiança no seu próprio poder não ajudado e no seu próprio julgamento quando requerido para desempenhar tarefas científicas.

Vejamos a seguir como o desenvolvimento destas capacidades pode ser visto como um objectivo da educação em física compatível com uma perspectiva kellyiana da educação.

2.1.1. Capacidade de espírito aberto

O postulado fundamental da teoria de Kelly fala dos processos da pessoa como psicologicamente canalizados pela maneira como ela antecipa os acontecimentos. Os canais são estabelecidos como meios para atingir fins. O processo dum pessoa

«desliza para esquemas que podem ser postos de parte pelos mecanismos que ela adopta para realizar os seus objectivos. Assim o sistema de construção dum pessoa pode actuar como uma estrutura ou como uma prisão.» (Ryle, 1975).

A capacidade de *espírito aberto* tem um papel importante na demolição dessas grades. Se uma pessoa não tiver oportunidades para desenvolver esta capacidade, ou ainda pior, se a sociedade em que a pessoa está inserida actua como um agente retardador do desenvolvimento desta capacidade, o sistema de construção da pessoa transformar-se-á numa «grade» ou numa «prisão» e inibe o seu desenvolvimento. Para compreender a Ciência como actividade humana que é, os nossos futuros cidadãos devem aprender, através de experiências, que as suas ideias do que é verdade podem mudar. Eles devem ser capazes de rever as suas opiniões ou conclusões à luz de nova evidência. Uma tarefa dum professor de ciências (neste particular caso, de física), vista numa perspectiva construtivista é a de criar situações que possam ajudar o desenvolvimento da capacidade de espírito aberto. Maneiras de fazer isto são, por exemplo, dar ênfase às características dinâmicas da Ciência, desenvolver situações em que os jovens possam confrontar os seus diferentes pontos de vista e argumentá-los livremente em discussões de grupo envolvendo colegas e professor. Os professores devem levar os estudantes a com-

preender que o conhecimento está sempre aberto a mudança e revisão.

O conhecimento científico não pode ser visto como a verdade final mas sim como a explicação mais adequada para o mundo existente, numa certa altura. Experiências que promovem espírito aberto incluem aquelas em que os estudantes são confrontados com a necessidade de rever uma crença como resultado de ter adquirido informações novas sobre o assunto.

O carácter evolutivo da Ciência e a relatividade do conhecimento, tão fortemente defendidos por recentes filósofos da Ciência, implica que os professores de ciência, no seu papel de facilitadores do desenvolvimento dos estudantes como cientistas no sentido dado por Kelly, deveriam ajudá-los a desenvolver a capacidade de espírito aberto. Deveriam ajudá-los a ser capazes de aceitar inovações e adquirir a habilidade de processar soluções novas para problemas velhos.

2.1.2. Capacidade de espírito de curiosidade

Para Kelly, a construção da realidade é uma tarefa activa, criativa, racional e pragmática. Para ser capaz de embarcar nesta construção, é de importância vital que a pessoa possua *espírito de curiosidade*. Numa perspectiva construtivista, os professores deverão fomentar nos estudantes o desejo de compreensão quando confrontados com uma situação nova que eles não possam explicar em termos do seu conhecimento actual. Em vez de fornecer informações, os professores deverão motivar os alunos para obterem eles próprios a informação. Uma pessoa *curiosa* põe questões, procura informações e rapidamente inicia e desenvolve investigações. A curiosidade é um produto desejável da instrução. Mas quem são os mais curiosos? Normalmente as crianças pequenas. De certa maneira os nossos alunos vão perdendo o espírito de curiosidade à medida que avançam em idade. A curiosidade aprende-se. Ela pode ser desenvolvida ou reprimida na sala de aula. Situações problemáticas, em que as respostas e explicações não são postas imediatamente à disposição, ajudam a

estimular a curiosidade. Haney (1969) alerta para o facto de que uma das maiores tentações com que os professores de ciências se confrontam é a de dar respostas directas às questões postas pelos alunos, oferecendo imediatamente respostas fáceis. As soluções de problemas deverão levantar novos problemas. O aluno bem ensinado deverá encarar o comportamento humano, estruturas sociais e as afirmações da autoridade com o mesmo espírito de cepticismo que adopta em relação às teorias científicas. É assim que o futuro cidadão que não virá a ser um cientista, aprenderá que a Ciência não é memória ou magia mas sim uma forma disciplinada da curiosidade humana.

2.1.3. Capacidade de espírito crítico

As ideias novas não são aceites em ciência simplesmente porque são novas ou diferentes. Ser cientista significa, além de outras coisas, ter espírito crítico. Uma pessoa com esta capacidade desenvolvida procura evidências e argumentos que suportem as afirmações de outros. Desafia a autoridade com questões tais como: «Como sabe?», «Porque é que acreditamos?» Está preocupada com as fontes do seu conhecimento. Para promover o desenvolvimento desta capacidade de espírito crítico, os professores devem, durante as suas aulas, proporcionar suporte para as generalizações. Os alunos devem ser ensinados a procurar argumentos e evidências que suportem afirmações importantes e devem ser ensinados a fornecê-las nas suas próprias comunicações. Durante as aulas de física existem muitas situações em que o espírito crítico do aluno pode ser desenvolvido. Por exemplo, deve ser pedido aos alunos que interpretem os resultados numéricos de problemas físicos. O modo normal de instrução em matemática envolve o desenvolvimento de estratégias para a resolução dum tipo particular de problemas. É depois pedido ao aluno que aplique essa estratégia em exemplos numéricos. Esses exemplos numéricos são descritos na grande maioria dos livros e por professores como «exemplos», «exercícios», etc., mas raramente lhes é dado o nome de «problemas». Se os alunos não cometem quaisquer erros de

cálculo a solução está correcta. Contudo em física a resolução correcta do ponto de vista matemático pode conduzir a resultados incompatíveis com situações físicas. Uma análise crítica da solução numérica dum problema é uma boa oportunidade para desenvolver espírito crítico. Também a leitura de documentos históricos e bibliográficos fornece situações altamente propícias para o desenvolvimento desta capacidade.

2.1.4. Capacidade de criatividade

A História da Ciência contém muitas descrições de homens e mulheres que quebraram com tradições e olharam a natureza segundo uma nova perspectiva. Uma pessoa criativa está sensibilizadamente aberta a todas as suas experiências, aos outros indivíduos com quem mantém relações e sensibilizada também para todos os seus sentimentos e reacções. No entanto o desenvolvimento deste *espírito criativo* não deve ser deixado ao acaso. Para o desenvolver, na sala de aula, os professores devem proporcionar experiências em que os alunos possam ter oportunidades de planear as suas próprias investigações, bem como imaginar e avaliar a sua própria explicação para os fenómenos naturais. Os professores podem encorajar o comportamento criativo através de: (i) tratar com respeito questões fora do vulgar postas pelos alunos; (ii) respeitar ideias imaginativas; (iii) mostrar aos alunos que as suas ideias têm valor; (iv) proporcionar oportunidades e dar créditos à aprendizagem auto-iniciada; (v) fazer a eventual avaliação de causas e consequências. A propósito de criatividade Torrence, (1985, p. 12) diz «se a criatividade é cedo abafada, transforma-se em imitação». E tal como foi demonstrado por Getzeis e Jackson (1958) o espírito criativo contribui para a aquisição de informação.

2.1.5. Capacidade de trabalhar em grupo

As sociedades modernas, as escolas e mesmo as salas de aulas, são constituídas por uma variedade desconcertante de mundos sociais. Comunidade por si só não é suficiente para a compreensão interpessoal e para o pro-

cesso de interação social. O corolário da sociabilidade de Kelly reconhece que a construção dos indivíduos e dos grupos é negociada com aqueles com os quais eles vivem. Nesta perspectiva o desenvolvimento da capacidade de *trabalhar em grupo* é um objectivo, tão importante como os outros anteriormente mencionados, a ser adquirido através do ensino da física. Para promover o desenvolvimento desta capacidade os professores devem proporcionar situações em que isto possa acontecer. Estas situações podem ser de vária ordem, por exemplo, a análise crítica dum texto, o planeamento duma experiência, a interpretação de resultados experimentais, etc. Quando os alunos estão envolvidos em trabalho de grupo o papel do professor é de andar de grupo em grupo, assegurando-se de que todos os membros participam, respeitam as opiniões dos outros e que não existe nenhum membro que tome o papel de «líder» do grupo duma maneira inibidora da actividade dos outros. Através da minha experiência de 18 anos de ensino em classes de ambos os sexos e de 8 anos de observação de aulas como orientadora de estágio pedagógico, colhi evidência de que em grupos mistos é usual serem os rapazes a tomarem o papel de «líder» do grupo enquanto que as raparigas tomam um papel passivo. Os professores devem estar conscientes destas situações e actuar em conformidade.

2.1.6. Capacidade de auto-confiança

A ênfase na pessoa como construtora de significado é central à posição de Kelly. Ele rejeita a noção dum receptor passivo do conhecimento. Durante a minha vida profissional tenho tido oportunidade de observar situações de sala de aula em que um aluno actua como receptor passivo porque a sua capacidade de *auto-confiança* não está suficientemente desenvolvida para o ajudar a expôr livremente as suas ideias, para o ajudar a ter uma participação activa. Muitas vezes essa capacidade não é fomentada pelos professores que, talvez por não estarem conscientes disso, em vez de ajudar o seu desenvolvimento, actuam de modo a abafá-la. Creio que o objectivo de ajudar

o desenvolvimento desta capacidade de auto-confiança através do ensino de física é compatível com uma perspectiva construtivista do ensino. Esta capacidade revela-se quando uma pessoa é confrontada com diferentes situações que exigem dela uma acção directa, demonstrando uma auto-segurança bem fundada. Se, ao aluno que começa a verbalizar a sua compreensão dos fenómenos físicos sob observação, for negada a oportunidade e o tempo necessário para finalizar a sua acção, isso fá-lo-á perder auto-confiança em vez de a desenvolver. O «tempo de espera» dos professores, uma habilidade considerada em vários estudos sobre a eficácia do professor (ex. Row, 1974; Esquivel, Lashier e Smith, 1978; De Ture, 1979; Shulman, 1979; Tobin e Capie, 1983) não tem sido considerada em relação ao desenvolvimento desta capacidade de auto-confiança. Em minha opinião, a sua maior importância está na possibilidade de desenvolver esta capacidade.

2.2. O desenvolvimento de «atitudes científicas»

Entende-se por atitude científica uma disposição mental, um sentimento ou uma conduta em relação a problemas científicas. Conduzir uma actividade científica duma maneira rigorosa, precisa e correcta é demonstrar possuir a atitude científica de *rigor*. Esta atitude é também evidenciada pela, maneira como as pessoas dão opiniões ou fazem declarações. Ser *intelectualmente honesto*, quando se comunica os seus resultados é também ter uma atitude científica. A atitude mental de ser congruente com as suas próprias afirmações, de não ser auto-contraditório quando da resolução de questões científicas é também considerada uma atitude científica. É a atitude de *consistência*. O poder mental de estabelecer relações lógicas quando da interpretação de fenómenos científicos é também outra atitude científica. É a atitude de *racionalidade*. Demonstrar essa atitude em relação a problemas científicos é actuar dentro duma perspectiva não empirista da Ciência. A pessoa que demonstre capacidades científicas de espírito aberto e espírito crítico encara as questões

científicas com uma atitude de racionalidade. Actuar eficientemente quando da execução de actividades científicas, isto é, optimizar o tempo disponível para a sua realização é ter uma atitude *eficiente* em relação a essa actividade. Uma pessoa que possui capacidades de espírito crítico e de auto-confiança é mais capaz de demonstrar uma atitude de eficiência em relação a tarefas do que outra que as não possui.

Numa abordagem construtivista do ensino da física, aos professores cabe o papel de facilitador do progresso dos alunos nos seus aspectos científicos. É possível promover o desenvolvimento destas cinco atitudes científicas: *rigor, honestidade intelectual, consistência, racionalidade e eficácia* através do ensino de física. Vejamos em seguida algumas estratégias que podem ajudar a desenvolver estas atitudes.

2.2.1. Atitude de rigor

Ajudar o desenvolvimento da atitude de *rigor* durante a execução de experiências e na recolha e interpretação de dados parece ser relativamente simples de adquirir e testar quando os alunos estão envolvidos na realização de experiências se os professores estiverem conscientes da importância desta atitude nas suas futuras vidas como cidadãos. Como um cientista o homem deve ficar impaciente com afirmações vagas, túbias e emocionais sobre o significado de dados experimentais e, ou observações. Isto implica uma atitude de rigor quando da execução de experiências bem como na apresentação dos seus resultados. Os professores devem também ajudar os seus alunos a ser precisos nas suas afirmações o que implica que estes tenham oportunidades para as poder fazer.

2.2.2. Atitude de honestidade intelectual

Se os professores, trabalhando numa perspectiva construtivista, querem desenvolver nos seus alunos a atitude científica de *honestidade intelectual*, eles deverão perguntar-se como é recompensada a honestidade na sala de aula. Que atitude tomam quando após uma expe-

riência os alunos apresentam a resposta «certa» independentemente dos seus resultados experimentais? O valor dum experiência aberta para propósitos de instrução é que ela está mais próxima daquilo que fazem os cientistas nas fronteiras do conhecimento em que as respostas não são conhecidas. Os professores devem ajudar os seus alunos a ser intelectualmente honestos quando, por exemplo, comunicam os seus resultados, encarando essa tarefa como um meio de ajudar o progresso do seu desenvolvimento intelectual.

2.2.3. Atitude de consistência

Normalmente as crianças mostram uma falta de consistência entre as suas acções e afirmações bem como no desenrolar do seu discurso. Durante uma discussão mudam de argumento, contradizendo-se sem se quer darem por isso. O professor, no seu papel de facilitador do desenvolvimento humano, deve criar oportunidades para que os alunos possam expor livremente as suas opiniões, discuti-las com os colegas e ser alertados para a não consistência dos seus argumentos. Ajudar um aluno a rever as suas atitudes e actuações em consequência das suas opiniões e afirmações é ajudá-lo a desenvolver a atitude de *consistência*. Se o professor estiver alertado para a importância desta atitude na maneira como os indivíduos se comportam em sociedade, mais facilmente encontrará e proporcionará no dia a dia da sua profissão situações em que ela possa ser desenvolvida nos seus alunos. Semelhantemente, a interpretação dos fenómenos científicos deve ser consistente com as observações que cada um faz. Para que isto aconteça o professor deve ter um conhecimento claro do que é que cada aluno realmente observa. Será que há consistência entre a observação e a interpretação dum dado fenómeno? Ou será que a interpretação nada tem a ver com aquilo que na realidade o aluno observou? Numa ficha de registo das observações dum grupo de alunos encontrei a seguinte frase, «observámos que as moléculas de açúcar foram ocupar os espaços vazios entre as moléculas de água». Feita a pergunta se tinha sido mesmo isso que

tinham observado a resposta foi, «bem ... foi isso que o professor disse para escrever-mos». Como poderá um aluno assimilar a interpretação dum fenómeno científico se esta nada tem a ver com a sua visão do mundo? Como poderá um aluno compreender, por exemplo, os fenómenos da reflexão e da refacção se o seu modelo para o propagação da luz não implica uma propagação rectilínea da luz? (Uma grande percentagem de alunos no 9.º ano de escolaridade identifica luz com fonte de luz, e como resultado disso, a luz só se move se a fonte de luz se mover). Um outro objectivo da actuação dum professor, trabalhando numa perspectiva construtivista, deverá ser o de ajudar a desenvolver esta atitude de *consistência*.

2.2.4. Atitude de racionalidade

Infelizmente a nossa sociedade encontra-se ainda impregnada de crenças em magia, de preconceitos absurdos e de atitudes fundadas em sentimentos desprovidos de razão. Um grande número de crianças e de adolescentes trazem para a sala de aula certas superstições que ainda existem nos seus mundos (e talvez mesmo dentro da escola!) e mostram falta de racionalidade na interpretação dos fenómenos naturais. Uma outra tarefa do professor de física, trabalhando numa perspectiva construtivista deverá ser a de ajudar a desenvolver esta atitude de racionalidade através do ensino dos conteúdos de física, quer quando os alunos estão envolvidos em discussões de sala de aula, quer quando da interpretação de fenómenos físicos.

2.2.5. Atitude de eficiência

Os professores deverão estar alertados para a importância da atitude de *eficiência* no desenvolvimento humano dos seus alunos. Eficiência é a atitude daquele que tem produtividade, do que obtém resultados, do que é competente. Tenho observado muitas situações em aulas de física em que nem os professores nem os alunos se encontram realmente preocupados em completar o trabalho que deveriam fazer. Para promover o desenvolvimento desta atitude devem ser proporcionadas situações em que os

alunos sejam estimulados a obter resultados num período fixo de tempo, usar eficientemente os meios que têm para organizar e completar os seus trabalhos. Toda a tarefa deve ser levada até ao fim por mais insignificante que pareça.

2.3. O desenvolvimento das «habilidades dos processos científicos»

Para Kelly o comportamento humano não é guiado por instintos (como defendem teorias psico-analíticas) nem é determinado por estímulo e resposta (como defendem as teorias comportamentais e skinerianas). Segundo a analogia de Kelly, «O Homem-O Cientista» e «O Cientista-O Homem» estão ambos envolvidos num processo de observação, interpretação, previsão e controlo (Pope e Keen, 1981). Elkana (1970) faz uma distinção útil entre as tácticas da ciência e as estratégias da Ciência,

«as tácticas da ciência constituem o método especial pelo qual os cientistas procedem a partir dum questão científica bem fundamentada até à sua solução. Faz também parte das tácticas da ciência mostrar, interpretar o resultado experimental à luz da teoria que ajudou a formular as questões ... As estratégias da Ciência são as escolhas de problemas fundamentais originadas pelas re-suposições metafísicas subjacentes».

As tácticas da ciência dá-se usualmente o nome de «processos da Ciência». As habilidades dos processos científicos são as habilidades para usar o conhecimento próprio quando se faz Ciência. Finley (1983) relata uma investigação sobre as fundamentações epistemológicas da concepção dos processos da ciência, tal como têm sido considerados durante os últimos 20 anos por investigadores, organizadores de curricula e educadores em ciência. Os resultados de tais investigações indicaram que «um compromisso com o empirismo indutivista impregnou a visão que existe presentemente sobre os processos da ciência». No seu artigo conclui que quando esse compromisso fica sujeito ao criticismo filosófico, são evidenciadas duas das suas maiores tendências.

«Primeiro, o inquérito visto como um processo indutivo não é sustentável porque não existe um esquema de referência para julgar que factos

devem ser seleccionados ou como devem ser organizados. Adicionalmente não existe nenhuma maneira lógica para deduzir indutivamente afirmações gerais novas a partir de conjuntos de factos. Segundo, a ideia de que toda a informação com sentido ou todo o conhecimento é deduzido directamente da experiência é também insustentável. As nossas percepções são, em larga escala determinadas e seleccionadas de acordo com o conhecimento que possuímos à priori acerca da natureza dos objectos e dos acontecimentos.»

Uma das implicações para a educação em ciência da visão da Ciência defendida por modernos filósofos da Ciência está relacionada com o ensino dos processos científicos. Tal como foi apontado por Finley, os processos da ciência estão estreitamente ligados a contextos. Os processos serão diferentes de disciplina para disciplina e diferentes mesmo numa disciplina quando nela estão a ser tratados aspectos conceptuais diferentes. Finley alerta para que,

«se os educadores em ciência tentam compreender melhor a natureza da Ciência, a relação entre conteúdos e processos deve ser bem compreendida ... Se continuarmos a ver os processos separados do conteúdo, corremos o risco de colocar os alunos numa posição em que é difícil ou mesmo impossível para eles apreender aquilo que se espera que aprendam.»

O desenvolvimento das habilidades dos processos da ciência através do ensino dos conteúdos de física é compatível com uma visão construtivista da educação em ciência. Nesta perspectiva, a Ciência é vista como progredindo à luz do conhecimento existente. O conhecimento conceptual é visto como um incentivo para os processos da Ciência e não como um resultado deles. Isto implica que o desenvolvimento das habilidades relacionadas com esses processos possa ser somente adquirido através da construção do conhecimento científico. Assim, numa perspectiva construtivista, o desenvolvimento destas habilidades de processo científico é encarado também como um objectivo do ensino da física num nível educacional geral.

Neste contexto entende-se por habilidades do processo científico as seguintes: *observação*,

(rigorosa e sistemática); *formulação de hipóteses* (para explicar observações e medidas); *concepção, planificação e execução de experiências*; *manipulação* (de materiais, instrumentos de medida e aparelhos científicos); *comunicação*; *previsão*; *inferição*.

Tal como apontado por Pope e Gilbert (1983), o conhecimento em ciência pode ser visto como progredindo a partir da construção de consenso de uma comunidade científica sobre um determinado tópico. O corpo de conhecimento formal a que chamamos Ciência pode ser visto como construído por, e relacionado com, os compromissos pessoais daqueles que formam a comunidade científica. As crianças, são «cientistas», isto é, têm as suas teorias pessoais e sentem prazer com a experimentação. Através das suas experiências directas com o mundo físico e com o ensino informal, a criança desenvolve um conjunto de teorias pessoais de modo a explicar acontecimentos. O conhecimento científico pessoal das crianças ou as suas ideias intuitivas ou conceitos alternativos (Viennot, 1979); Gilbert e Osborne, 1980; Watts, Gilbert e Pope, 1983) têm uma forte implicação no ensino da ciência. Um grande número de estudos recentes têm mostrado que essas ideias são frequentemente resistentes a mudança e são impenetráveis ao ensino tradicional das ciências, (Viennot, 1979; Thomaz, 1982). Outra tarefa dum professor, encarada dum ponto de vista construtivista, é a de proporcionar aos aprendizes situações em que as suas construções pessoais possam ser articuladas, desenvolvidas e confrontadas com construções formais aceites cientificamente. Para realizar esta tarefa, os professores têm que estar alertados para a existência dessas ideias intuitivas nos seus alunos e imaginar maneiras de as investigar. Mas, igualmente tão importante como isto, eles precisam de ser capazes de ajudar os seus alunos a *tomar consciência das suas próprias ideias sobre as observações científicas*. Somente depois disso podem os alunos entrar em conflito com as próprias ideias e transformá-las ou mudá-las para outras mais científicas que os ajudarão a *progredir quer no seu desenvolvimento inte-*

lectual quer na *construção do seu conhecimento*. Nesta perspectiva, outro objectivo importante para o ensino da física é o de ajudar os alunos a: (i) *tomar consciência das suas interpretações pessoais nas observações científicas*; (ii) *progredir no seu desenvolvimento intelectual e na construção do seu conhecimento*. Se os professores adoptarem uma abordagem kellyiana no ensino da física estarão em boas condições para ajudar os seus alunos a *desenvolver atitudes positivas em relação à disciplina de física e a apreciar a ciência como uma actividade de interesse para o cidadão comum*. Evidência disto é apresentada por Thomaz, 1986.

Em anexo apresenta-se um pequeno extracto da transcrição da gravação duma aula conduzida numa perspectiva construtivista. O extracto é seguido duma breve análise do mesmo.

ANEXO

TRANSCRIÇÃO DUM PEQUENO EXTRACTO DUMA AULA CONDUZIDA NUMA PERSPECTIVA CONSTRUTIVISTA

(Aula dada por uma aluna estagiária procurando pôr em prática o modelo construtivista que desenvolveu na disciplina de «Didáctica da Física» no ano anterior).

(9.º ano de escolaridade)

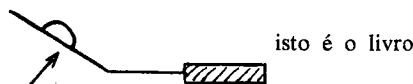
Aula sobre o conceito de «trabalho»

Depois da exploração das ideias intuitivas dos alunos sobre o conceito e da condução duma discussão sobre o sentido científico da palavra «trabalho» a professora apresentou à classe o seguinte problema:

1. P—suponham uma situação em que uma pequenita de 5 anos e um homem de 50 anos levantam um livro muito pesado do chão até à mesma mesa ... o trabalho realizado pelos dois é o mesmo ou não?
(reacção imediata e espontânea da classe)
2. A₅—ohl não ... a pobre pequenita fez um trabalho muito maior do que o homem ...
—a miúda fez um trabalho muito maior ...!
3. P—porquê?
4. A₁—porque ela é mais fraquinha do que o homem ...
5. A₂—sim ... embora o livro fosse o mesmo ...
6. A₃—... e a distância também fosse a mesma ... a miúda ... fez um esforço maior
7. P—bem ... vocês estão dizendo que o livro é o mesmo ... a distância é a mesma ... pensem

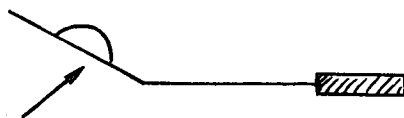
melhor sobre o trabalho realizado por ambos ...

8. A₁—... bem ... mas a pequenita é mais fraquita que o homem ... não é ...?
9. A₄—... mas ... bem ... realmente o trabalho deveria ser o mesmo ...
10. A₃—não pode ser ... pobre mocita!
11. A₅—pois é ... na verdade o trabalho tem que ser o mesmo ... porque ... se o livro é o mesmo ... o peso do livro é o mesmo ... e a distância é a mesma ...
12. A₂—mas o homem não precisa de fazer a mesma força ... porque ele é mais forte que a pequenita ...
13. A₃—(todos a falar ao mesmo tempo)
14. P—por favor ... fala um de cada vez ...
15. A₄—«Stôra» posso explicar? ... julgo ... que já percebi ... a miúda fez um esforço maior do que o homem ... certo? ... mas o trabalho é o mesmo ...
16. A₁—o quê? ... o que é que ela está a dizer? ...
17. A₄—quer dizer ... o trabalho é o mesmo ... mas é relativo ... não sei como hei-de explicar ... mas sinto isso ...
18. A₈—não pode ser! ...
19. A₇—eu julgo que sou capaz de explicar ... ela tem razão ... é relativo ...
20. P—o que é que tu queres dizer com ... «relativo»? ...
21. A₇—posso ir ao quadro? ...
22. P—claro! ...
23. A₇—vou tentar explicar com um desenho ... suponhamos que isto é o braço da miúda (desenha)



isto é o músculo do braço dela

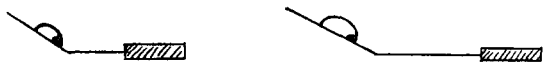
e agora suponham que isto é o braço do homem (desenha)



isto é o músculo do braço do homem ...

claro que o músculo do homem é muito maior do que o da pequenita (risota) ... quando eles levantam o livro a força é a mesma ... é igual ao peso do livro mas no sentido oposto ... e a distância do chão à mesa ... é a mesma para os dois ... então o trabalho é o mesmo para os dois ... então o trabalho é o mesmo ... mas ... bem se pensarmos no esforço feito por cada um ...

bem ... podemos imaginar por exemplo que isso corresponde a ... tirar um bocadinho de cada músculo ... bem ... a quantidade tirada a cada músculo é a mesma ... só que relativamente ao músculo da miúda é maior do que relativamente ao músculo do homem ... estão a ver?



24. A₅ — oh! ... sim
— ... uhm ...
25. A₅ — ... claro ... a miúda fica mais cansada do que o homem ...
26. A₃ — sim ... estou a ver ... embora o trabalho seja o mesmo ...

ANÁLISE

A análise deste pequeno extracto da aula revela os seguintes pontos:

- a professora preocupou-se em proporcionar situações em que as ideias intuitivas dos alunos entrassem em conflito; (1)
- a sua intervenção durante a discussão foi mínima permitindo aos alunos exprimirem livremente as suas ideias;
- exceptuando uma intervenção (14), as restantes foram feitas no sentido de promover a discussão e levar os alunos a pensar por si próprios; (1, 3, 9, 20, 22)
- apesar do conceito «trabalho» ter sido tratado na parte da aula anterior a este extracto, é notório como as ideias intuitivas dos alunos sobre o mesmo persistiram não tendo ainda ocorrido desenvolvimento conceptual; (2, 4, 6, 8, 10, 12, 18)
- é interessante notar como a pouco e pouco, através da discussão, os alunos se foram mutuamente ajudando a transformar as suas ideias intuitivas no sentido de chegar a outras mais correctas cientificamente; (9, 11, 15, 19, 23, 24, 25, 26)
- durante este pequeno extracto podem identificar-se situações em que houve oportunidades para o desenvolvimento de espírito de abertura, de curiosidade, de criatividade, auto-confiança, racionalidade e comunicação. (2, 4, 5, 6, 8, 11, 15, 17, 19, 21, 23, 24, 25, 26)

REFERÊNCIAS

- DETURE, L. — «Relative Effects of Modelling on the Acquisition of Wait-Time by Preservice Elementary Teachers and Concomitant Changes in Dialogue Patterns». *J. of Res. in Sci. Teaching*, **16**, 553-562 (1979).
- ELKANA, Y. — «Science, Philosophy of Science and Science Teaching». *Edu. Phil. and Theory*, **2**, 15-35 (1970).
- ESQUIVEL, J.; LASHIER, W. e SMITH, W. — «Effect

of Feedback on Questioning of Preservice Teachers in SCIS Microteaching». *Sci. Educ.*, **62**, 209-214 (1978).

- FINLEY, F. — «Science Processes». *J. of Res. in Sci. Teaching*, **20**, 45-54 (1983).
- GETZELS, J. e JACKSON, P. — «The Meaning of Giftedness — An Examination of an Expanded Concept». *Phi Delta Kappan*, **40**, 75-77 (1958).
- GILBERT, J. e OSBORNE, R. — «I Understand, but I don't get it — Some Problems of Learning Sciences». *Sch. Sci. Review*, **61**, 664-674 (1980).
- HANEY, R. — «The Development of Scientific Attitudes». In Hans, O. Anderson, (ed). *Readings in Science Education for the Secondary School*, London, Collier — MacMillan Limited (1969).
- POPE, M. e KEEN, T. — *Personal Construct Psychology and Education*. London, Academic Press. (1981).
- POPE, M. e GILBERT, J. — «Constructive Science Education». Paper presented at Personal Construct Psychology Conference, Boston, July 1983 (1983).
- ROW, M. — *Teaching Science as Continuous Enquiry*. MacGraw-Hill (1974).
- RYLE, A. — *Frame and Cages: The Reportory Grid Approach to Human Understanding*. Sussex, University Press (1975).
- SHULMAN, L. — «Research on Teaching: The Missing Link in Curriculum Implementation». In P. Tamir et al. (eds.) *Curriculum Implementation and its Relationship to Curriculum Development in Sciences*, Jerusalem, Israel, Science Teaching Center, Hebrew University, 77-84 (1979).
- TASKER, R.; FREYBERG, P. e OSBORNE, R. — «A Report on the First Phase of the Learning Science Project». Final Report, New Zealand, Department of Education, University of Waikato (1982).
- THOMAZ, M. — «Uma Análise da Compreensão dos Alunos sobre O Conceito de força». Comunicação apresentada no 3.º Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa de Física, Coimbra, 1982 (1982).
- THOMAZ, M. — «Towards a Constructivist Model for Science Teacher Education». Tese de Ph. D., University of Surrey, England (1986).
- TOBIN, K. e CAPIE, W. — «The Influence of Wait Time on Classroom Learning». *Eur. J. of Sci. Education*, **5**, 35-48 (1983).
- TORRANCE, E. — *Rewarding Creative Behaviour*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, Inc. (1965).
- VIENNOT, L. — «Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics». *Eur. J. of Sci. Education*, **1**, 205-21 (1979).
- WATTS, D.; GILBERT, J. e POPE, M. — «Alternative Frameworks. Representing of School Children's Understanding of Science». Paper presented to the 1st International Symposium on Representing Understanding, Guy's Hospital, London (1982).

A composição da atmosfera e a vigilância da qualidade do ar

Um exemplo de multidisciplinaridade

RENATO A. C. CARVALHO

Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

A atmosfera terrestre é o invólucro gasoso que cobre o Globo terrestre, constituindo com este o planeta Terra. A sua composição actual é o resultado da evolução geológica e biológica da Terra e nela se distinguem dois grandes grupos de gases: os gases maioritários e os minoritários. Os primeiros são o azoto e o oxigénio que correspondem a cerca de 99 % do volume da homosfera, que se estende até cerca de 80 km de altitude, e em que a proporção dos gases que constituem a atmosfera se mantém sensivelmente constante e a que corresponde a «massa molecular» de 28,9.

No Quadro 1 apresenta-se a proporção dos diferentes gases que constituem a homosfera,

Quadro 1—*Composição normal da atmosfera terrestre*
(homosfera: $z \lesssim 80$ km)

Componente	Volume (%)
Azoto (N ₂)	78,084
Oxigénio (O ₂)	20,946
Argon (Ar)	0,934
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,033 (VAR)
Neon (Ne)	0,00182
Hélio (He)	0,00052
Kripton (Kr), Hidrogénio (H ₂), Xenon (Xe), Radão	0,00066
Ozono (O ₃)	VAR
Vapor de água (OH ₂)	VAR

sendo de referir que os gases raros (Ar, Ne, He, Kr, Xe) que se encontram ainda na atmosfera correspondem a «relíquias geológicas» da atmosfera primitiva da Terra, assim como o dióxido de carbono que se terá formado após a intensa actividade vulcânica da Terra a que correspondeu o lançamento de grandes

quantidades de gases (hidrogénio, amoníaco, hidrocarbonetos, gases sulfurosos, vapor de água, etc.); nesta fase as reacções químicas na atmosfera terão sido complexas, mas poderá distinguir-se a dissociação do vapor de água por acção da radiação solar e a oxidação do amoníaco e dos hidrocarbonetos com a formação da segunda atmosfera com predominância do azoto (N₂), do dióxido de carbono (CO₂) e vapor de água.

Com o aparecimento da vegetação na Terra, esta provoca a libertação do oxigénio (O₂) existente no dióxido de carbono e assim surge a terceira atmosfera, em que predominam ainda o azoto e o vapor de água e agora também o oxigénio. Finalmente dá-se um arrefecimento significativo da Terra, incluindo portanto a sua atmosfera, o que leva à condensação da maioria do vapor de água atmosférico que dará origem à formação dos oceanos.

Reconhece-se portanto que os componentes da atmosfera terrestre actual tiveram origem em épocas muito diferenciadas da evolução geológica da Terra e as suas proporções têm variado significativamente o que só por si justifica as alterações do clima da Terra ao longo das eras geológicas.

A actual composição normal da atmosfera terrestre determina propriedades características e únicas designadamente dos pontos de vista químico e radiativo, sendo frequentemente designada «Ar Limpo». Com efeito, do ponto de vista químico todos os gases indicados no Quadro 1 não reagem entre si, o que garante a proporção em que se encontram, e do ponto de vista radiativo têm propriedades que determinam o clima da Terra.

Atendendo à importância decisiva que têm as propriedades radiativas dos principais componentes da atmosfera no estabelecimento do

clima terrestre, apresentam-se na fig. 1 os respectivos espectros de absorção-emissão; é de salientar a grande transmissividade da atmosfera nos domínios dos pequenos comprimentos de onda (c.d.o; radiação solar), resultante da sobreposição das «janelas» correspondentes aos diferentes componentes. Por outro lado, nos domínios dos grandes c.d.o. (radiação terrestre) a transmissividade da atmosfera é em regra pequena ou nula, como resultado da não coincidência das «janelas» existentes nestes c.d.o., correspondentes aos diferentes componentes, excepto nas bandas de 8,5 a 9,2 μm e 10,5 a 13 μm . Deverá referir-se que estas bandas são designadas como «janelas espectrais» da atmosfera e são intensa e extensivamente utilizadas na observação da Terra por meio de satélites artificiais portadores de radiómetros específicos para estas bandas.

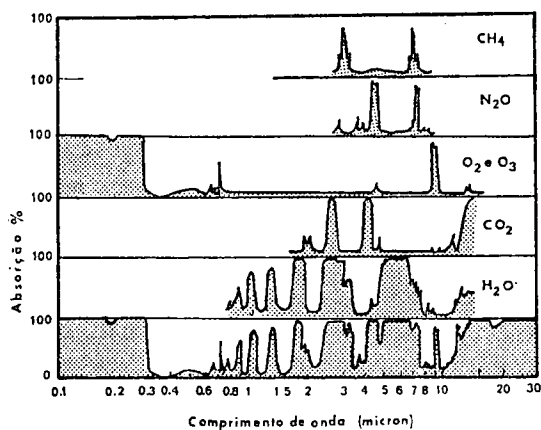


Fig. 1 — Espectros de absorção de componentes atmosféricos e da atmosfera global.

Quando se verifica uma alteração significativa na composição normal da atmosfera, quer por variação acentuada da proporção dos gases que a constituem, quer por surgirem outros componentes em proporções significativas, o ar diz-se poluído. Assim, a poluição da atmosfera, que frequentemente é definida como a presença de substâncias na atmosfera que são prejudiciais à saúde humana, é um conceito mais amplo; com efeito dir-se-á que a atmosfera está poluída quando se verificarem desvios significativos da sua composição normal

a que correspondem efeitos ecológicos importantes: alterações do clima, afectação da vida biológica (quer animal quer vegetal), modificações dos ciclos geoquímicos, etc. Nestas condições e atendendo à extraordinária importância, não só local e regional mas também global que tem a vigilância da qualidade do ar, isto é, a vigilância da composição da atmosfera, tornou-se da maior acuidade o estabelecimento de programas de medição em diferentes escalas espaço-temporais, da concentração dos componentes minoritários da atmosfera de maior significado, não só no âmbito da protecção directa das populações e dos seus bens mas também com vista à prevenção de eventuais alterações da composição da atmosfera que levem a modificações significativas do clima da Terra. Neste último domínio são de destacar dois programas mundiais realizados sob a égide da Organização Meteorológica Mundial, em que Portugal participa activamente:

a) «Programa da Camada de Ozono» em que do ponto de vista observacional existem redes de observação directa e indirecta da concentração do ozono troposférico e estratosférico.

As observações directas são principalmente executadas com ozonómetros com registo contínuo da concentração do ozono à superfície do Globo e com ozonossondas que permitem a transmissão radioeléctrica para a superfície dos valores medidos da concentração do ozono até altitudes da ordem de 35 a 50 km.

As observações indirectas são executadas com espectrofotómetros que utilizando as características do espectro de absorção do ozono permitem a medição da concentração do ozono total na vertical do local da observação, assim como a determinação da distribuição vertical da concentração do ozono (perfil vertical).

Como consequência da importância de ser garantida a «normalidade» da camada de ozono (ozonofera entre 30 a 50 km de altitude) tendo em vista que as suas propriedades radiativas, designadamente a sua capacidade de absorver a radiação solar na banda do ultravioleta ($0,22 < \lambda < 0,29 \mu\text{m}$) (Fig. 1) que é fortemente letal, a comunidade internacional,

sob os auspícios da ONU, elaborou a «Convenção Internacional de Protecção da Camada de Ozono», que foi subscrita por grande maioria dos Estados, e que traduz a grande preocupação da conservação da composição da atmosfera como factor essencial da conservação da Natureza.

Deve referir-se que a eventual «destruição da camada de ozono» (entenda-se «destruição» no sentido da provocação de alterações significativas na concentração do ozono na ozonoesfera) provocaria o aumento muito significativo da intensidade da radiação ultravioleta à superfície do Globo, que levaria à destruição extensiva da vida vegetal com os correspondentes desequilíbrios ecológicos.

Os estudos realizados em programas de investigação relativos ao ciclo do ozono (formação-destruição) mostraram que certas substâncias que são inertes à superfície do Globo, como é o caso dos clorofluórcarbonos que são utilizados intensivamente como agente propulsor nos «spray» e certas substâncias usadas nos frigoríficos como fluido permutador do calor, devido à sua pequena densidade, quando libertados atingem a ozonoesfera onde vão provocar reacções que destroem o ozono com a sua consequente redução de concentração. Existem por isso recomendações internacionais, que têm vindo a ser adoptadas por alguns Estados no sentido das referidas substâncias virem a ser substituídas por outras que não sejam destruidoras do ozono, embora com os consequentes custos financeiros que terão que ser suportados pelos consumidores: é um custo da protecção da Natureza à escala global.

b) «Background Air Pollution Monitoring Network» (BAPMoN) em que existem programas de observação com o objectivo de avaliar a evolução temporal da concentração de componentes minoritários da atmosfera nas escalas global e regional/continental resultantes da actividade antropogénica e/ou fenómenos naturais (por exemplo as erupções vulcânicas, incêndios florestais, etc.).

Nestes programas destacam-se as observações da concentração de dióxido de carbono à superfície do Globo (este componente, devido

à sua grande densidade, encontra-se concentrado na baixa troposfera), da concentração e natureza das partículas em suspensão na atmosfera, quer à superfície (por amostragem directa) quer o valor integrado na vertical (por observação indirecta da turvação da atmosfera, recorrendo às características da interacção entre a radiação solar e as partículas em suspensão); e ainda das características físicas e químicas de amostras da água da precipitação e da deposição seca, que constituem indicadores relevantes da qualidade e características da atmosfera na escala regional/continental.

Frequentemente são também executadas observações da concentração à superfície de outros componentes minoritários da atmosfera, em particular aqueles que resultam de actividades antropogénicas como são os compostos de enxofre (dióxido de enxofre, sulfatos) e os óxidos de azoto que se formam na queima dos combustíveis fósseis (carvão petróleo, gás).

Na Fig. 2 apresenta-se a rede mundial de estações integradas no programa BAPMoN, sendo de referir que em Portugal a sua implementação foi iniciada em 1979, funcionando actualmente 3 estações de nível regional que serão complementadas com mais 3 estações até 1988.

No âmbito da vigilância da qualidade do ar, com vista à protecção da saúde das populações e da salvaguarda dos seus bens, é frequente a instalação de redes de medição da concentração de poluentes da atmosfera em regiões industriais e/ou urbanas. Nas regiões industriais os programas de vigilância da qualidade do ar são estabelecidos de acordo com a natureza dos processos industriais utilizados, que determinam as características dos efluentes que vão contaminar a atmosfera; por outro lado, nos grandes aglomerados urbanos os poluentes mais frequentes são os que resultam das combustões, quer em instalações fixas quer em veículos móveis, sendo de destacar as partículas, dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de azoto e hidrocarbonetos. No caso das partículas é de salientar a importância da vigilância quer das partículas de carbono que são lançadas nas

combustões do carvão e do gasóleo quer das partículas de chumbo que são lançadas na atmosfera, resultantes da combustão das gasolinas nos motores de explosão dos veículos motorizados; com efeito a sua importância na deterioração da saúde humana é bem conhecida e por isso nas regiões urbanas a sua vigilância é de importância vital.

a distribuição espaço-temporal das suas concentrações nas vizinhanças das respectivas fontes (30 a 50 km) e a grandes distâncias (superiores a 50 km).

Outros aspectos fundamentais nas condições de transporte e dispersão dos poluentes da atmosfera são as condições físicas da fronteira inferior da atmosfera, isto é, a natureza

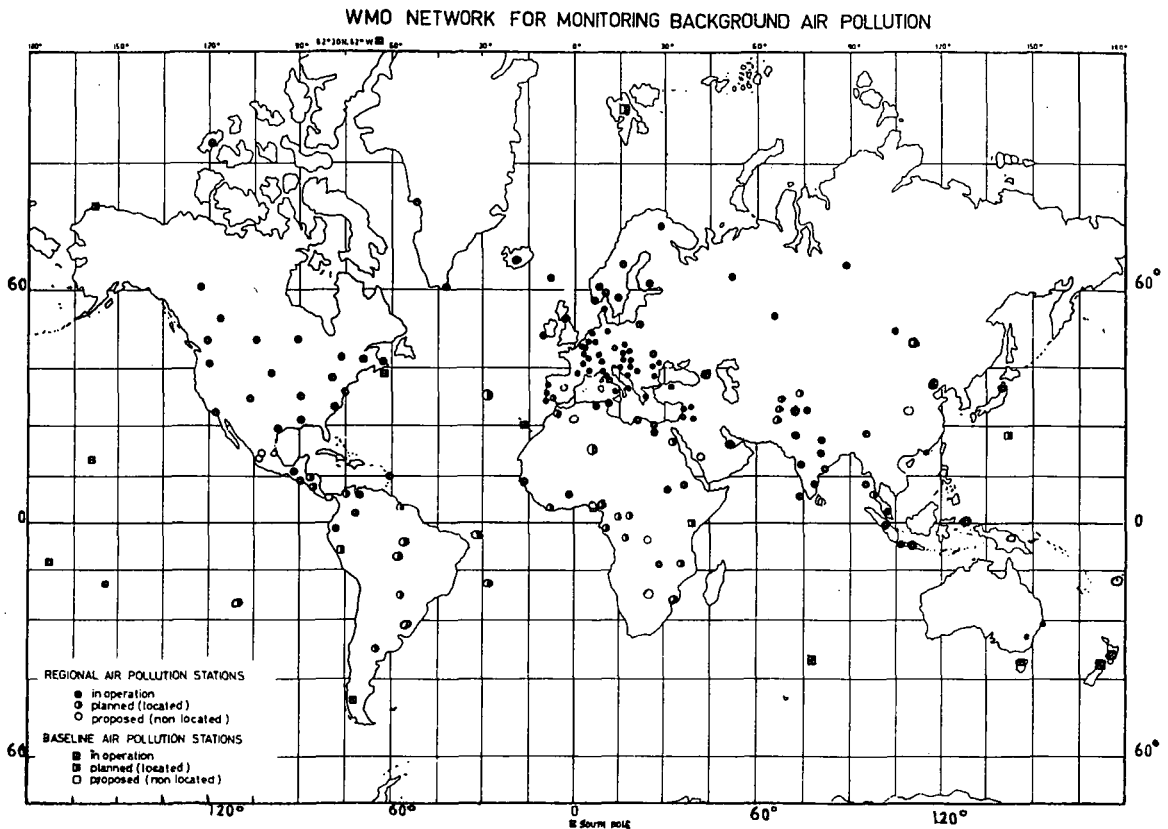


Fig. 2 - Rede mundial de estações do programa BAPMoN (Background Air Pollution Monitoring) da OMM

Deve ainda salientar-se a importância da inclusão de estudos das condições físicas da baixa troposfera quando se estabelece um projecto de vigilância da qualidade do ar. Na verdade as condições físicas da baixa troposfera, em que se destacam o regime dos ventos, as condições de estabilidade estática, a espessura da camada da baixa troposfera em que se pode dar o transporte e a dispersão dos poluentes atmosféricos lançados à superfície do Globo, são factores que determinam as condições em que se faz o transporte e a dispersão dos poluentes da atmosfera, e portanto

da superfície do Globo e do seu revestimento, sendo de destacar as condições orográficas e topográficas, assim como a natureza e dimensão dos obstáculos existentes na superfície que vão modular os perfis do vento em altitude e introduzir deformações no campo do movimento horizontal da baixa troposfera.

Como exemplo de aglomerado urbano em que a vigilância da qualidade do ar deverá constituir preocupação saliente, poderá referir-se a cidade de Macau. Trata-se de aglomerado urbano, com população que ultrapassa 400 000 habitantes, ocupando a área da ordem

de 15 km², correspondendo portanto a uma das maiores densidades médias populacionais do mundo: superior a 27 000 habitantes/km². Deve no entanto salientar-se que a distribuição da população não é uniforme em toda a área urbana e por isso existem freguesias em que a densidade populacional ultrapassa 500 000 habitantes/km².

Por outro lado, o surto de desenvolvimento económico nos últimos 10 a 15 anos introduziu no tecido urbano numerosas unidades industriais de pequena e média dimensão que são responsáveis por numerosas fontes fixas de poluição da atmosfera. De maior importância ainda o aumento muito significativo do parque de viaturas motorizadas que circulam num sistema viário constituído essencialmente por vias estreitas e frequentemente «encaixadas» em edifícios de altura significativa, que reduzem drasticamente as condições de ventilação, o que permitiria a dispersão dos efluentes do escape dos motores.

Tendo em atenção os problemas indicados e ainda a existência no território de Macau de 2 centrais termo-eléctricas (1 em Macau e 1 na ilha de Coloane a cerca de 8 km a sul de Macau) e de uma unidade industrial de produção de cimento, foi iniciado em 1985 um «Projecto de Vigilância da Qualidade do Ar em Macau» que contém três componentes essenciais:

- 1) Estudos meteorológicos e climatológicos da baixa troposfera na região de Macau para definição das condições características de transporte e dispersão dos poluentes da atmosfera.

- 2) Aplicação de modelos de transporte e dispersão de poluentes da atmosfera lançados por fontes fixas (chaminés) e por fontes móveis (veículos motorizados).

- 3) Estabelecimento e exploração de redes de observação da concentração à superfície dos poluentes da atmosfera característicos na região.

Os estudos climatológicos têm em vista caracterizar o campo do movimento horizontal na região da baixa troposfera, isto é até 6 km de altitude, assim como a sua estrutura térmica

vertical com especial destaque para a caracterização das inversões de radiação e das inversões na baixa troposfera. Nestes estudos são utilizados os resultados das observações aerológicas, executadas durante 5 anos em Hong Kong, que são representativos das condições regionais. Os resultados das observações utilizadas correspondem a 4 sondagens diárias do vento em altitude e 2 radiossondagens diárias, em que foram medidas de forma contínua ao longo da vertical as 3 variáveis que caracterizam o estado termodinâmico da atmosfera: pressão atmosférica, temperatura e humidade relativa do ar. Assim, com estes resultados das observações aerológicas é possível definir uma sucessão de estados da baixa troposfera na região, que permitem caracterizar estatisticamente os aspectos salientes do regime do movimento assim como dos estados termodinâmicos da baixa troposfera, com discriminação temporal de 6 horas no caso do vento e de 12 horas no caso dos estados termodinâmicos.

A fim de caracterizar o estado termodinâmico da baixa troposfera numa escala temporal mais fina, isto é, da ordem de 1 hora, em particular no que se refere às condições da sua estabilidade estática, recorre-se a métodos indirectos baseados no balanço da radiação à superfície e nas características turbulentas do vento à superfície, obtidas a partir dos resultados das observações horárias executadas durante 10 anos nas estações meteorológicas existentes no Território de Macau.

Constitui-se assim um banco de dados meteorológicos de superfície e de altitude, que permitem caracterizar os diferentes estados da baixa troposfera que vão ser utilizados no estudo e análise das condições de transporte e dispersão dos poluentes e, utilizando modelos gaussianos de dispersão, determinam-se as distribuições das concentrações dos poluentes na região de Macau.

Em 1987 foi iniciada a instalação das redes de medição da concentração dos diferentes poluentes mais significativos na região, designadamente:

- a) Rede de 5 postos de medição da concentração de partículas totais em suspensão na

Modelo gaussiano de dispersão de poluentes atmosféricos, para fontes pontuais contínuas

1 — Concentração de poluentes

O modelo gaussiano que permite avaliar estimativas da concentração média, para amostragens de cerca de 1 hora, de um gás ou aerosol emitido por uma fonte poluente pontual contínua é traduzido analiticamente pela expressão:

$$\bar{\chi}(x, y, z) = \frac{Q}{2\tau\sigma_y\sigma_z\bar{u}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \left[\exp\left(-\frac{(z-h-2nL)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h+2nL)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \right\} \quad (1)$$

dióxido de enxofre e de partículas em suspensão (fumos negros) na atmosfera à superfície.

c) 1 posto de medição em contínuo, com analisadores automáticos, da concentração à superfície de dióxido de enxofre, óxidos de azoto e monóxido de carbono.

d) Rede de 5 postos de medição da deposição de partículas sedimentáveis, em períodos de 15 dias, instalada nas vizinhanças da fábrica de cimentos.

Este conjunto de redes de medição directa da concentração dos poluentes da atmosfera à superfície, em Macau, permitirá estabelecer não só os indicadores preliminares da qualidade do ar na região, mas permitirá também proceder à calibração do modelo gaussiano de dispersão que permitirá caracterizar não só as distribuições das concentrações médias dos principais poluentes mas também as distribuições das concentrações dos poluentes em estações bem definidos da atmosfera na região.

Em Apêndice apresenta-se a descrição dos aspectos essenciais do modelo gaussiano utilizado no Projecto de Vigilância da Qualidade do Ar em Macau.

em que:

$\bar{\chi}(x, y, z)$ é a concentração média horária de um gás ou aerosol num ponto de coordenadas (x, y, z) .

Q é a intensidade em poluente da fonte emissora.

\bar{u} é a velocidade média do vento, no período de amostragem, à altura do eixo do penacho.

σ_y, σ_z são os coeficientes de dispersão turbulenta identificados com o desvio padrão das concentrações nas direcções dos eixos dos yy e dos zz , respectivamente; o sistema de eixos O, x, y, z tem a origem (O) na base da fonte e os eixos têm a seguinte orientação:

Ox — no plano horizontal na direcção para onde sopra o vento

Oy — no plano horizontal e normal a Ox

Oz — segundo a vertical

h é a altura efectiva da fonte, isto é, a soma da altura geométrica da chaminé com a sobrelevação dos produtos emitidos pela fonte.

Para obter as estimativas da concentração de SO em pontos ao longo do eixo dos xx ($y=0$) a equação (1) toma a forma:

$$\bar{\chi}(x, 0, z) = \frac{Q}{2\tau\sigma_y\sigma_z\bar{u}} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \left[\exp\left(-\frac{(z-h-2nL)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h+2nL)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (2)$$

Neste modelo de dispersão aceita-se que:

a) O poluente comporta-se como gás ideal e é emitido a uma taxa contínua e uniforme; o campo do vento horizontal é homogêneo e a velocidade média do vento no intervalo de 1 hora é representativa para todo o período; o rumo do vento não varia ao longo da vertical e o penacho é infinito e sem história, isto é, cada período de 1 hora é completamente independente do período anterior.

b) O poluente é um gás ou aerosol estável que permanece em suspensão no ar atmosférico e participa no movimento turbulento da atmosfera; nenhuma fracção de poluente é removida do penacho quando este se move e difunde na direcção do vento; há reflexão completa do penacho ao nível da superfície.

c) A concentração em poluente no interior do penacho tem distribuição gaussiana segundo os eixos Oy e Oz.

d) Os coeficientes de dispersão σ_y e σ_z são os sugeridos por Pasquill e Gifford e revistos por Turner. Os valores de σ_y e σ_z são funções da distância x (segundo Ox) à fonte emissora e da classe de estabilidade da baixa troposfera.

A estimativa dos valores médios da concentração média horária de SO₂ num período longo T, é dada por:

$$\bar{\chi}_T(x, o, z) = \sum_{n=1}^N P(S_n) \cdot \chi(x, o, z) \quad (3)$$

em que:

- i) $\bar{\chi}(x, o, z)$ é a concentração média horária no ponto de coordenadas (x, o, z), correspondente à situação meteorológica S_n.
- ii) P(S_n) é a frequência de ocorrência da situação meteorológica S_n.
- iii) N é o número total das diferentes situações meteorológicas.
- iv) $\bar{\chi}_T(x, o, z)$ é a concentração média horária, no ponto de coordenadas (x, o, z), referida ao período T.

2 — Sobrelevação e altura efectiva do penacho

A altura efectiva da fonte (h) é a soma da altura geométrica da chaminé (h_g) com a sobrelevação do penacho (Δh). No cálculo da sobrelevação do penacho utiliza-se a formulação de Briggs (1972); nesta formulação admite-se que a sobrelevação depende do inverso da velocidade média do vento e é directamente proporcional à potência 2/3 da distância x (segundo Ox) à fonte.

A formulação da sobrelevação de Briggs é apresentada a seguir para os casos de atmosfera neutra ou instável e para a atmosfera estável. Assim:

- i) Para a atmosfera neutra ou instável a sobrelevação final Δh_f é dada por:

$$\Delta h_f = 1,6 F^{1/3} (x_f)^{2/3} u^{-1} \quad (4)$$

com $x_f = 3,5x^*$, e

$$x^* = \begin{cases} 14 F^{5/8} & \text{quando } F < 55 \text{ (m}^4\text{s}^{-3}) \\ 34 F^{2/5} & \text{quando } F > 55 \text{ (m}^4\text{s}^{-3}) \end{cases} \quad (5)$$

$$F = g \cdot v_s \cdot R^2 \cdot (T_s - T_a) / T_s \quad (7)$$

em que:

- g é a aceleração da gravidade (9,8 m/s²)
- v_s é a velocidade dos gases emitidos à saída da chaminé (m/s)
- R é o raio interior da boca da chaminé (m)
- T_s é a temperatura dos gases à saída (°K)
- T_a é a temperatura do ar (°K)
- u é a velocidade média do vento ao nível da boca da chaminé (m/s)
- x_f é a distância (segundo Ox) à fonte onde finda o processo de elevação do penacho (m)

- ii) Para a atmosfera estável a sobrelevação final é dada por

$$\Delta h_f = \begin{cases} 2,4 \cdot F / (us)^{1/3} & (8) \\ 5 F^{1/4} \cdot s^{-3/8} & (9) \end{cases}$$

conforme a velocidade do vento.

Nos cálculos utilizou-se para sobrelevação final o menor dos valores de Δh_f correspondentes às equações (8) e (9).

A distância x_f (segundo Ox) é dada por:

$$x_f = \pi u s^{-1/2} \quad (10)$$

onde

$$s = g - \frac{\partial \Theta}{\partial z} T_a^{-1} \quad (11)$$

e em que $\frac{\partial \Theta}{\partial z}$ é o gradiente vertical da temperatura potencial do ar (K/m), e s é um parâmetro de estabilidade.

2.1. Correções do efeito topográfico

A influência do relevo na estimativa da concentração de SO₂ em locais de altitude superior à origem das coordenadas (altitude da base da fonte) é tida em conta, admitindo que o penacho se eleva, devido ao relevo, de Z/2 em que Z é a altura de cada local em relação ao referencial Oxyz definido em 1.

BIBLIOGRAFIA

- PEIXOTO, J. P. — A Radiação Solar e o Ambiente. CNA, Lisboa, 1981.
- CARVALHO, R. A. C. e SANTOS, J. P. R. E. — Modelos gaussianos de dispersão para fontes pontuais (MDFP, MDFM). INMG, Lisboa, 1982.
- CARVALHO, R. A. C. e SANTOS, J. P. R. E. — Projecto de Vigilância da qualidade do ar em Macau. INMG, Lisboa, 1983.

Monografias sobre temas de Física

I—Faculdade de Ciências do Porto (1971-87) (*)

Em 1971 foram criadas as cadeiras de Monografia no 4.º ano de todas as licenciaturas das Faculdades de Ciências, no Ramo de Formação Educacional.

O âmbito destas cadeiras foi fixado na Fac. de Ciências da Univ. do Porto através de um Regulamento (Dez.º 1971) no qual, de entre outras disposições, se referem as seguintes:

a) «Deverá haver um máximo de coordenação entre o trabalho de orientação das monografias e o das disciplinas de metodologia frequentadas pelos mesmos alunos...»

b) «o trabalho a executar por cada aluno deve revestir a índole de exposição didáctica escrita de assuntos dos programas do ensino não superior, ou de tentativas de articulação de programas de disciplinas afins leccionadas no mesmo ensino».

Os 11 artigos que integravam o Regulamento estão hoje, em geral, ultrapassados, mas para a Monografia sobre um tema de Física, persiste ainda a orientação genérica fixada nas disposições acima transcritas.

Não é este o local ou a oportunidade para enaltecer ou depreciar as virtualidades da cadeira de Monografia. O trabalho acumulado nos 16 anos do seu funcionamento na licenciatura em Física da Faculdade de Ciências do Porto merece, no entanto, ser divulgado; até porque inclui algumas contribuições de valor na pesquisa pedagógica-didáctica do ensino da Física a nível secundário.

Nesta nota apenas se indica, sem juízos de valor, a lista das monografias produzidas desde a criação da cadeira pelos alunos do curso de Física que nela tiveram aprovação na F.C.U.P. Todas elas estão disponíveis na biblioteca do Laboratório de Física da F. C. do Porto e a ordem pela qual aqui se apresentam é puramente cronológica.

Electrostática. Magnetostática. Sistemas de Unidades, Maria José Santos Sousa (1973).

Termodinâmica Física, Clotilde Marques da Costa Aleixo (1974).

Ondas, Maria Luísa Pereira Lopes (1974).
Indução Electromagnética. Corrente Alternada. Transformadores, Maria Francelina B. M. das Neves (1975).

Propriedades Magnéticas da Matéria e Efeitos Magnéticos da Corrente Eléctrica, Maria Beatriz A. Vasconcelos Correia e Maria Amália Puga Lobo (1975).

Condutividade Eléctrica. Condutores e Semicondutores, Maria de Fátima S. F. C. Sá e Rui Alberto Monteiro Guerra (1975).

Corrente Alternada Sinusoidal, Fernando da Silva Teixeira (1976).

Óptica Geométrica, Elsa Maria L. R. Ribeiro e Maria Joaquina Santos (1976).

Electrónica, Ana Maria Castro Oliveira e Maria do Sameiro Corrêa (1977).

Corrente Eléctrica. Regime Estacionário, Maria Luísa Moreira e Sónia Andrêa (1977).

Estrutura e Propriedades dos Sólidos, Maria Brazilina da Silva Pacheco e Maria José de Castro Neves (1978).

Termometria, Calorimetria. Aplicações, Maria Otilde Monteiro e Maria Teresa Fernandes (1978).

A Tina de Ondas, Rosa Celeste Sousa e Gumerzinda Cabral (1978).

Fotografia, Maria Fernanda C. M. da Costa e Maria Manuela Saavedra (1979).

Óptica. Estudos Introdutórios, Maria Luísa C. Gomes e Maria Natália P. da Costa (1979).

Energia Solar, Maria Margarida Valente Pinho, Olga Lopes Garcia e Síria Melo (1979).

Modelos Atómicos, Rita Sousa, Maria Judith Almeida e Fernanda Vasconcelos (1979).

Mecânica dos Líquidos, Maria Natalina Vaz e Maria Luísa Santos (1979).

Transições de Fase e Fenómenos Críticos, Maria da Graça Costa, Maria Natália Marraheiro e Nilza Vasconcelos (1980).

(*) Em próximos números, esperamos publicar as listas de Monografias de Física existentes nas restantes Faculdades de Ciências do País (ramo Educacional da Licenciatura em Física).

Forças Dissipativas. Seu Efeito no Movimento dos Corpos, Natércia Maria Peixoto Santos, Rosa Manuela Oliveira Bastos e Rute Maria A. T. Hortas (1982).

Princípios de Conservação, Maria Helena Landeiro e Melo, Marisa Louro Monteiro e Teresa de Jesus Calvo (1983).

Jogos e Simulações, Joaquim Bernardino O. Lopes, Maria Manuela B. Cruz e Maria Teresa M. Pinto Leite (1984).

Uso do Laser em Óptica Geométrica, Raul E. S. V. Noro (1984).

Fenómenos Periódicos, Ana Maria S. B. Garrido e Maria Margarida B. Barreira (1984).

Paradoxos da Física, José Carlos F. M. Lopes (1984).

Didáctica da Física para Cegos, Anna-maria Norah C. Moranduzo, Maria Helena P. Rodrigues e Maria Paula P. M. Pinto (1985).

Uso do Estroboscópio no Estudo de Movimentos, Artur Faria da Torre, Maria do Nascimento S. Costa e Olívia L. D. P. Pedro (1985).

Óptica Experimental no Ensino Sec., Eva Flora F. Pedrosa, Isabel Maria F. Magalhães e Maria Fernanda C. Nogueira (1985).

Movimento do Centro de Massa do Corpo Humano em Trajectória Aérea, Ana Paula M. P. Fonseca, Maria Teresa P. L. Aroso e Sérgio Miguel C. Nascimento (1986).

Acústica, Isabel Maria S. Reis e Adelaide Maria G. A. Santos (1986).

Estudo da Formação de Imagens com Lentes, Anabela da Silva Marques, Glória Maria G. V. Lopes e Maria Isabel G. Teixeira (1986).

O Filme como Meio Audiovisual de Ensino, Arménia Conceição, Ilda Maria Ribeiro e Joaquim Adelino Moreira (1986).

Energias Renováveis, Dulce Fernandes Rodrigues e Ilda da Glória Cunha (1987).

Calor e Termometria, Lina Maria A. M. R. Silva e Maria José da Silva (1987).

Ondas, Isilda M. M. da Silva, Júlia M. S. Coelho, Maria Gorete Cadavez (1987).

Compilação e texto de

A. Gomes de Sá

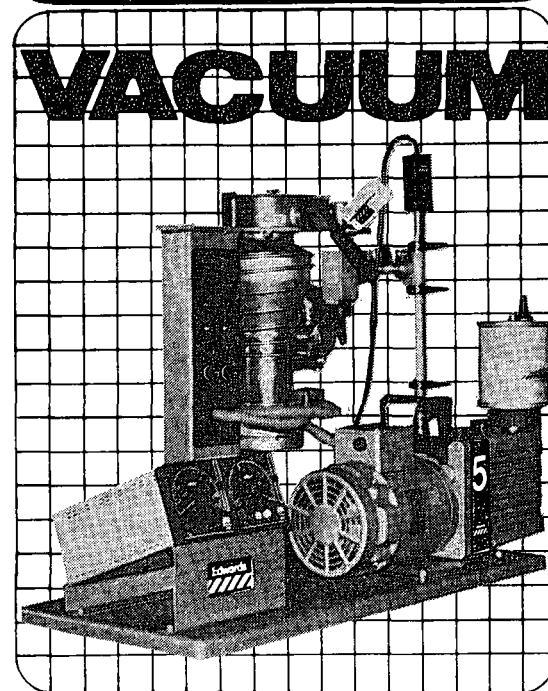
Fac. Ciências do Porto, Lab. de Física
Pr. Gomes Teixeira, 4000 Porto

IUPAP — Conferências Internacionais

Prazo para candidaturas (*)

Conference organizers are invited to submit applications for IUPAP sponsorship for conferences to be held in 1989. Applications should be sent to the Secretary of the appropriate Commission(s) no later than May 1st, and they should contain adequate information about organization, program, budget, etc. and must include the mandatory checklist properly completed. A copy of the checklist is available (*) and additional copies can be obtained from the Secretary-General.

(*) Informações adicionais: Secretariado da SPF.



EQUIPAMENTOS DE VACUO

MENDES DE ALMEIDA, LDA.

Avenida 24 de Julho, 52 — A/G L12.
Tel. 601219 — TELEX — 13559 ALMEDA

Delegação Regional de Lisboa

1.º Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino de Física

Decorreu nos dias 10, 11 e 12 de Fevereiro último na Aula Magna da Reitoria da Universidade de Lisboa e na Faculdade de Ciências da mesma Universidade o 1.º Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino da Física, organizado por cada Delegação Regional.

O Encontro teve 420 participantes inscritos, principalmente docentes do Ensino Secundário de Lisboa, região sul do continente, Madeira e Açores.

As actividades dividiram-se em conferências plenárias de manhã e em seminários e oficinas pedagógicas em paralelo de tarde, a cargo de docentes dos ensinos superior e secundário, entre os quais alguns estrangeiros. No último dia do Encontro teve lugar uma Mesa-Redonda sobre a reforma do ensino da Física, que decorreu com elevada participação. Na sessão de encerramento foram entregues os prémios referentes às Olimpíadas Nacionais da Física/1987.

Em próximo número da Gazeta de Física far-se-á uma cobertura mais desenvolvida deste Encontro.

Olimpíadas Nacionais da Física

No dia 11 de Fevereiro de 1988 decorreram, na Faculdade de Ciências de Lisboa, em simultâneo com o 1.º Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino de Física, as Olimpíadas Nacionais de Física referentes ao ano de 1987. Foram vencedoras as seguintes equipas:

— Prova Teórico-experimental:

9.º ano — João Subtil, Nuno Fernandes, Pedro Delos.
Colégio Militar

11.º ano — Joaquim Pires Mendes, Graciosa Mendes Martins, Maria do Céu Venâncio Leão.
Escola Sec. Nuno Álvares — Castelo Branco

Delegação Regional de Coimbra

1. Acções nas Escolas

Tem-se continuado a apoiar a realização de Acções nas Escolas do Ensino Secundário, dirigidas quer a professores, quer a alunos. Constatase, com muito agrado, que o número de pedidos tem vindo a aumentar substancialmente. Por dificuldades financeiras da Delegação, tem-se vindo a solicitar a comparticipação das Escolas nas despesas de deslocação dos Professores que realizam as Acções, o que tem recebido o melhor acolhimento por parte das Escolas. Além das mencionadas no último número da Gazeta de Física, já se realizaram no corrente ano lectivo as seguintes Acções:

— «Calor e Temperatura — abordagem ao nível do 9.º ano», Acção destinada a professores, coordenada pela Prof.ª Doutora Maria Helena Caldeira Martins, na Escola Secundária Avelar Brotero, Coimbra, em 3/12/87.

— «Energia», Acção destinada a alunos do 9.º ano, coordenada pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, na Escola Secundária Rafael Bordalho Pinheiro, Caldas da Rainha, em 20/1/88.

— «O Homem e o Universo», palestra integrada no «Dia da Física», coordenada pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, na Escola Secundária de Pombal, em 1/2/88.

— «Física Divertida», palestra destinada preferencialmente a alunos, coordenada pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, na Escola Secundária de Anadia, em 24/2/88.

Estão também desde já planeadas as seguintes Acções:

— «Física Divertida», pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, na Escola Secundária Homem Cristo, Aveiro, em 24/3/88.

— «Mecânica Quântica», pela Prof.^a Doutora Maria Helena Caldeira Martins, na Escola Secundária N.º 1 de Ovar, em 24/3/88.

— «Origem do Universo», pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, na Escola Secundária de Tondela, em 28/4/88.

— «Física do Estado Sólido», pelo Dr. José António Paixão, na Escola Secundária Nuno Álvares, Castelo Branco, em data a anunciar.

2. Olimpíadas de Física 88

Prevê-se a participação, este ano, na etapa regional, a realizar no Departamento de Física, de 11 equipas do 11.º ano e 19 equipas do 9.º ano, e a apresentação de 18 trabalhos originais. As provas terão lugar no dia 15 de Abril com o seguinte programa:

10h00 — Recepção às equipas participantes; 10h30 — Provas teórico-experimentais; 12h30 — Almoço; 14h30 — Visita com programa a anunciar; 16h00 — Provas facultativas; 17h30 — Lanche e distribuição de prémios.

Delegação Regional do Porto

Reforma do Ensino Básico e Secundário

A Delegação promoveu no dia 8 de Fevereiro uma reunião com o fim de discutir e apreciar a proposta de regionalização dos Planos Curriculares dos Ensinos Básico e Secundário, proveniente da Comissão de Reforma do Sistema Educativo. As conclusões foram oportunamente enviadas à referida Comissão.

Olimpíadas de Física 1988

Estão inscritas 21 equipas representando 18 Escolas do Norte do País. As provas de apuramento regional realizar-se-ão no próximo mês de Maio.

Palestras

Neste trimestre foram realizadas as seguintes palestras:

29 de Janeiro — «Apresentação da Linguagem Logo», pelo Doutor Rogério Nunes.

2 e 3 de Março — Encontro sobre «A Física Quântica e a Matéria», com a participação de 35 Professores do Ensino Secundário. Temas versados:

— A Física Clássica e o Átomo, pela Doutora M. Augusta Santos.

— Dualidade Onda Corpúsculo, pelo Doutor J. Lopes dos Santos.

— Relações de Incerteza, pelo Doutor J. Lopes dos Santos.

— Métodos de Difracção na determinação de Estruturas, pela Doutora Maria do Céu Marques.

— Ligação Química, Sólidos e Bandas de Energia, pelo Doutor José M. Moreira e Lic.º Vítor Amaral.

— Demonstrações Laboratoriais, pelos Lic.ºs J. Luís Santos, Manuel Joaquim e Doutor J. Lopes dos Santos.

9 de Março — «Mistérios Quânticos», pelo Doutor J. Lopes dos Santos, na Escola Sec. Rodrigues de Freitas.

Uso de Microcomputadores no Ensino (13 - Abril - 88)

No Anfiteatro de Física, Fac. Ciências do Porto Quarta-feira, 13 Abril 88, 17h30 - 18h30

Prof. J. Dépireux, da Universidade de Liège e Presidente da Div. de Educação da Sociedade Europeia de Física.

Divisão Técnica de Educação

Continuando com o programa de cursos de reciclagem iniciado em 1986, organizaram-se e realizaram-se os seguintes cursos:

Introdução à Mecânica Quântica

Universidade de Évora, 5 a 7 Janeiro 1987

Profs. Orientadores: *João Andrade e Silva* e *Maria Helena Andrade e Silva* (col. U. Évora).

Microcomputadores no Ensino da Física

Escola Sup. de Educação de Faro, 2 a 4 Fev. 1987

Prof. Orientador: *Vítor Teodoro* (col. E. S. Ed. Faro).

Trabalho e Energia no Ensino Secundário

— Uma Perspectiva de Futuro

Escola Sec. Alves Martins, Viseu, 5 a 7 Março 1987

Profs. Orientadores: *Jorge Valadares* e *Luís Silva*.

As Energias Renováveis no Ensino Secundário

Instituto Politécnico de Viseu, 17 Março 1987

Profs. Orientadores: *Artur Marques da Costa* e *António Morgado Gama*.

Termodinâmica

Universidade de Évora, 3 dias, Páscoa 1987

Prof. Orientador: *João Corte Real* (col. U. Évora).

Utilização dos Computadores no Ensino da Física

Universidade de Évora, 27 a 30 Abril 1987

Profs. Orientadores: *Augusto Fitas*, *J. A. Oliveira Marques* e *J. L. Pombinho* (col. U. Évora).

Cinemática da Partícula

Escola Sec. Jácome Ratton de Tomar, 15 Maio 1987

Profs. Orientadores: *Jorge Valadares* e *Luís Silva*.

Termodinâmica

Escola Secundária Diogo de Gouveia em Beja, 8 a 11 Setembro 1987

Prof. Orientador: *João Corte Real*

Trabalho e Energia

Escola Superior de Educação de Santarém, 16 e 17 Setembro 1987

Prof. Orientador: *Luís Silva*.

Cinemática e Dinâmica

Universidade de Évora, 16 a 18 Setembro 1987

Profs. Orientadores: *José Marat Mendes* e *Jorge Valadares*.

Dificuldades Conceptuais sobre o Ensino da Física no 10.º Ano — Algumas Sugestões Metodológicas

Escola Sec. da Sé em Lamego, 19 a 21 Outubro 1987

Prof. Orientador: *Luís Silva*.

Realizaram-se na sede da Sociedade Portuguesa de Física 7 debates sobre o ensino da Física. Cada debate versou um Campo da Física, contemplado ou não nos actuais programas. Os principais objectivos que se procuraram atingir foram os seguintes:

—Fazer um levantamento do modo como se processa o ensino.

—Analisar as principais dificuldades conceptuais e o modo como poderão vir a ser ultrapassadas.

—Concluir se é possível e/ou desejável introduzir novos temas.

—Situat a aprendizagem dos temas numa sequência pedagogicamente correcta.

—Apresentar sugestões didácticas sobre este ou aquele tema.

—Correlacionar os ensinios básico e secundário e os ensinios secundário e universitário da Física.

Os debates realizados foram os seguintes:

Fevereiro—RELATIVIDADE

Moderador: *Lemos Alves*

Profs. convidados: *Resina Rodrigues*, *António Costa*, *Luís Silva*.

Março—FÍSICA ATÓMICA E NUCLEAR

Moderador: *Artur Marques da Costa*

Profs. convidados: *Filipe Duarte Santos*, *José Salgado*, *Rui Namorado Rosa*.

Março—MECÂNICA

Moderador: *José Prata Martins*

Profs. convidados: *Teresa Gonçalves*, *José Marat Mendes*, *Vítor Ferreira*, *Jorge Valadares*.

Abril—ELECTROMAGNETISMO

Moderador: *Rui Agostinho*

Profs. convidados: *Luís Frazer Monteiro*, *Noémio Macias Marques*.

Abril—ÓPTICA

Moderador: *Maria José Freire*

Profs. convidados: *José Manuel Rebordão*, *Manuel Ribau Teixeira*.

Maio—FÍSICA QUÂNTICA

Moderador: *João Jóia da Silva*

Profs. convidados: *Gustavo Castelo Branco*, *Ana Eiró*.

Maio—TERMODINÂMICA

Moderador: *Ana Maria Faria*

Prof. convidado: *Rodrigo Abreu*.

Uns mais concorridos, outros menos, decorreram todos com grande animação e com boa participação da maioria dos presentes. Alguns dos assuntos tratados revelaram-se polémicos, mas conseguiram-se atingir alguns pontos de consenso. Entre estes, foram considerados fundamentais, e a exigir medidas imediatas, os seguintes:

1.º — É imperioso que a disciplina de Física, no 12.º ano, seja obrigatória para todos os alunos cuja sequência de estudos aponta para cursos superiores em Física ou Engenharias,

pois está demonstrado que o grau de insucesso nos primeiros anos destes cursos se deve fundamentalmente a essa não obrigatoriedade.

2.º—É urgente retomar a medida—já anteriormente adoptada—segundo a qual cada hora leccionada nesse ano de escolaridade conta por hora e meia para atrair a esse ano os Professores de maior experiência científico-didáctica (consultar a circular n.º 17/87, de 20/4/87, da D.G.A.P. do Ministério da Educação).

3.º—É fundamental que o número de horas semanais destinadas ao ensino da Física seja aumentado, de modo a proporcionar-se um ensino experimental obrigatório, convenientemente avaliado no curso complementar. Essa necessidade do aumento do número de horas é particularmente aguda no 12.º ano, onde as actuais quatro horas semanais deveriam passar a ser seis, não só para comportar uma adequada abordagem teórico-prática (segundo o espírito da circular n.º 17/87 já referida) como para introduzir a necessária componente experimental.

4.º—É aconselhável a permuta dos programas dos 8.º e 9.º anos, de modo a que a Mecânica constitua a primeira matéria abordada pelos alunos.

5.º—É importante que sejam transferidos alguns conceitos fundamentais e simples (por exemplo, o de massa volúmica, o de pressão, etc.) e matérias correlacionadas para o 8.º ano ou mesmo até para o 7.º ano de escolaridade, se a Física aí vier a iniciar-se.

6.º—Há conveniência em iniciar o estudo da Física mais cedo, em separar a Física da Química a partir do 10.º ano, e em existirem programas adaptados consoante as áreas, embora assentes numa base comum.

7.º—Seria extremamente útil que a Direcção Geral do Equipamento Escolar procedesse a uma inventariação do material didáctico deficitário e excedentário em cada escola do país, procurando redistribuir o material em excesso de modo a suprir carências.

Outros pontos de consenso, a exigir medidas a curto e médio prazo, são os seguintes:

8.º—Importa incentivar uma componente observacional e/ou experimental ainda que qualitativa, principalmente nos primeiros anos do ensino da Física. Deve-se apoiar e estimular o uso do material de laboratório com o recurso a Acções de formação para Professores com carácter predominantemente experimental.

9.º—É errado repetirem-se matérias, como por exemplo de Mecânica, em anos diferentes e em perspectivas e linhas didácticas semelhantes.

10.º—Seria desejável que o Ministério recorresse à S.P.F. para uma activa participação na elaboração dos programas.

11.º—Havia vantagem em fornecer às escolas filmes e outros materiais audiovisuais de apoio recorrendo aos serviços do I.T.E. e da futura Universidade Aberta.

12.º—Era importante incluir e/ou desenvolver nos programas matérias importantes como por exemplo Termodinâmica e Óptica.

13.º—Qualquer assunto novo como, por exemplo, a Relatividade e a Mecânica Quântica, não deverá ser introduzido nos programas de Física do ensino secundário sem ser acompanhado não só de uma larga reformulação curricular como também de uma intensa actividade de formação e actualização de professores.

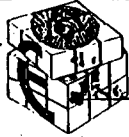
Em todos os debates foi destacado o importante papel que as Sociedades Científicas poderiam e deveriam desempenhar na reestruturação do sistema educativo. Neste contexto, a Sociedade Portuguesa de Física manifestou-se, mais uma vez, disponível para colaborar com o Ministério da Educação na melhoria do ensino da Física em Portugal.

Foi enviado relatório das respectivas conclusões para o Ministério de Educação bem como para publicação na Gazeta de Física.

Realizaram-se várias reuniões preparatórias de um novo ciclo de cursos que serão anunciados brevemente.

Recebeu-se a 2.ª prestação do subsídio da Fundação Calouste Gulbenkian, no valor de 150 000\$00 (11 de Junho de 1987).

Pela Divisão Técnica de Educação
Jorge A. C. S. Valadares



TECNOLOGIAS LASER na INDUSTRIA

6-7-8 Junho-1988 - PORTO

"LASER TECHNOLOGIES IN INDUSTRY" é uma CONFERENCIA INTERNACIONAL apoiada pela Comissão das Comunidades Europeias no plano de desenvolvimento transnacional de infraestruturas de apoio para a inovação e transferência de tecnologia.

A Divisão de Optica da European Physical Society, a Divisão de Optica da Sociedade Portuguesa de Física, o SPIE - The International Society of Optical Engineers e a Reitoria da Universidade do Porto são alguns dos patrocinadores.

Os objectivos da Conferência são a valorização e disseminação de informação nos seguintes tópicos referentes às tecnologias Lasers na industria: metrologia, detecção, controlo mecânico de processos, teste não-destrutivos em controlo de qualidade, processamento de materiais metálicos e não-metálicos, com vista ao aumento de produtividade das PME, aplicações à robótica e automação (equipamentos e sistemas, análise de custo-benefício, mecanismos de transferência de tecnologia) e programas europeus para o desenvolvimento tecnológico.

As áreas de impacto propostas são:

- inovação tecnológica
- uso racionalizado de materiais tradicionais e novos
- criação de novos métodos de desenho e fabrico
- métodos de fabrico de novos produtos
- aumento de produtividade
- melhoria de qualidade
- maior competitividade dos produtos industriais face às vantagens em termos de mercado pela introdução de novos produtos; melhorias nos mercados actuais pela introdução de produtos de melhor qualidade; introdução de novas tecnologias de fabrico com maior impacto comercial e introdução de novas tecnologias de fabrico que proporcionem novos métodos de fabrico e capacidades de fabrico de novos tipos de produtos.

Endereço para informações:

"Secretariado LASER TECHNOLOGIES IN INDUSTRY"
c/ o Professor Olivério D.D. Soares
Laboratório de Física - Faculdade de Ciências
Praça Gomes Teixeira
P-4 000 PORTO - PORTUGAL

Telefone: (02) 31 02 90 Ext. 235 / Telex: 28190 FCUP / Teletexto: (02) 69 87 36

Schlumberger

EQUIPAMENTOS PARA INVESTIGAÇÃO E INDÚSTRIA

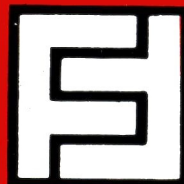
- Multímetros / Voltímetros Digitais
- Aquisição de dados
- Análise de Resposta em Frequência
- Telecomunicações

CONSULTORIA E ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Peça-nos informações detalhadas • Telef. 691116 / 667437 • Telex 26250



M. T. BRANDÃO, LDA. • Praça Pedro Nunes, 94 - Sala 3 • 4000 PORTO — Portugal



VOL. 11 • FASC. 1 • JANEIRO 1988

SUMÁRIO

A superfície líquida	1
<i>M. M. Telo da Gama, B. S. Almeida e P. I. Teixeira</i>	
Microscópios Electrónicos	10
<i>Carlos Pinto Moreira de Sá</i>	
Uma perspectiva construtivista para o ensino da Física. II - Objectivos para o Ensino de Física	19
<i>Marília Fernandes Thomaz</i>	
A composição da atmosfera e a vigilância da qualidade do ar. Um exemplo de multidisciplinaridade	28
<i>Renato A. C. Carvalho</i>	
Monografias sobre temas de Física. I - Faculdade de Ciências do Porto (1971 - 87) ,	35
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física	37