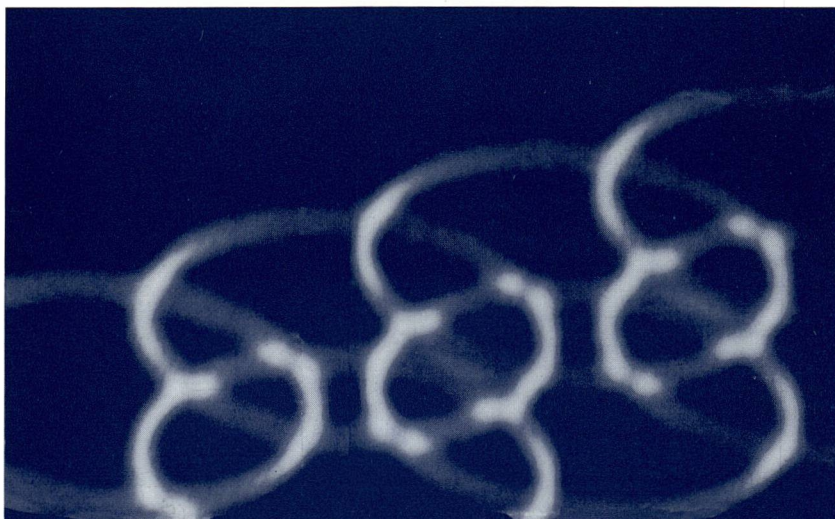


G A Z E T A D E

# FÍSICA

---



**Olimpíadas de Física**  
**1998/1999**

**Provas Regionais:**  
Lisboa, Porto e Coimbra  
15 de Maio de 1999

**Provas Nacionais:**  
Lisboa, 25 - 26 de Junho de 1999

**SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA**

VOL. 21 • FASC. 4 • 1998 • PUBLICAÇÃO TRIMESTRAL • OUTUBRO / DEZEMBRO



**Gazeta de Física**  
Propriedade da Sociedade Portuguesa de Física  
ISSN: 0367-3561  
Registo na DGCS n.º 107280 de 13/5/80  
Depósito Legal n.º 51419/91  
Publicação Trimestral  
N.º 4 — 1998

**Redacção e Administração**  
Avenida da República, 37-4.º — 1050 Lisboa  
Telefone (01) 7993665  
Fax (01) 7952349

**Director**  
João Bessa Sousa (FCUP)

**Comissão de Redacção e Administração**  
Carlos Matos Ferreira (IST)  
Margarida Telo da Gama (FCUL)  
Ana Maria Eiró (FCUL)  
Adriano Sampaio e Sousa (ESFPM)

**Preparação e Revisão de Texto**  
Florbela Martins Teixeira

**Execução Gráfica**  
Imprensa Portuguesa  
Rua Formosa, 108-116 — 4000 Porto  
Telefone (02) 2002466  
Fax (02) 2015105

Tiragem: 1500 exemplares

Preço avulso: 650\$00

Assinatura anual (quatro números):  
2000\$00 (Continente, Açores, Madeira e Macau)  
35 US dólares (estrangeiro)

**Publicação subsidiada pela Fundação  
para a Ciência e a Tecnologia**

A **Gazeta de Física** publica artigos, com índole de divulgação, considerados de interesse para estudantes, professores e investigadores em Física. Deverá constituir também um espaço de informação para as actividades da SPF, nomeadamente as suas Delegações Regionais e Divisões Técnicas. 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 SPF.

Os *manuscritos* devem ser submetidos em duplicado, dactilografados em folhas A4 a dois espaços (máximo equivalente a 3500 palavras, incluindo figuras; 1 figura corresponde em média a 140 palavras). Deverão ter sempre um curto resumo, não excedendo 130 palavras. Deve ser indicado o(s) endereço(s) completo(s) das instituições dos autores. Agradece-se o envio do texto em disquete (de preferência «Word» para Macintosh ou PC). Os originais de figuras devem ser apresentados em folhas separadas, prontos para reprodução. Endereço para correspondência: **Gazeta de Física — Sociedade Portuguesa de Física, Av. da República, 37-4.º — 1050 Lisboa.**

---

## **SUMÁRIO**

**2**

**QUANTAS ESTRELAS SE VÊEM NO CÉU?**

**Guilherme de Almeida**

**5**

**A QUE DISTÂNCIA FICA O HORIZONTE?**

**Guilherme de Almeida**

**6**

**SENSORES PARA EMISSÃO ACÚSTICA USANDO  
COMPÓSITOS FERROELÉTRICOS**

**P. Inácio, C. J. Dias, J. N. Marat-Mendes**

**12**

**JUBILAÇÃO DO PROF. J. MOREIRA DE ARAÚJO**

**22**

**O EFEITO HALL QUANTIFICADO FRACCIONÁRIO  
PRÉMIO NOBEL DA FÍSICA 1998**

**J. M. B. Lopes dos Santos**

**24**

**OLIMPIADAS DE FÍSICA**

**30**

**NOTICIÁRIO SPF**

---

# QUANTAS ESTRELAS SE VÊEM NO CÉU?

GUILHERME DE ALMEIDA

Colégio Militar  
Apartado 4526 — 1511 Lisboa Codex

É opinião corrente que as estrelas observáveis a olho nu, num dado local e num dado instante, são incontáveis. E há também quem afirme que são milhões. De facto, sobretudo num local escuro, afastado de poluições, luminosas e outras, somos tentados a concordar com este ponto de vista. No entanto, o número de estrelas visíveis sem ajuda óptica — mesmo em condições muito favoráveis — é relativamente modesto, muito abaixo das especulações enraizadas no senso comum. Neste artigo apresenta-se um processo expedito e acessível para estimar o número de estrelas visíveis a olho nu do local, bom ou mau, em que o observador se encontra.

*“Olha para os céus,  
por favor, e conta as  
estrelas, se as pudes  
contar”*

(Génesis, 10:5)

## 1. Introdução

Para estimar o número de estrelas observáveis a olho nu, de um dado local, é óbvio que não se põe, de modo algum a hipótese de, com o braço estendido e de indicador em riste, o observador ir apontando e contabilizando, uma a uma, as estrelas observáveis. Vamos, por outro lado, basear-nos na noção de densidade estelar aparente (número de estrelas observáveis por unidade de área aparente no céu. Para isso, impõe-se utilizar a noção de ângulo sólido e a sua unidade SI — o esterradiano (símbolo sr).

## 2. Conceitos fundamentais

Por definição, o ângulo sólido  $\Omega$  segundo o qual a área  $S$  é vista pelo observador situado a uma distância  $d$  dessa mesma área (Fig. 1) é dado por

$$\Omega = \frac{S}{d^2}.$$

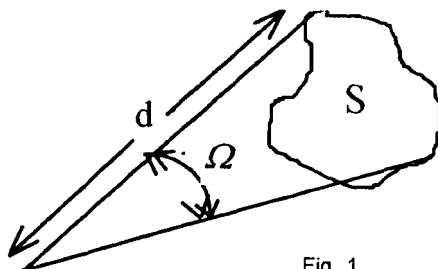


Fig. 1

Se a área  $S$  está recortada na superfície de uma esfera, e se o observador (O) se encontra no centro desta (Fig. 2), a anterior expressão pode escrever-se

$$\Omega = \frac{S}{R^2}. \quad [1]$$

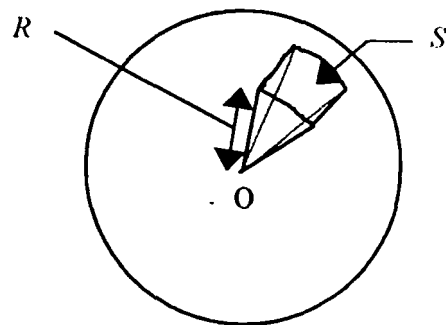


Fig. 2

O ângulo sólido  $\Omega$  será de 1 esterradiano (1 sr) se limitar uma área  $S$  correspondente à de um quadrado de raio  $R$ . Se a área corresponder à totalidade da superfície esférica, cuja área é  $4\pi R^2$  sr, um observador situado no centro dessa esfera observa a sua superfície segundo um ângulo sólido

$$\Omega_1 = 4\pi R^2 / R^2 = 4\pi \text{ sr}. \quad [2]$$

**O número de estrelas observáveis a olho nu é muito menor do que aquilo que nos diz o senso comum.**



### 3. Cálculo do número de estrelas observáveis a olho nu

Se o observador olhar por um tubo (Fig. 3), de raio interno  $R$  e comprimento  $L$ , aberto nas duas extremidades, colocando um dos seus olhos em  $O$ , a medida do raio  $R$  do tubo será vista segundo a dimensão aparente  $\theta$ , de tal modo que  $\tan \theta = R/L$ . Será conveniente que o tubo seja pintado de preto baço, no seu interior, e que a boca do tubo onde o observador vai colocar um dos olhos tenha uma tampa com um furo de cerca de 10 mm de diâmetro, para posicionar correctamente o globo ocular.

O ângulo sólido, segundo o qual o observador vê a boca do tubo (do lado oposto àquele onde colocou um dos olhos) é

$$\Omega_2 = \frac{\pi R^2}{L^2} \quad [3]$$

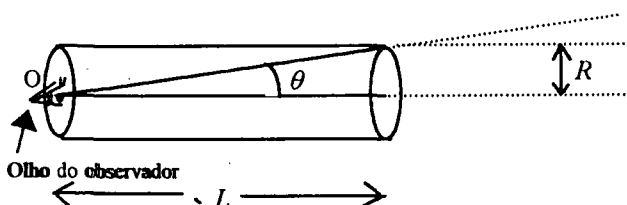


Fig. 3

Portanto a porção de céu observável, sem mover o tubo, continuando o observador com o olho em  $O$ , corresponde também ao ângulo sólido  $\Omega_2$  (é conveniente que o tubo seja fixado a um tripé). Por outro lado, o ângulo sólido correspondente à totalidade da esfera celeste, é, como vimos,  $\Omega_1 = 4\pi$  sr. Assim sendo, a razão entre o ângulo sólido delimitado pelo tubo e o ângulo sólido correspondente à totalidade do céu é

$$\frac{\Omega_2}{\Omega_1} = \frac{\pi R^2}{4\pi L^2}, \text{ ou seja, } \frac{\Omega_2}{\Omega_1} = \frac{R^2}{4L^2} \quad [4]$$

Do nosso local de observação, bom ou medíocre, apontemos o tubo segundo uma dada direcção do céu e, sem o mover, contemos o número  $n_1$  de estrelas visíveis a olho nu dentro da boca do tubo (nestas condições o número de estrelas será pequeno e fácil de contar. Apontemos o tubo em outra direcção, contando o número  $n_2$ ; segundo outra direcção ainda conte-se o número  $n_3$ , etc. Convém fazer pelo menos umas 15 contagens, obtendo os números  $n_1, n_2, \dots, n_{15}$ , referentes a diferentes direcções de observação. Calcula-se seguidamente a média aritmética destes valores,  $n_{\text{méd}}$ . Este último valor é o número médio de estrelas visíveis segundo o ângulo sólido  $\Omega_2$ , anteriormente definido.

Como estamos a raciocinar com base em números médios de estrelas observáveis num dado ângulo sólido

(com base na amostragem feita), o número de estrelas observáveis será directamente proporcional ao ângulo sólido de observação, sendo assim válida a expressão

$$\frac{n_{\text{méd}}}{N} = \frac{\Omega_2}{\Omega_1};$$

Por outro lado, tendo em conta esta última relação e a expressão [4], obtém-se imediatamente o número  $N$  de estrelas visíveis a olho nu na totalidade da esfera celeste (ângulo sólido  $\Omega_1 = 4\pi$  sr)

$$\frac{n_{\text{méd}}}{N} = \frac{R^2}{4L^2}, \text{ e portanto } N = \frac{4L^2 n_{\text{méd}}}{R^2} \quad [5]$$

Concretizando, admitamos que o observador utiliza um tubo com  $L = 40,0$  cm e  $R = 3,0$  cm, num bom local de observação, obtendo, por exemplo,  $n_{\text{méd}} = 8,1$ . Utilizando a expressão [5] chegamos facilmente a

$$N = \frac{4 \times 40^2 \times 8,1}{3^2} = 5,8 \times 10^3 \text{ estrelas.}$$

Estando à superfície da Terra, só poderemos ver, como é óbvio, metade da esfera celeste (num dado momento). Estarão assim, em termos médios,  $N/2$ , ou seja, cerca de  $2,9 \times 10^3$  estrelas acessíveis a olho nu, caso não consideremos a absorção da luz estelar ao atravessar a atmosfera terrestre. Porém, esta absorção é tanto maior quanto maior for o percurso dos raios luminosos através da atmosfera terrestre (Fig.4).

### 4. A influência da atmosfera terrestre

Na Fig. 4 pode ver-se que, supondo um modelo de atmosfera simplificado (de espessura perfeitamente delimitada e índice de refração decrescente com a altitude), o percurso do raio luminoso 1, através da atmosfera, é muito mais curto que o do raio 2, e este é, por sua vez, mais curto que o 3. Nestas condições, a absorção da luz estelar pela atmosfera é mínima na vizinhança do zénite (caso do raio 1) e máxima para os astros que se encontram a pouca altura, junto ao horizonte.

Assim sendo, é compreensível que a luz das estrelas mais chegadas ao horizonte seja mais absorvida do que a das que estão a maior altura. Verifica-se também que uma dada estrela, pouco depois de despontar no horizonte, aparenta (devido à absorção atmosférica) menor brilho do que, mais tarde, quando está a maior altura. Em particular, uma estrela visível com dificuldade na vizinhança do zénite (caso 1) será completamente invisível a olho nu se se encontrar, digamos, a  $8^\circ$  de altura. Deste modo, a Fig. 4 justifica a razão pela qual, embora nas condições anteriormente referidas fosse admissível que se vissem a olho nu 2900 estrelas, na realidade esse número é menor: na proximidade do horizonte muitas estrelas que

seriam detectáveis, se estivessem mais altas, deixam de ser visíveis devido à absorção atmosférica. Tendo em conta este efeito, o número de estrelas observáveis a olho nu, de um dado local e num dado momento, é apenas 70% do valor  $N/2$  que seria de esperar se não houvesse absorção atmosférica: neste caso seriam apenas cerca de 2000 estrelas.

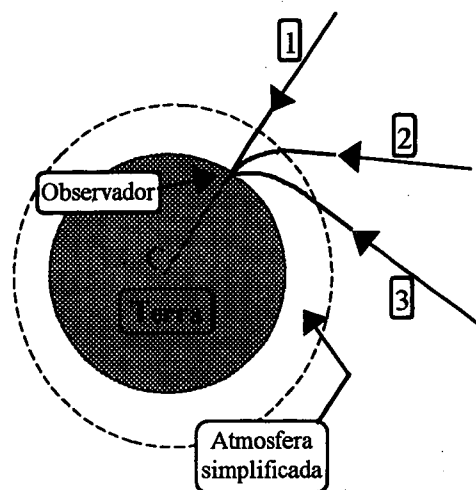


Fig. 4

É interessante e instrutivo fazer a experiência no local onde o observador se encontra, quer esse local seja bom, medíocre ou excepcional. Se  $n_{méd}$  for, por exemplo 1,7 (um local de observação francamente mau), a equação [5] dá para  $N$  o valor  $1,2 \times 10^3$ , conduzindo a cerca de 420 estrelas visíveis num dado momento, sem instrumentos de óptica (já contando com a absorção atmosférica). Mesmo num local excepcional (ausência de poluições, ar seco e grande altitude), no caso de um observador treinado e com excelente visão, um valor de  $n_{méd}$  de ordem de 11,0 conduz a  $N = 7,8 \times 10^3$  estrelas. Nestas condições verdadeiramente excepcionais, o observador verá então, num dado momento e na melhor das hipóteses, umas 2700 estrelas, já contando com a absorção atmosférica.

Na realidade, num dado momento podemos ver um pouco mais de metade da esfera celeste, pois a refração atmosférica eleva a altura dos astros, fenómeno evidenciado na Fig. 4 de uma forma muito exagerada. A Fig. 5 mostra, sem escala, a marcha de um raio luminoso emitido pela estrela  $S_1$ , atingindo o observador em O. Se não existisse atmosfera, a estrela seria vista a uma altura  $h_1$  (AO e  $S_1B$  são direcções paralelas, como é óbvio). Devido à refração atmosférica, para o observador tudo se passa como se o astro estivesse na posição  $S_2$ , sendo visto a uma altura  $h_2 > h_1$ . A elevação aparente ( $\Delta h$ ) do astro é a diferença  $h_2 - h_1$  e é tanto menor quanto maior for a altura deste. Por esta razão, devido à refração da luz na atmosfera, um astro aparenta estar mais alto do que

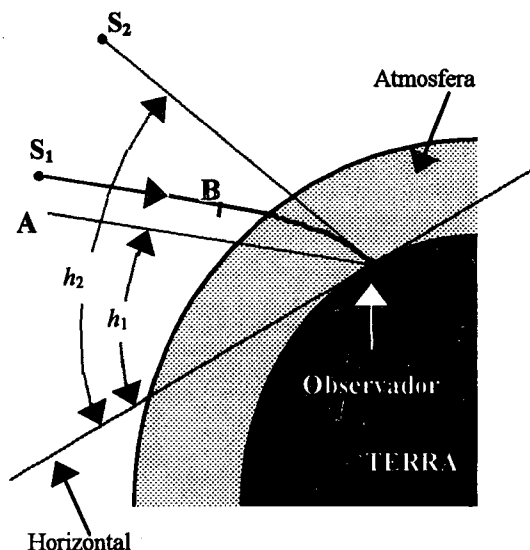


Fig. 5

aquilo que seria observado se a Terra não tivesse atmosfera. Este efeito é máximo na vizinhança do horizonte e diminui gradualmente com a altura, até se anular no zénite. No entanto, mesmo na situação de máximo efeito, a elevação aparente dos astros é apenas de  $0,57^\circ$ . Deste modo, o pequeno acréscimo da extensão da esfera celeste observável, proporcionado por esta refração, tem uma contribuição praticamente desprezável para a determinação do número de estrelas observáveis a olho nu. Essa escassa contribuição é ainda contrariada pela forte absorção da luz das estrelas que se encontram pouco elevadas sobre o horizonte.

#### 4. Conclusão

O processo utilizado é relativamente simples e não requer equipamento especial. Com ele, os alunos de uma escola secundária, ou de um clube de Astronomia, podem obter uma estimativa bastante satisfatória do número de estrelas observáveis a olho nu, num dado momento e de um dado local.

Com base nas considerações anteriores vemos que o senso comum e a tradição popular são grandemente exagerados, mesmo no caso dos melhores locais de observação. Esta conclusão, inesperada e desconcertante para muitas pessoas, não faz perder, contudo, a extraordinária beleza e encanto do céu nocturno.

Guilherme de Almeida é licenciado em Física e professor do Ensino Secundário, tendo incluído a Astronomia na sua formação académica. Autor de obras sobre iniciação à Astronomia e observações astronómicas, assinou diversos artigos e realizou numerosas acções de formação para professores. É formador do programa FOCO para as áreas de Astronomia e Física.

# A QUE DISTÂNCIA FICA O HORIZONTE?

GUILHERME DE ALMEIDA

Colégio Militar

Apartado 4526 — 1511 Lisboa Codex

A imensidão dos grandes espaços abertos faz-nos pensar que o horizonte geográfico está muito longe: a várias dezenas de quilómetros, para algumas pessoas, mais longe ainda para outras. Neste artigo mostra-se que não é assim e dão-se indicações para calcular a distância até essa linha “onde o mar e o céu se tocam”, utilizando conceitos geométricos simples.

Embora pareça muito longe, a linha do horizonte está a uma distância do observador bastante modesta e depende exclusivamente do raio do planeta onde nos encontramos, suposto esférico, e da altura do observador relativamente à superfície do planeta.

Considerando um observador em O (Fig. 1), a uma altura  $h$  relativamente à superfície de um planeta de raio  $R$ , o ponto P pertence à linha do horizonte, definida como o lugar geométrico dos pontos de tangência à superfície do globo das direcções que partem de O. Pretendemos calcular a distância  $d$ , entre O e P, que se determina recorrendo apenas a conceitos geométricos extremamente simples, como veremos.

Da Fig. 1 conclui-se facilmente que

$$(R + h)^2 = R^2 + d^2,$$

e portanto  $d^2 = 2Rh + h^2$ . Obtemos assim

$$d = \sqrt{2Rh + h^2}.$$

Como em geral  $h \ll R$ , podemos escrever, sem grande erro,

$$d = \sqrt{2Rh} \quad [1].$$

Para o caso da Terra ( $R = 6,378 \times 10^6$  m), supondo o observador num oceano (para evitar aos acidentes do relevo), a bordo de um navio e com os olhos a uma altura  $h = 15,0$  m acima da superfície líquida, obtém-se imediatamente  $d = 13,8 \times 10^3$  m. Quando olha para P, este observador não o faz segundo a direcção horizontal, mas sim segundo o ângulo  $\theta$  abaixo do horizonte (este ângulo é geralmente conhecido como *depressão aparente do horizonte*). O ângulo  $\theta$  obtém-se facilmente da Fig. 1:

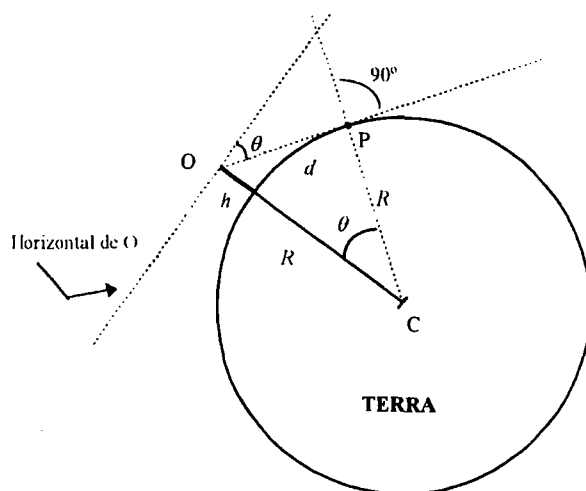
$$\tan \theta = \frac{d}{R}.$$

Com os dados anteriormente referidos será  $\tan \theta = 0,00216 \Leftrightarrow \theta = 0,124^\circ = 7,4'$ .

Utilizando a mesma expressão, no caso de um observador localizado numa praia, com os olhos a 1,60 m

da superfície da água, teremos  $d = 4,5$  km e  $\theta$  valerá apenas  $2,4'$ .

Porém, a expressão [1] diz-nos que  $d$  também depende de  $R$ , e este facto tem implicações curiosas. Num pequeno planeta como, por exemplo, Ceres ( $R \approx 480$  km), que é aproximadamente esférico, um observador de pé, com  $h = 1,60$  m verá o ponto P (adaptando a figura ao caso de Ceres) apenas a 1,24 km, sendo  $\theta = 8,9'$ . No caso do Sol ( $R = 7,0 \times 10^8$  m), se tivesse superfície sólida e uma temperatura amena, e ainda se a elevada intensidade do campo gravítico não nos incomodasse, para  $h = 1,60$  m o ponto P estaria a cerca de 47 km do observador, que olharia para P quase na horizon'tal ( $\theta = 0,2'$ ).



Verificámos assim que a linha do horizonte não fica tão longe quanto as aparências nos parecem fazer acreditar.

A análise que fizemos supõe superfícies esféricas, o que não é rigorosamente verdade, na Terra e nos outros astros. No entanto, para as pequenas distâncias envolvidas, na vizinhança de O, esta simplificação é legítima.



# SENSORES PARA EMISSÃO ACÚSTICA USANDO COMPÓSITOS FERROELÉTRICOS

P. INÁCIO, C. J. DIAS, J. N. MARAT-MENDES

Secção de Física Aplicada, FCT-UNL

Descreve-se a construção de um sensor <sup>(1)</sup> para detecção de sinais de emissão acústica (frequências da ordem dos MHz) usando o compósito ferroeléctrico feito de titanato de chumbo modificado com cálcio (PTCa) e de um copolímero do fluoreto de polivinilideno (P(VDF/TrFE)), numa fracção volúmica de 65:35%, respectivamente. O sensor foi testado usando o sistema de emissão acústica computadorizado LOCAN 320. Os testes efectuados são comparativos, isto é, comparou-se o desempenho deste sensor com o de outro já existente, nomeadamente o R15 da Physical Acoustics Corporation, que é usado na detecção de sinais de emissão acústica. Fez-se, também, a medição da impedância em função da frequência de ambos os sensores.

## 1. FERROELECTRICIDADE E PIEZOELECTRICIDADE

### Ferroelectricidade

Num material ferroeléctrico, a constante dieléctrica ( $\epsilon$ ) varia com a temperatura de acordo com uma lei conhecida por lei de Curie-Weiss. Abaixo de uma certa temperatura (temperatura de Curie) estes materiais polarizam-se espontaneamente, isto é, desenvolve-se uma polarização eléctrica sem a ajuda de um campo eléctrico externo (este fenómeno é análogo à magnetização espontânea que ocorre nos materiais ferromagnéticos). Esta polarização acontece porque os dipolos elementares interagem uns com os outros, dando origem a um campo eléctrico interno, que alinha os dipolos. Acima da temperatura de Curie o material está numa fase dita paraeléctrica, em que os dipolos estão orientados aleatoriamente, não havendo, portanto, polarização.

Porém, usualmente um material ferroeléctrico está num estado despolarizado. Para o polarizar é necessário aplicar um campo eléctrico externo. Ao se

aplicar o campo, a polarização vai aumentando até um certo ponto. Se depois se for reduzindo o campo até zero, a polarização não se anula: sobrevive alguma polarização — chamada polarização remanescente. Para destruir esta polarização é necessário aplicar um determinado campo eléctrico negativo, conhecido por campo coercivo. Se se aplicar um campo eléctrico que alterna periodicamente, a polarização descreve uma curva que é um ciclo de histerese (ver fig. 1). O uso de um ciclo de histerese é um método usual para avaliar a polarização e coercividade de um material ferroeléctrico.

### Piezoelectricidade

Associado à ferroelectricidade encontra-se sempre o fenómeno da piezoelectricidade. Embora a ferroelectricidade

<sup>(1)</sup> C. J. Dias (1994), *Ferroelectric composites for pyro and piezoelectric applications*. Thesis submitted in candidature for the degree of PhD, School of Electronic Eng. and Comp. Systems, Univ. of Wales, Bangor, U.K.

Ferroelectricidade

Piezoelectricidade

Emissão Acústica

Sensor para detecção

Testes experimentais

implique sempre a piezoelectricidade, o contrário não é verdadeiro.

O termo piezoelectricidade refere-se ao facto de que, quando se aplica uma tensão mecânica a um cristal, desenvolve-se um campo eléctrico dentro do material. Como resultado deste campo, desenvolve-se um potencial através do material. Medindo este potencial pode-se determinar o campo. O efeito inverso também se verifica: a aplicação de um campo eléctrico produz uma tensão mecânica. (Foi descoberto cerca de 1880).

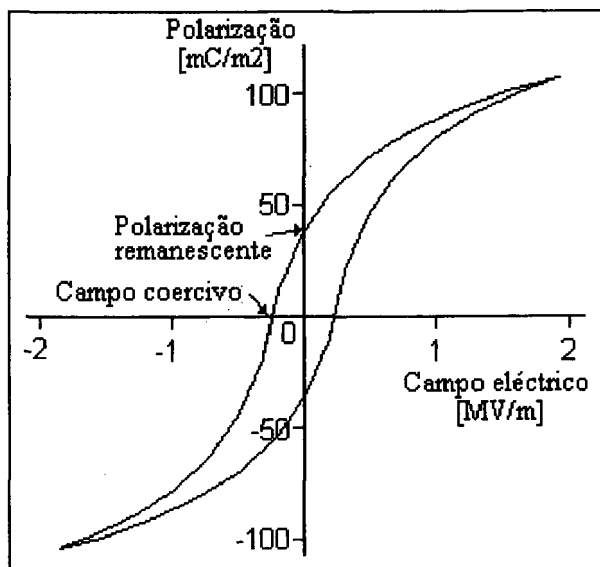


Fig. 1 — Ciclo de histerese típico de um material ferroeléctrico.

O efeito piezoeléctrico é usado para converter energia eléctrica em energia mecânica, e vice-versa, isto é, o material é usado como um transdutor. Por exemplo, se se aplicar um campo eléctrico nas faces (ambas com eléctrodos) de um pequeno disco de um material piezoeléctrico (como o quartzo, por exemplo) desenvolve-se uma tensão mecânica, que faz com que o disco se comprima ou se expanda, na direcção perpendicular às faces do disco, conforme o sentido do campo. Por outro lado, a aplicação de uma tensão mecânica nas faces do disco origina um campo eléctrico, cujo sentido depende de a tensão mecânica ser compressiva ou extensiva.

## 2. COMPÓSITOS

Nos últimos anos tem-se tentado combinar cerâmicas piezoeléctricas com polímeros tendo em vista a grande flexibilidade destes materiais na obtenção de propriedades particulares, tais como mecânicas, eléctricas, térmicas e/ou acoplamentos entre estas.

Hoje em dia são muito usados os materiais piezoeléctricos convencionais em aplicações que usem as suas propriedades piro e piezoeléctricas. Entre estes materiais encontram-se o zirconato-titanato de chumbo ou mais recentemente titanatos de chumbo modificados. Recentemente apareceram polímeros ferroeléctricos tais como o polivinilideno de flúor (PVDF) e os seus copolímeros com trifluoretileno (P(VDF/TrFE)).

Os compósitos podem ser vistos como materiais intermédios entre estes dois tipos de materiais combinando atributos como a flexibilidade e formabilidade, a toda uma gama de propriedades piro e piezoeléctricas que dependem quer da mistura cerâmica-polímero quer do processo empregue no seu fabrico. Para o fabrico de um bom compósito é de grande importância a identificação das variáveis que controlam o comportamento de uma propriedade. A mais óbvia é a de que a cerâmica deve exibir altas propriedades piro e piezoeléctricas.

## 3. INTRODUÇÃO À EMISSÃO ACÚSTICA

Existem poucos processos, em materiais, susceptíveis de produzir emissão acústica (EA) numa zona de alta energia e que podem portanto, ser detectados pelo ouvido humano. Na realidade, muito mais processos podem produzir emissão acústica. A técnica de EA permite detectar sinais sónicos e ultrasónicos de baixo nível gerados pela deformação, degradação ou rotura dos materiais. Os materiais "falam" quando têm problemas. Com equipamento de emissão acústica podem "ouvir-se" os sons de fendas a crescer, fibras a quebrar e muitos outros danos num material submetido a tensões.

A emissão acústica é uma técnica versátil com vários domínios de aplicação. Eis alguns exemplos de aplicação da EA em testes de materiais: comportamento de materiais (metais, cerâmicas, compósitos, rochas, betão), testes não destrutivos durante processos de fabrico, monitorização de estruturas, e também algumas aplicações especiais em química e petroquímica, aeronáutica e tecnologia aeroespacial, electrónica, etc.

### Emissão acústica

Entende-se por Emissão Acústica, simultaneamente, o método de controlo e a classe de fenómenos nos quais ondas elásticas são geradas pela libertação descontínua de energia a partir de fontes localizadas dentro de um material submetido a uma acção mecânica ou térmica. Uma fonte de EA dá origem a uma onda elástica esférica que se propaga em todas as direcções do material com um certo amortecimento. Ao atingir a superfície do material aparece uma onda de superfície, ou onda de Rayleigh.

### Descrição do sistema de teste (LOCAN 320)

Os testes efectuados ao sensor foram realizados no Núcleo de Cerâmicas e Plásticos do Lab. Nacional de Eng. Civil, utilizando o sistema LOCAN 320.

O LOCAN 320 é um sistema de emissão acústica computadorizado que efectua medições de sinais de EA e armazena, exhibe, e analisa os dados resultantes em tempo real. Os sinais acústicos vindos das estruturas são convertidos em sinais eléctricos através de sensores, que são depois amplificados por pré-amplificadores e medidos em módulos computadorizados.

A detecção de uma fonte de acontecimentos na estrutura constitui uma contagem de EA. O início de um acontecimento é gerado quando o sinal de EA ultrapassa pela primeira vez o nível limiar. Sempre que o sinal de EA ultrapassa o nível limiar há uma contagem de EA. O acontecimento acaba quando descer abaixo do nível limiar. Cada sinal de EA é descrito em termos das seguintes características (ver fig. 2):

- 1) tempo de subida;
- 2) duração;
- 3) contagens de EA no pico
- 4) contagens de EA;
- 5) energia;
- 6) frequência média;
- 7) nível limiar (dB);
- 8) amplitude do pico da EA (dB);
- 9) RMS;
- 10) nível médio do sinal.

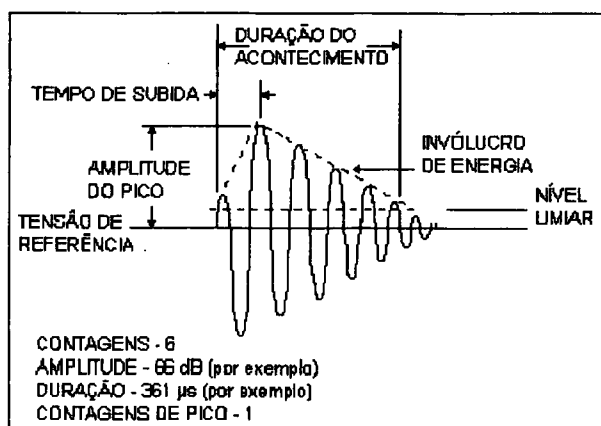


Fig. 2 — Características da forma de onda de um acontecimento típico.

Na fig. 3 encontra-se um esquema da montagem utilizada para testar o sensor construído. A emissão acústica no material era provocada quebrando uma mina de lápis na superfície do material, ou dando pequenas pancadas, num ponto equidistante aos dois sensores, que se encontram a cerca de 5 cm um do outro. A energia acús-

tica assim gerada é convertida num sinal eléctrico pelos sensores. Esse sinal é depois amplificado por um pré-amplificador (um para cada transdutor), que tem um ganho seleccionável de 40 dB ou 60 dB.

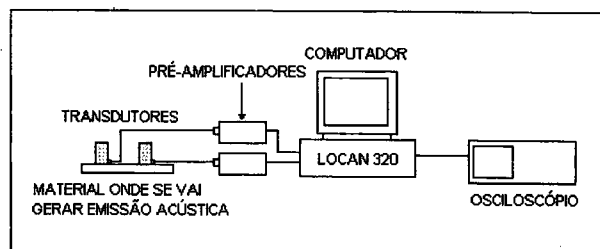


Fig. 3 — Esquema da montagem para o teste do sensor.

### 4. SENSOR PARA DETECÇÃO DE SINAIS DE EMISSÃO ACÚSTICA

#### Frequência de ressonância

Quando uma onda mecânica é aplicada a um disco, haverá ressonância quando a frequência ( $f_0$ ) de oscilação corresponder a um comprimento de onda ( $\lambda_0$ ) que é o dobro da espessura da amostra (ver fig.4). Estas grandezas relacionam-se com a velocidade do som no material ( $V_s$ ) através de

$$\lambda_0 f_0 = V_s$$

de modo que se  $d$  for a espessura da amostra, segue-se que  $\lambda_0 = 2d$  e,

$$f_0 = V_s/2d$$

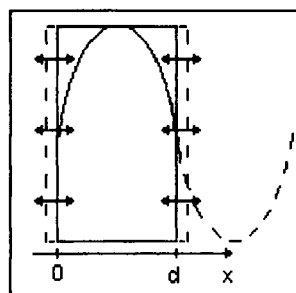


Fig. 4 — Ressonância numa amostra piezoeléctrica.

#### Preparação do elemento piezoeléctrico

O compósito usado como elemento piezoeléctrico é uma mistura do polímero P(VDF/TrFE) 75:25 mol% com uma fracção volúmica de 65% da cerâmica tita-



nato de chumbo modificado com cálcio, ou seja, PTCa:P(VDF/TrFE) 65%.

Para a obtenção de películas do compósito o material foi prensado a uma temperatura de cerca de 150°C com uma pressão de 1-1.5 ton durante 3-5 minutos. Deste modo obtiveram-se películas circulares ( $\varnothing$  25 mm) com a espessura desejada. Para a aplicação pretendida foram obtidas películas com espessura de 0.55 mm.

Depois, evaporaram-se (numa câmara de vácuo) eléctrodos circulares ( $\varnothing$  10 mm) de alumínio em ambos os lados das películas.

Estas películas foram depois polarizadas, a uma temperatura de aproximadamente 100°C, com a aplicação de uma tensão eléctrica de 9000V durante 15 minutos. (Nota: Polarização é o processo que um material ferroeléctrico sofre quando os seus dipólos eléctricos se alinham irreversivelmente por aplicação de um campo eléctrico, de modo a que o material possa depois ter propriedades piezoeléctricas).

### Construção dos transdutores

Na fig. 5 está representado um esquema dos transdutores construídos. O elemento piezoeléctrico é uma película do compósito PTCa-2:P(VDF/TrFE)65% com eléctrodos de alumínio em ambas as faces. O eléctrodo interior terá um diâmetro de 10 mm e o exterior estará ligado ao invólucro para que haja uma ligação à terra. Esta película fixa-se a um material de apoio através de uma fina camada de cola. Na zona em que a película faz o contacto com o fio de ligação a colagem foi feita com cola de prata, para assegurar uma boa condução eléctrica.

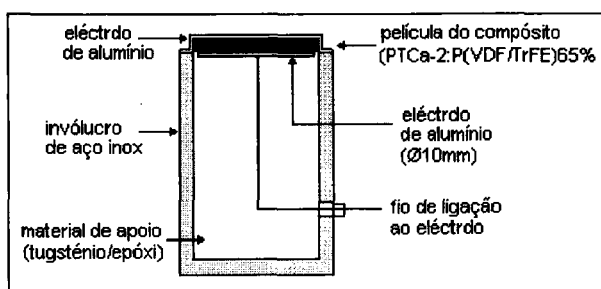


Fig. 5 — Diagrama esquemático do sensor.

O material de apoio é feito de uma mistura de tungsténio/epóxi em proporções apropriadas. A proporção da mistura é escolhida de modo a ter uma impedância acústica próxima da do compósito. Deste modo atenuam-se os "ecos" inconvenientes que possam surgir devido às sucessivas reflexões da onda sonora nas superfícies da película. No caso do sensor aqui construído escolheu-se

uma mistura de tungsténio/epóxi numa fracção volúmica de 35:65%, respectivamente. Assim, a impedância acústica específica desta mistura será 12.5 MRayl, que é bastante próxima da do compósito (13.5 MRayl).

A velocidade do som no compósito é 2600 m/s. Como a película de compósito tem uma espessura igual a 0.55 mm, a frequência de ressonância esperada para o sensor é 2.36 MHz.

Na fig. 6 pode-se ver uma fotografia do sensor.

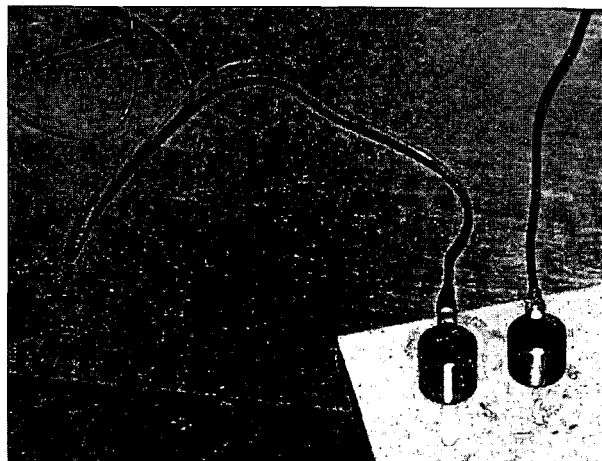


Fig. 6 — À esquerda o sensor R15 da PAC, e à direita o sensor aqui proposto

### Descrição do sensor R15 da PAC (sensor comercial)

O sensor R15 tem um desenho e dimensões semelhantes (ver fig. 6) às do sensor aqui proposto, e utiliza também uma cerâmica como elemento piezoeléctrico. Apresenta-se a seguir uma lista com algumas das características do R15.

- Sensibilidade máxima: -64 dB [ref 1V/mbar]
- Gama de frequências de funcionamento: 50-200 kHz
- Frequência de ressonância: 150 kHz
- Capacidade: 290 pF

### 5. RESULTADOS DOS TESTES NO SISTEMA LOCAN 320

Como já se disse, os testes efectuados ao sensor são comparativos, isto é, comparou-se o seu desempenho com o do sensor R15.

Foi analisada a resposta do sensor em termos das contagens de EA, do tempo de subida, da energia e da duração. Não foi possível obter qualquer registo gráfico, pelo que os resultados apresentados são apenas qualitativos. Obtiveram-se os seguintes resultados:

- Acertos: cerca de 20% dos registados pelo R15;
- Tempo de subida: ligeiramente inferiores aos do R15 (na ordem das dezenas de  $\mu\text{s}$  para o R15);
- Energia: cerca de 25% da registada pelo R15.
- Duração: cerca de 30% da registada pelo R15 (na ordem das centenas de  $\mu\text{s}$  para o R15).

Nas figs. 7 e 8 encontram-se as formas de onda obtidas por cada um dos sensores quando se quebra uma mina de lápis na superfície do material.

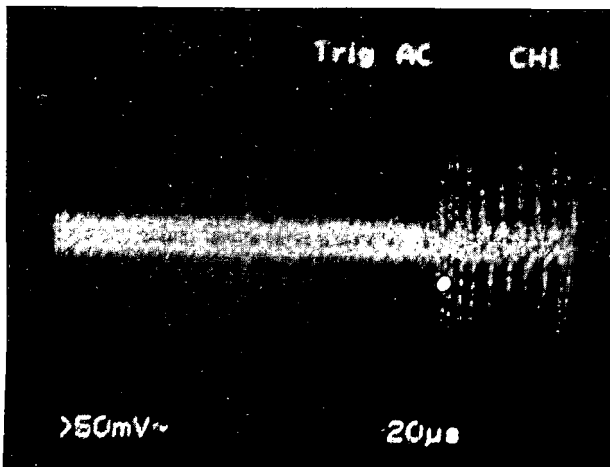


Fig. 7 — Forma de onda obtida pelo sensor R15, quando se quebra uma mina de lápis na superfície do material.

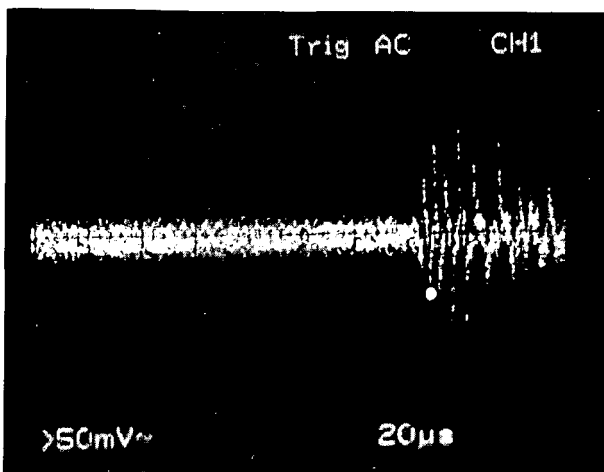


Fig. 8 — Forma de onda obtida pelo sensor proposto, quando se quebra uma mina de lápis na superfície do material.

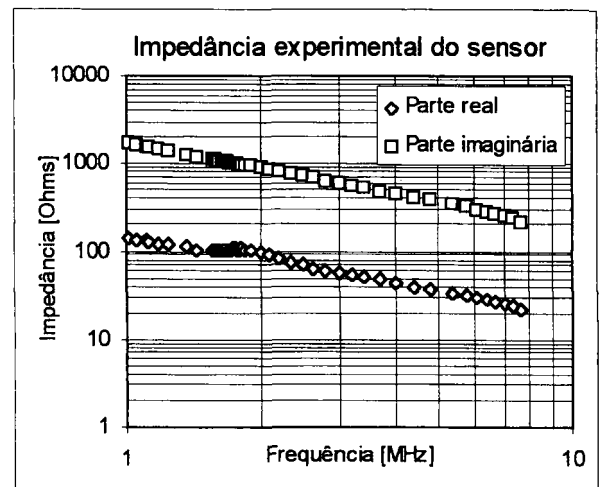
## 6. IMPEDÂNCIA EXPERIMENTAL E LARGURA DE BANDA DOS SENSORES

As medições da impedância dos sensores foram efectuadas na Secção de Electrónica Teórica e Medidas Eléctricas do IST/UTL, usando o HP 4195A Network/Spectrum Analyzer. Nas figs. 3 e 4 encontram-se os gráficos dos resultados obtidos.

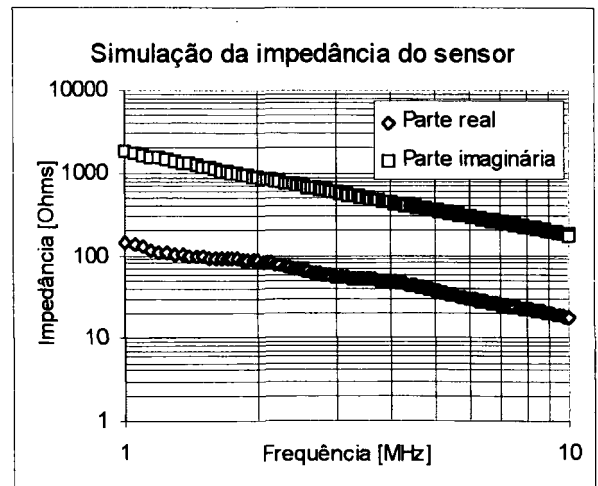
### Impedância do sensor

Pelo gráfico da fig. 9 pode-se ver que o sensor construído apresenta um pico na parte real da impedância à volta de 2 MHz, o que corresponde à frequência de ressonância esperada para o sensor (2.36 MHz).

A largura de banda (região à volta do pico) é cerca de 1 MHz.



a)



b)

Fig. 9 — a) — Impedância experimental do sensor; b) — simulação da impedância do sensor

Para a simulação da impedância do sensor usou-se a seguinte expressão [ 1]:

$$Z = \frac{1}{i\omega C_s} + \frac{h^2 Z_b + 2i Z_a \left( \frac{1 + \cos(x)}{\sin(x)} \right)}{Z_a \left( i \frac{Z_b}{\operatorname{tg}(x)} - Z_a \right)}$$

sendo  $x = \pi f / \alpha f_0$ ,  $\alpha = (1 + i\Psi f / f_0)^{1/2}$ ,  $\omega = 2\pi f$ ,  $C_s = \epsilon^x (1 - \tan\delta_e) \epsilon_0 A/d$ ,  $Z_b = A z_b$ ,  $Z_a = A z_a$ .  $A$  é a área da película ( $\varnothing 10$  mm),  $d$  ( $=0.55$  mm) é a espessura da película,  $\tan\delta_e$  são as perdas dieléctricas,  $h$  é uma constante piezoeléctrica,  $\omega$  é a frequência angular,  $C_s$  é a capacidade do elemento piezoeléctrico,  $\epsilon^x$  é a parte real da constante dieléctrica do elemento piezoeléctrico,  $\epsilon_0$  é a permissividade eléctrica no vazio,  $Z_a$  e  $Z_b$  são, respectivamente, a impedância acústica do elemento piezoeléctrico e do material de apoio (sendo  $Z_a$  e  $Z_b$  as respectivas impedâncias acústicas específicas),  $\Psi$  representa as perdas mecânicas no elemento piezoeléctrico,  $f$  é a frequência e  $f_0$  é a frequência de ressonância.

A simulação foi feita para o intervalo de 1-10MHz (ver fig. 6b), com os seguintes parâmetros:

$\Psi$	$Z_a$ [MRayl]	$Z_b$ [MRayl]	$v_s$ [m/s]	$\epsilon^x$	$h$ [GV/m]	$\tan\delta_e$
0.13	13.5	12.5	2600	39	3.5	0.1

### Impedância do R15

No gráfico da fig. 10 encontram-se os resultados da medição da impedância do sensor R15 da Physical Acoustics Corporation. Pelo gráfico pode-se ver que o R15

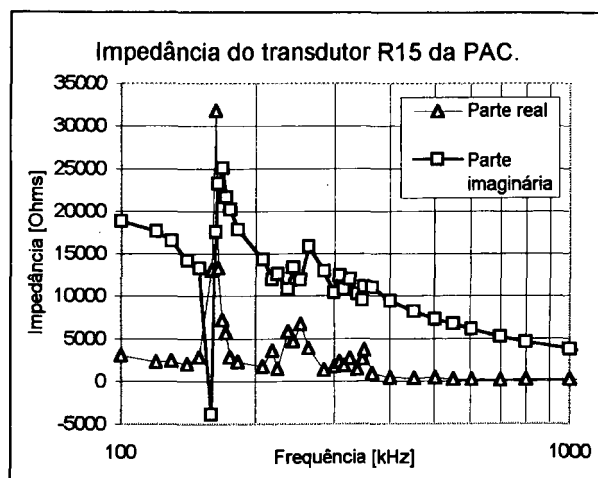


Fig. 10 — Impedância do transdutor R15 da PAC.

apresenta um pico muito acentuado na parte real da impedância a cerca de 160kHz, o que corresponde à sua frequência de ressonância. Este valor para a frequência de ressonância está de acordo com o valor fornecido pela PAC, e que é cerca de 150kHz.

A largura de banda é cerca de 20 kHz.

### CONCLUSÕES

- Pode-se concluir que o desempenho do sensor construído é inferior ao do R15, relativamente ao resultado dos testes no sistema LOCAN 320.

- No entanto, deve-se ter em conta que o sistema LOCAN 320 está otimizado para funcionar nas frequências 100-300 kHz.

- E de salientar que este compósito (PTCa-2: P(VDF/TrFE)65%) indicia boas potencialidades para aplicações na área de detecção de sinais de emissão acústica, pois, mesmo para frequências muito inferiores às de ressonância se conseguiu detectar sinais de emissão acústica.

- E, portanto, válida a hipótese de considerar este compósito como tendo uma banda larga de frequências em que pode operar, o que é bastante vantajoso.

- Como trabalho futuro fica uma melhor construção dos sensores e a realização de testes que permitam determinar com mais exactidão as características do sensor.

Paulo A. R. F. Inácio licenciou-se em Engenharia Física na Universidade Nova de Lisboa, Portugal, em 1995. Actualmente, frequenta o Mestrado em Instrumentação, Manutenção Industrial e Qualidade. Faz investigação nas áreas de materiais piezoeléctricos, biosensores e instrumentação.

Carlos J. M. M. Dias licenciou-se em Engenharia Física na Universidade Nova de Lisboa, Portugal, em 1982. Doutorou-se na University of Wales, Reino Unido, em 1994, defendendo uma tese no domínio de compósitos ferroeléctricos. Actualmente, é professor auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Faz investigação nas áreas de dieléctricos, materiais ferroeléctricos e suas aplicações e fenómenos de relaxação nestes materiais.

José N. Marat-Mendes licenciou-se em Físico-Química na Universidade de Lisboa, Portugal, em 1967. Doutorou-se em Física na University of Witwatersrand, África do Sul, em 1976. Actualmente, é professor associado e Coordenador da Secção de Física Aplicada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Faz investigação nas áreas de ciência dos materiais, electretes, electrocerâmica, compósitos e suas aplicações em instrumentação.



## JUBILAÇÃO DO PROF. J. MOREIRA DE ARAÚJO

O dia 21 de Setembro de 1998 assinalou a jubilação do Prof. J. Moreira Araújo como professor catedrático da Faculdade de Ciências do Porto.

Para comemorar a efeméride, um grupo de colegas e amigos promoveu um conjunto de realizações de homenagem ao Prof. Araújo, revestidas de grande simplicidade, mas vividas com profundo sentido de admiração e carinho por todos os que nelas participaram.

O Departamento de Física decidiu dedicar o nome do Prof. Araújo à sua biblioteca, como testemunho do seu reconhecimento pela sua acção pioneira e de incedível dedicação para a sua criação e consolidação ao longo dos anos, e pelo grande impacto que teve para o desenvolvimento das diferentes áreas do Departamento, investigação local, e apoio dos alunos das licenciaturas e pós-graduação.

Foi instituído, na Faculdade de Ciências do Porto, um prémio denominado Prof. Prof. J. Moreira Araújo, com o apoio da Fundação Belmiro de Azevedo, a atribuir anualmente ao aluno mais classificado das licenciaturas em Física, com nota final não inferior a 16 valores.

Prestando um tributo às contribuições e preocupações sempre manifestadas pelo Prof. Araújo no domínio da arte e da cultura, um grupo de colegas do Departamento organizou um Curso livre sobre "Arte e Física", que decorreu às 2.<sup>as</sup>-feiras no período de 19 de Outubro a 30 de Novembro de 1998, cobrindo um leque muito diversificado de tópicos: teorias ópticas antigas; óptica e catóptrica: a visão greco-romana do mundo; concepção físico-matemática e representação na pintura chinesa; teorias ópticas pós-medievais; episódios de uma curta história da sombra; óptica atmosférica. Algumas ilustrações.

Foram também recolhidos numerosos depoimentos de antigos colegas e amigos, que estão presentemente a ser compilados numa publicação do Departamento de Física assinalando a jubilação do Prof. Araújo.

Foi reeditada uma colecção dos textos das aulas dadas pelo Prof. Araújo no Curso de Mestrado em Física do Estado Sólido e Ciência dos Materiais, intitulada "Notas de macrofísica dos meios materiais"; uma lição sobre "Caracterização macroscópica do magnetismo", apresentada na I Semana de Magnetismo; e as notas de "Propriedades ópticas dos materiais".

Os técnicos das oficinas de Mecânica de Precisão e de Electrónica do Departamento de Física associaram-se de um modo especial, executando dois trabalhos de grande qualidade artística, tendo por base dois instrumentos científicos, reproduzidos localmente com grande rigor, sentido estético e perfeitamente operacionais.

Outros colegas se associaram com lembranças de cunho pessoal, quadros feitos pelos próprios, colectânea de textos antigos sobre ciência (séc. XVIII).

As celebrações culminaram com uma sessão solene na tarde do dia 27 de Novembro, no Salão Nobre da Faculdade de Ciências do Porto, presidida pelo Senhor Reitor da Universidade do Porto.

O Prof. J. Manuel Machado da Silva, na qualidade de Director da Faculdade de Ciências do Porto e de Presidente da Comissão de Homenagem ao Prof. Araújo, orientou todos os trabalhos da sessão solene.

Como oradores, falaram o Prof. J. Bessa Sousa, Presidente do Departamento de

Física, o Prof. J. Filipe Santos, prof. catedrático da Faculdade de Ciências de Lisboa e antigo aluno do Prof. Araújo, e ainda o Eng. José Lourenço e Castro, antigo aluno e Assistente do Prof. Araújo, administrador da Cabelte, que nos trouxe uma visão oportuna sobre a importância da Física na Engenharia e para o desenvolvimento tecnológico e industrial.

A Gazeta de Física publica neste número os textos das referidas intervenções, associando-se com júbilo e reconhecimento, em nome da Sociedade Portuguesa de Física, aos actos de merecida homenagem prestados à figura ímpar do Prof. J. Moreira do Araújo. Recordam-se publicamente as suas vertentes de cientista de eleição e de insigne pedagogo, de grande homem de cultura, as suas invulgares qualidades humanas e a total dedicação que tem dado à Universidade Portuguesa e às mais diversas instituições de Ciência e Cultura do nosso País.



**J**osé Maria Ribeiro Moreira de Araújo nasceu no Porto a 21 de Setembro de 1928, tendo concluído o seu curso liceal no liceu Alexandre Herculano, no ano de 1945, com a classificação de 20 valores.

Na Faculdade de Ciências do Porto concluiu a licenciatura em Ciências Físico-Químicas no ano de 1949, com a classificação de 19 valores. Foi assistente de Química na FCUP a partir de Outubro de 1949, passando a Assistente de Física em Abril de 1959. Como bolseiro do Instituto de Alta Cultura parte em Novembro de 1952 para realizar o seu trabalho de doutoramento em Física Teórica na Universidade de Manchester, sob a orientação do Prof. Leon Rosenfeld. Realiza um trabalho brilhante e com grande impacto mundial, sobre a estrutura do núcleo atómico. A sua tese de doutoramento, sobre Collective Motions in Atomic Nuclei, foi defendida em Maio de 1955, sendo examinador externo o Prof. Rudolf Peierls. Doutora-se no ano seguinte em Ciências Físico-Químicas na Universidade do Porto, com a classificação de 20 valores.

Em 1958 ascendeu, por concurso a professor extraordinário de Física na Universidade do Porto e em 1960, por convite, a professor catedrático de Física na mesma Faculdade.

Exerceu, ao longo dos anos, muitos cargos de índole científica e/ou de extensão universitária, nas mais variadas instituições. Limitamo-nos a uma brevíssima referência a algumas das actividades realizadas.

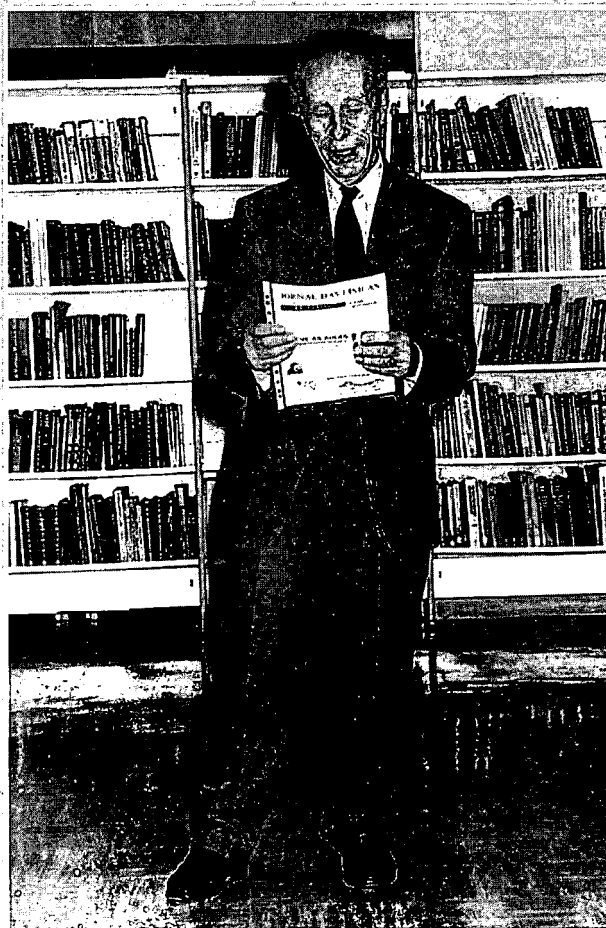
- Na Faculdade de Ciências do Porto foi Director do Laboratório de Física (1968-75), Director da sua Biblioteca (1962-67), presidente do Conselho Científico no ano de 1978 e no biénio 1988-91. Membro do Senado (até 1991) e da Assembleia da Universidade (até 91; e 94, eleito vice-presidente). Membro do Conselho Geral e vice-presidente da Fundação Gomes Teixeira da Universidade do Porto. Director do Centro de Física da Universidade do Porto (IAC/JNIC) no período de 1963-83. Presidente do Conselho de Investigação Científica do IAC (1970-73).

- Vice-Presidente do Instituto de Alta Cultura (1971-73). Membro da Comissão de Física do Instituto de Alta Cultura (1976-92). Presidente do Conselho de Ciências exactas (1989-92). Director do Projecto de Investigação PF1 (desde 1971).

- Membro da Academia das Ciências de Lisboa desde 1993, e sócio efectivo desde 1992.

- Presidente da Sociedade Portuguesa de Física nos triénios 1975-77 e 1984-86, e Presidente da Comissão de Publicações da Sociedade Europeia de Física (1984-87).

- Pertenceu a: Comissão Oceanográfica Portuguesa (1962), Comissão para a reforma das Faculdades de Ciências (1970-71), Comissão Pedagógica Interuniversitária da Junta Nacional de Educação (1972-74), Comissão de Equivalências de Graus académicos estrangeiros (1975), Delegação Portuguesa à IX reunião mista Luso-Britânica (1975), Comissão Executiva das comemorações dos 75 anos da Universidade do Porto, intervindo especialmente na exposição montada no Museu Soares dos Reis (1987).



Membro do grupo que produziu o "Relatório de Autoavaliação da Universidade do Porto", experiência-piloto do Conselho de Reitores Europeus (1994).

- Na SPF, promove a admissão na IUPAP e o reforço da colaboração com a Sociedade Europeia de Física. Sob a sua acção, é retomada a publicação regular da Gazeta de Física (criada em 1946) e assegurado o reaparecimento da revista Portugaliae Physica, que dirige de 1979 a 1987.

- É, desde 1991, Director do Colóquio/Ciências, revista de cultura científica da Fundação Calouste Gulbenkian que muito tem prestigiado.

- É membro do Comité Científico e Técnico (Euratom) da Comunidade Europeia, desde 1992 e membro da Scientific and Technical Committee da CE (desde 1988).

- Foi consultor técnico e científico do Laboratório de Física e Engenharia Nuclear, de Sacavém, no período de 1961 até 1973.

- Colaboração editorial em várias revistas de Física: co-editor de Nuclear Physics (1956-68); editor de Portugaliae Physica (1979-86); membro do corpo redactorial da Gazeta de Física (1984-86) e de Europhysics Letters (1984-87).

- Convidado para professor visitante nas Universidades de S. Paulo, Karlsruhe (RFA) e Bruxelas.

- Director do Museu de Ciência da Faculdade de Ciência do Porto (em organização).

## PROF. J. MOREIRA DE ARAÚJO

### O SENTIDO DA SUA OBRA

É para mim uma grande honra e dá-me muita alegria, poder proferir nesta cerimónia umas breves palavras, em representação do Departamento de Física da Faculdade de Ciências do Porto, de homenagem ao Prof. Araújo, neste dia tão especial para a nossa Universidade e para tantos dos seus amigos aqui presentes.

Sendo esta uma missão irrecusável, constitui também uma pesada responsabilidade, pois a figura e a obra do Prof. Araújo, na sua riquíssima diversidade e vigor, apenas de um modo muito pálido e limitado poderão ser esboçadas na singeleza das minhas palavras.

O Prof. Araújo é uma figura ímpar em todo o sentido, constituindo uma incontestável referência moral, científica e humanística na nossa sociedade e de um modo muito especial na Universidade portuguesa, que sempre tem servido com raro brilhantismo e exemplar devoção.

O fulgor da sua inteligência, a densidade e fluência dos seus raciocínios, a meticulosidade com que retém, estrutura e organiza o conhecimento, impuseram-se logo na sua juventude, concluindo o seu curso liceal no liceu Alexandre Herculano, no Porto, em 1945, com a classificação de 20 valores.

Como não podia deixar de ser, foi também um aluno excepcional na Faculdade de Ciências do Porto, concluindo a licenciatura em Ciências Físico-Químicas em 1949, com a média final de 19 valores.

Em Outubro do mesmo ano, torna-se assistente de Química nesta Faculdade, passando a assistente de Física em Abril de 1950.

Com uma bolsa do Instituto de Alta Cultura parte em Novembro de 1952 para a Universidade de Manchester, iniciando aí o seu trabalho de doutoramento em Física Teórica Nuclear, sob a orientação do célebre Prof. Léon Rosenfeld. Realiza um doutoramento brilhante, com um trabalho de grande impacto internacional, sobre os movimentos colectivos em núcleos atómicos, que veio a constituir uma referência mundial nesse domínio e que marcou o início das modernas teorias dos fenómenos colectivos. Refira-se que a sua tese de doutoramento foi defendida em Maio de 1955, isto é, apenas 2 anos e meio após a sua chegada à Universidade de Manchester.

Teve como examinador externo o Prof. Rudolf Peierls, uma figura que me é particularmente grato recordar neste dia, e que haveria de estabelecer e manter até a sua morte, ocorrida em 1995, uma relação científica e de colaboração muito especial com os Departamentos de Física das Universidades de Coimbra e do Porto.

Em Maio de 1960 o Doutor Araújo ascende, por convite, a professor catedrático de Física na Universidade do

Porto, iniciando aqui uma obra notabilíssima, que rapidamente se estendeu ao exterior, deixando a marca indelével da sua personalidade, inteligência e visão em diversas instituições nacionais, ligadas à Ciência e à Cultura, e também estrangeiras. Registo a intensa, sã e esclarecida convivência científica, cultural e académica que o Prof. Araújo manteve com todas as Universidades portuguesas, ao longo de várias décadas, que constitui um caso exemplar no meio português.

Com mais propriedade e esclarecido conhecimento, saberá o meu querido amigo, Prof. Filipe Duarte Santos<sup>1</sup>, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, referir-se a essa acção do Prof. Araújo, exterior à Universidade do Porto, em prol do desenvolvimento da Física e da Ciência em Portugal.

Não podendo fazer justiça, nos escassos minutos desta intervenção, à vastíssima obra do Prof. Araújo no Departamento de Física, e a toda a nobreza e riqueza da sua personalidade, deixarei apenas uns breves traços ilustrativos, meros apontamentos fugazes, sobre algumas facetas da sua figura, e do sentido profundamente universitário, no seu significado mais lato, com que sempre exerceu a docência e desempenhou os mais variados cargos ao longo dos anos.

Como escreveram os meus colegas de uma geração mais nova, António Pereira Leite e Maria de Fátima Mota, a qualidade notável do ensino do Prof. Araújo manifestase em *todas* as disciplinas que leccionou, e o impacto que teve na formação de alunos de muitas gerações das licenciaturas em Física e em engenharia é indiscutível.

Tentando ilustrar o impacto que o Prof. Araújo teve, como professor, na minha formação, transcrevo aqui uma parte de um texto que a propósito escrevi recentemente.

"Tive a felicidade de ser aluno do Prof. Araújo nos anos de 1958 e 1959, numa fase crucial da minha formação, nas disciplinas de Física Geral e de Física Complementar. A sua primeira aula e seguintes causaram-me uma vivíssima impressão. A harmonia e encadeamento das suas palavras e raciocínios, a concisão das frases, a oportunidade dos comentários, a facilidade como tudo fluía, sem a mais leve hesitação, o modo como o quadro preto ia sendo preenchido com uma escrita impecável, alinhada, certa, com cada palavra, equação, sublinhados, desenhos ... a cair nos "locais exactos" para melhor transparência do conteúdo e estética de todo o conjunto.

Nada era apresentado sem enquadramento prévio, sem interrogações ou reflexões oportunas, sem a clara identificação das hipóteses simplificativas e limitações dos tratamentos em jogo. O desenvolvimento de cada tema era sempre norteado por sucessivos graus de generali-

<sup>1</sup> Orador seguinte na sessão de homenagem prestada na Faculdade de Ciências do Porto, em 27 de Novembro de 1998.



zação, pela procura de analogias com fenómenos físicos muito diversos ..., só aparentemente "desligados" dos primeiros.

Saía sempre maravilhado das suas aulas, instalando-se progressivamente em mim a ideia da sua infalibilidade, rapidamente se tornando o exemplo e modelo para a minha formação.

O rigor das suas exposições, a transmissão dos conceitos verdadeiramente essenciais e unificadores, os tratamentos matemáticos cheios de elegância, intencionalidade e generalidade, constituíam uma sólida formação básica para os alunos dos Preparatórios de Engenharia (3 anos), então ministrados na Faculdade de Ciências. Deste modo, tornava-se fácil a apreensão das matérias mais tarde ensinadas na Faculdade de Engenharia, nos três anos finais das respectivas licenciaturas. No meu caso, isto permitiu-me ter mais tempo e disponibilidades para me concentrar nos aspectos mais estritamente ligados à Engenharia e sua metodologia própria."

O contributo excepcional dado pelo Prof. Araújo à investigação e à Ciência deste país é de uma natureza muito própria e diferente do habitual, que não se enquadra na abordagem tecnocrática e primária de simples contagem dos "papers" produzidos e suas citações.

Não, não é a quantidade de papers que faz um bom cientista, não é apenas a escrita de papers para conferências e revistas que confere valor e justo reconhecimento científico.

O Prof. Araújo mostrou à sociedade que sabe ser investigador de primeira linha, ao realizar trabalho pioneiro e de impacto mundial, sintetizado em publicações científicas que ainda hoje constituem marcos de referência em originalidade e craveira científica. O Prof. Araújo poderia ter certamente escrito muito mais "papers", em variados domínios da Física, todos certamente com a elevada qualidade a que sempre nos habituou.

Mas o Prof. Araújo fez algo mais importante, ao dedicar toda a sua vida e energia à criação, em todas as frentes, das condições para que muitos outros investigadores do seu Departamento pudessem encontrar os meios para realizarem a sua investigação e desenvolverem, em plenitude, as suas potencialidades. Quantos trabalhos científicos já resultaram dessas ações, quanta formação graduada e pós graduada de excelente nível daí resultou? Muitos pensariam que com o envolvimento em tantas frentes e as pesadas sobrecargas administrativas daí resultantes o Prof. Araújo, conservando todavia as suas excepcionais qualidades pedagógicas, iria progressivamente perdendo o contacto com as linhas fulcrais da investigação ou do desenvolvimento científico, não conseguindo actuar como interlocutor privilegiado com os seus pares no sector da investigação.

Puro engano, e aí reside uma das facetas mais impressionantes da inteligência e dimensão intelectual do Prof. Araújo. Quando lhe apresentávamos qualquer pro-

blema nascido da investigação, por vezes tão distante das áreas em que se especializou, o Prof. Araújo rapidamente apreendia toda a relevância científica em jogo, ouvindo primeiro atentamente, e tendo depois comentários de grande profundidade, chamando a atenção para novas pistas de abordagem, informando sobre trabalhos recentíssimos relevantes para o problema em apreciação, procurando analogias, propondo novos testes ou verificações cruciais.

Tanta sabedoria e maturidade, tanta disponibilidade para esclarecer e estimular, tanta universalidade no pensamento. O Prof. Araújo sempre se manteve cientificamente actualizado, conhece como poucos o sentido e as exigências do rigor matemático, mas os seus raciocínios, na fase de apreensão profunda do significado físico de um problema, jamais se perdem em minudências ou questões laterais e acessórias.

Ao ter recordado hoje, com saudade, a figura do Prof. Peierls, fi-lo por ter desde há muito associado ambos estes meus professores nesta faceta rara de disponibilidade para transmitir, resolver, estimular e vivificar a produção científica de outros. O Prof. Peierls não publicou tantos trabalhos científicos como poderia ter feito, mas quantos trabalhos de excepção tiveram origem em pequenos mas profundos comentários que fazia em conversas, com alunos ou com os seus pares, a tomar uma chávena de chá em são convívio académico. Quantas referências há em livros e trabalhos científicos sobre observações ou sugestões relevantes (e não publicadas), feitas pelo Prof. Peierls. Esta missão só está ao alcance de figuras de eleição, e o Prof. Araújo está certamente incluído nesse reduzido grupo.

Não cabe aqui analisar o que foi a evolução científica do Departamento de Física da FCUP desde a década de 60, mas impõem-se alguns comentários claros sobre o significado profundo e alcance da visão estratégica do Prof. Araújo.

- Sendo um Físico Teórico Nuclear, teve a coragem e lucidez para dar prioridade ao lançamento no Porto de outras áreas que poderiam desenvolver-se com qualidade científica e extensão, dentro dos limitados recursos existentes.

Começou por privilegiar o desenvolvimento da investigação experimental, justamente em Física do Estado Sólido e das Baixas Temperaturas. Eram domínios que ofereciam amplas perspectivas de desenvolvimento, tanto científico como tecnológico, e campo fértil para a aplicação da Mecânica Quântica e Física Estatística (e das ideias da Física Moderna) e para as tecnologias emergentes da Electrónica do Estado Sólido.

As actuais áreas da Optoelectrónica e Óptica Moderna, Física/Ciência de Materiais, Física Estatística/Simulação Computacional constituem pilares da ciência e tecnologias dos nossos dias, e sê-lo-ão ainda mais no próximo século.

• Na condução da referida estratégica, o Prof. Araújo soube criar padrões de ética e de sã convivência entre todos, de competência e níveis de referência e qualidade, de respeito intelectual pelas diferenças, de sobriedade e humildade no trabalho e nas acções.

Tinha tanto mais para dizer sobre a personalidade do Prof. Araújo, mas não o posso fazer com qualquer extensão no reduzido tempo da minha intervenção<sup>2</sup>. Registo apenas alguns comentários em estilo telegráfico.

• Primado da qualidade, rigor e da competência. Ciência igual aquém e além fronteiras.

• Disponibilidade total para alunos e colegas da sua e qualquer outra instituição. Simplificador de processos.

• Sentido da globalidade dos conhecimentos. Capaz de conceber e realizar, experiências originais demonstrativas dos princípios da Física, desde as mais simples às mais complexas, com uma riquíssima interligação com os fundamentos teóricos e a essência das leis da Física.

• Capacidade para se situar, de forma actuante e eficaz, perante qualquer problema, científico, administrativo ou cultural. É sempre bem feito o que faz.

• A polivalência do Prof. Araújo é verdadeiramente notável. Ainda recentemente, encontrando-me na Imprensa Portuguesa, tive a satisfação de ouvir tipógrafos de profissão, pessoas muito simples, dizerem-me o quanto aprenderam — na sua arte — com os ensinamentos do Prof. Araújo...

• Possuidor de dotes privilegiados para trabalhar com outras pessoas, e uma forma muito própria de as orientar. Transformou pessoas humildes e com limitações de estudos, em funcionários diligentes e motivados, que atingiram níveis notáveis de especialização e conhecimentos. Modificando as suas atitudes no trabalho, as pessoas sentiam-se bem a colaborar com o Prof. Araújo, criava um ambiente sempre sereno e agradável. Estimulava as pessoas, quase sem se notar, transmitindo gradualmente os conhecimentos necessários em cada fase, gerando sentimentos de auto-estima e de realização própria, de modo que todos queriam fazer sempre bem para o Prof. Araújo.

• O Prof. Araújo foi um verdadeiro conselheiro a nível nacional, sempre escutado e respeitado pelas instituições e pelos seus colegas. Não raras vezes era pedida a sua ajuda para estabilizar ou resolver situações delicadas, nas mais variadas circunstâncias. A sua serenidade e total rectidão de propósitos, a total transparência e lealdade, a sua lucidez e as suas qualidades humanas exemplares, sempre disposto a ouvir os outros, acabavam invariavelmente por levar a bom termo a resolução dos mais intrincados problemas, sempre com grande correcção e respeito por todas as partes envolvidas.

Deixo também um brevíssimo apontamento sobre as contribuições dadas pelo Prof. Araújo à Sociedade Portuguesa de Física e a outras instituições portuguesas.

• Impulsionador principal e co-fundador da Sociedade Portuguesa de Física (1974), seu primeiro Presidente, foi responsável pela imediata abertura da SPF ao exterior e pelo estabelecimento de relações privilegiadas com a Sociedade Europeia de Física, que ainda perduram. Devemos-lhe, com o esclarecido apoio financeiro da Fundação Calouste Gulbenkian, a adesão da SPF ao bem sucedido projecto de criação da revista científica *Europhysics Letters*. A qualidade atingida pela revista *Portugaliae Physica* sob a sua direcção, bem como a regularidade da sua publicação nesse período.

• Num outro plano, registo a esclarecida colaboração dada ao longo dos anos à Academia das Ciências de Lisboa e à Fundação Gulbenkian, destacando neste último caso o nível e o impacto científico-cultural atingido pela revista *Colóquio/Ciências* sob a sua direcção; ao Instituto Nacional de Investigação Científica do qual um dia se fará a devida apreciação histórica; à Universidade do Porto e seu órgãos, à sua Faculdade, com o membro do Antigo Conselho Escolar, Presidente do Conselho Científico, Director do Laboratório de Física, e em números cargos e tarefas ao serviço desta instituição. Registo a impressionante colaboração dada em júris universitários, sempre se destacando pelo brilho, qualidade e competência das suas argumentações, nos mais variados domínios, alguns bem afastados da sua especialidade inicial.

• Estou certo de que teremos brevemente nova surpresa, marcada pela qualidade e inovação, com a abertura ao público do Museu da Ciência da Faculdade de Ciências do Porto, fruto da acção e do trabalho incessante do Prof. Araújo nos anos mais recentes.

Ao terminar este já longo depoimento, sinto uma grande satisfação por saber que o Prof. Araújo mantém intactas todas as suas capacidades e qualidades, com a sua dimensão intelectual e humana caldeada por uma longa experiência e sabedorias acumuladas, e pela certeza de continuar a contar com a sua palavra serena, esclarecida e amiga, com a sua sagacidade e visão.

Contamos com a continuidade das suas acções sempre nobres e desinteressadas, com a sua defesa intransigente da qualidade, do desenvolvimento científico, cultural e humanista. Acima de tudo ficamos contentes por podermos continuar o convívio de todos os dias com o nosso querido Colega e Amigo de sempre.

*J. Bessa Sousa*

Professor Catedrático da Faculdade de Ciências do Porto

<sup>2</sup> Elementos adicionais poderão ser encontrados na Colectânea de Depoimentos em preparação, no Departamento de Física da FCUP.

## HOMENAGEM AO

## PROF. J. MOREIRA DE ARAÚJO

É muito honroso para mim participar nesta homenagem ao Prof. Araújo e faço-o com o maior empenhamento e muito prazer.

Conheci o Prof. Araújo em 1963, já lá vão 35 anos, logo após ter terminado a licenciatura em Ciências Geofísicas na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. O que aprendi nesse curso tinha-me deixado muito insatisfeito. Foi um contacto muito breve com a física que não incluiu grandes domínios da física moderna; foi excluída a mecânica quântica, a física nuclear e a física das partículas elementares, entre outras.

Tinha ouvido falar do Prof. Araújo, já nessa época com uma fama mítica. O Araújo dos 20, aluno notável da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, regressado havia já alguns anos de Inglaterra, da Universidade de Manchester onde fez um doutoramento em física nuclear teórica. Vim aqui a esta casa — o nobre e antigo edifício da Faculdade na Praça dos Leões — falar com ele e depois de conseguir uma bolsa de estudo mudei-me efectivamente para o Porto com o objectivo de trabalhar sob a sua orientação. A primeira coisa que fez foi dar-me um livro de mecânica quântica para ler; o «Quantum Mechanics» de L. I. Schiff. Recordo-me vivamente de o estudar num pequeno gabinete de um Centro situado em um dos ângulos do último piso do grande edifício da Faculdade onde o Prof. Araújo aparecia frequentemente.

Foi nesse ano que conheci o João Bessa e o J. Machado da Silva ambos também a ser orientados pelo Prof. Araújo para pioneiros de um futuro centro de investigação em física da matéria condensada. Estabeleceu-se desde logo uma óptima camaradagem entre nós que rapidamente conduziu a uma longa e forte amizade. Foram tempos excelentes; a ganhar já algum dinheiro e com a saborosa independência que resulta de estar longe da casa dos pais. Mas o que verdadeiramente caracterizou e deu importância a este período foi o convívio profissional com o Prof. Araújo. Impressionou-me muito a sua disponibilidade para ajudar a resolver dificuldades nos estudos e o rigor colocado na resolução das questões que surgiam. Seguir o seu pensamento, as suas análises e as suas sínteses era e continua a ser um puro prazer e um incêntivo para irmos um pouco mais além. Tudo sempre com a mesma voz, a mesma calma e a mesma capacidade aparentemente inesgotável. A sua caligrafia, a roçar a perfeição, revela certamente a clareza das ideias e a profunda eficácia do raciocínio.

Passados alguns meses o Prof. Araújo propôs aos seus três estudantes pós-graduados um problema de mecânica quântica com aplicação na física da matéria condensada, cuja resolução exigia alguma investigação.



Do esforço conjunto para o resolver resultou aquilo que penso ser a nossa primeira comunicação científica intitulada «Sobre um problema unidimensional da equação de Schrodinger» e apresentada em Bilbau no XXVII Congresso Luso-Espanhol para o Progresso das Ciências.

Foi o Prof. Araújo que estabeleceu contactos em várias Universidades de Inglaterra para encontrar o orientador da minha futura tese de doutoramento. Parti do Porto para Londres em Novembro de 1964 com muitas saudades do bom ambiente de trabalho no grupo, da cidade e dos amigos que fiz. Mas mais tarde voltei a ter o privilégio de encontrar com frequência o Prof. Araújo. Primeiro no Laboratório de Física e Engenharia Nucleares em Sacavém, depois na Sociedade Portuguesa de Física e nas múltiplas actividades da vida académica. O Prof. Araújo é para mim uma das principais referências da Física em Portugal nos últimos 35 anos. Conhece-nos bem a todos nós, físicos portugueses que exerceram a sua actividade profissional durante esse período. É um exemplo de dedicação à Ciência e à Universidade, de rigor de equilíbrio e da firme vontade de ajudar a desenvolver grupos de investigação de qualidade e prestígio internacional no nosso país.

Para além de tudo isto é óptimo ir tomar um café com ele e conversar sobre as coisas mais variadas desde arte até à política da ciência em Portugal. Surpreende-nos sempre e, mais do que isso, estimula e desafia o nosso pensamento e as nossas ideias.

Aquilo que gostaria realmente de salientar nesta minha singela homenagem é a dedicação exemplar do

Prof. Araújo à Ciência e à Universidade. Não me vou debruçar sobre o seu extenso Curriculum Vitae, mas antes procurar sintetizar aquilo que, para mim, e creio que para muitos outros, eram as mensagens essenciais da sua vida profissional. E começaria com a Universidade.

Temos hoje em dia um relativamente vasto sistema universitário, muito vasto e complexo quando comparado com o que existia quando o Prof. Araújo regressou de Inglaterra ou mesmo quando eu vim para o Porto trabalhar com ele.

O nosso sistema funciona e uma das principais razões porque funciona relativamente bem é porque temos na Universidade pessoas de grande qualidade intelectual, moral e cívica, inteiramente dedicadas ao ensino e à investigação. O Prof. Araújo é um notável exemplo deste conjunto de universitários portugueses. Essa é uma das principais razões porque me é particularmente grato prestar esta homenagem ao Prof. Araújo.

O sistema poderia e pode sempre ser optimizado. A Universidade deve procurar sistematicamente a excelência e deve afastar sistematicamente a mediocridade. Para falar na linguagem da mecânica quântica há uma forte paridade entre a Universidade e a Nação; uma é o reflexo da outra; uma é, de certo modo, imagem da outra num espelho. Uma Universidade forte, empreendedora, criativa, empenhada na excelência, entrosada e útil à sociedade em que se insere é certamente um bem fundamental para o país.

E aqui gostaria de mencionar apenas dois temas de reflexão porque esta é certamente essencial para preparar a acção. Menciono-os em homenagem ao Prof. Araújo porque reflectem problemas que não são fáceis de resolver. Como físico ensinou muitos a enfrentar problemas de difícil solução.

O primeiro tem a ver com a gestão das Escolas de Ensino Superior. A lei da autonomia das Universidades de 1988 consagrou elementos essenciais do Decreto-Lei de 1976 do Ministro da Educação, Sottomayor Cardia, que instituiu uma gestão universitária de características corporativas baseada no corpo dos estudantes, no corpo dos funcionários não docentes e no corpo dos docentes. Neste sistema os estudantes são formalmente pares dos docentes e dos funcionários não docentes no governo das Universidades. A gestão destas instituições com esta estrutura governativa e em regime de autonomia tende a gerar uma complexa tela de complicitades entre os três corpos académicos e, conseqüentemente, a desresponsabilizar os docentes. Qual o outro país do mundo que recorre a este sistema de gestão universitária? Qual o outro país do mundo em que os contribuintes aceitam passivamente este sistema de gestão das verbas do Orçamento do Estado que permitem o funcionamento das Universidades Públicas?

Creio que é um tema para uma reflexão serena. Com a qualidade daquela a que o Prof. Araújo nos ensinou e habituou a fazer, tendo em atenção todos os aspectos e implicações, a experiência passada, e exercendo sempre um profundo rigor de raciocínio no sentido de contribuir

para melhorar e optimizar o funcionamento das instituições.

O segundo tema que gostaria de mencionar é o recrutamento do pessoal docente nas Universidades. E aproveito a oportunidade para recordar o grande número de júris de provas académicas em que ambos participámos e nos quais as intervenções do Prof. Araújo foram sempre oportunas e enriquecedoras para a discussão.

Não será certamente necessário dizer que os professores são um elemento essencial, crucial mesmo, da Universidade. Cada universidade deverá procurar recrutar os melhores professores entendida a sua actividade tanto na vertente de ensino como na vertente profissional. Actividade profissional que, no caso dos cientistas, se deve identificar, na sua maior parte, com a realização de actividades de investigação. Porém, nas nossas Universidades há uma forte tendência para restringir à própria Escola o universo de efectivo recrutamento dos seus professores. Por um lado há que garantir a ascensão na carreira docente aos professores de mérito que já a integram e, infelizmente, os lugares disponíveis são poucos. Mas há também que recrutar no exterior da Universidade. É este recrutamento estratégico no exterior que mais facilmente poderá conduzir à formação de grupos de excelência. Quando estará a Universidade portuguesa em condições de abrir concursos de professor associado e catedrático para candidatos exteriores à Universidade, em áreas nas quais a Universidade se queira fortalecer e que considere prioritárias do ponto de vista estratégico? Sabemos que isto é uma prática corrente em muitos outros países europeus e nos EUA. Em certos países, como na Alemanha, não se permite, em certas condições, que os professores sejam recrutados ou promovidos na Universidade onde estudaram ou exercem funções.

Uma palavra apenas sobre Física. Já foi dito muitas vezes e eu vou repeti-lo que os físicos gostam de procurar resolver problemas. Problemas bem formulados, caso contrário são falsos problemas. Gostam do desafio intelectual de decifrar a natureza; de entender os seus mecanismos; de simular os processos físicos com teorias coerentes e de lançar novas questões.

Estou certo de que o Prof. Araújo teve sempre um enorme prazer em fazer Física e em ensinar Física. É isso que caracteriza os físicos e, de um modo mais geral, os cientistas. Felizmente, a sociedade está hoje em dia suficientemente bem organizada para suportar de modo empenhado e com relativa generosidade a procura sistemática do conhecimento do Universo e das leis fundamentais da Física. Claro que a sociedade beneficia com isso através da competência científica e técnica gerada pelos cientistas e na transferência de tecnologia que os projectos de investigação induzem. Contudo, a motivação dos cientistas é intrinsecamente de carácter lúdico. Um bom físico gosta de fazer investigação de qualidade e esta, em geral, é mais motivada pela curiosidade e pelo desafio intelectual do que por um objectivo de aplicação prática.

Não estamos perto do fim da Física! Há alguma tendência em certos meios para afirmar que o edifício do conhecimento físico está praticamente completo, que as descobertas principais foram feitas, restando apenas pequenos detalhes. Faz lembrar quando nomes tão ilustres como Mach e Poincaré proclamaram no final do século passado que a Física (entenda-se física clássica) estava essencialmente completa. Ou quando Albert Michelson, que participou na célebre experiência de Michelson e Morley, disse termos «atingido uma situação em que não há mais nada para medir do que a 6.<sup>a</sup> casa decimal».

Qual a natureza da matéria escura revelada pelo movimento das galáxias e por outras observações a nível galáctico e extragaláctico? O mecanismo de Higgs é realmente capaz de explicar a massa das partículas elementares? A teleportação dos estados quânticos vai abrir novas vias à tecnologia? Que outras surpresas nos poderá ainda trazer o estudo do efeito Hall? Quais os mecanismos de aceleração dos raios cósmicos cuja energia atinge valores da ordem de  $10^{21}$ eV? Qual a origem das explosões («bursts») de raios  $\gamma$  provenientes do espaço exterior? Como simular e interpretar os dados recentes sobre planetas extra-solares com base nos actuais modelos de formação e evolução dos sistemas planetários? Como melhorar o grau de fiabilidade das previsões sobre futuras alterações climáticas provocadas pelo aumento de concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera, tanto a nível global como regional?

Esta é apenas uma selecção de temas de investigação na área da Física e das ciências afins. Embora a escolha tenha um carácter vincadamente pessoal penso que ela revela a profundidade e a complexidade dos problemas que actualmente requerem a atenção dos físicos.

Apenas uma palavra, quase telegráfica, sobre o ensino da Física em Portugal a nível universitário. Creio que existem hoje em dia em Portugal 23 licenciaturas distintas em Física, Engenharia Física, Física Tecnológica, Engenharia Física Tecnológica, Ciências Geofísicas, Ensino da Física, etc. Na realidade será 23 com um erro de 2 a 5 mas é a ordem de grandeza que interessa. Será possível ter 23 licenciaturas na área da Física com qualidade de ensino num país com a nossa população e com os nossos níveis de desenvolvimento? Será este o melhor caminho para atingir a excelência no ensino e na investigação em Física no nosso país? Tenho dúvidas. O problema é mais uma vez complexo e, pessoalmente, preciso da clareza de pensamento do Prof. Araújo.

Outro aspecto do mesmo tema do ensino universitário de física. Ensinar física e fazer investigação em física é uma profissão. É a profissão de físico. Não sei se já faz parte da listagem oficial das profissões em Portugal; há alguns anos creio que não fazia.

Menciono este assunto porque penso natural esperar que as Universidades, na prática, reconheçam a profissão de físico tal como reconhecem as outras profissões,

médico, engenheiro, economista, advogado, arquitecto, músico, etc. É razoável esperar que, numa Universidade, sejam os físicos dessa Universidade a ensinar Física. Porventura estarei a ser influenciado pela estrutura universitária dos EUA, onde tenho leccionado com alguma frequência. Para um gestor universitário desse país seria impensável tanto do ponto de vista profissional como do ponto de vista da economia na gestão das verbas, não recorrer a um físico para ensinar Física na Universidade, ou seja, para ensinar Física aos futuros físicos, engenheiros, médicos, farmacêuticos, biólogos, etc. Nas nossas Universidades esta prática está longe de estar generalizada. É frequente que a Física para os estudantes de medicina e engenharia, para citar apenas dois exemplos, seja ensinada por docentes que não são físicos.

Finalmente, e para acabar, uma palavra sobre ciência. A ciência é, na sua essência, uma actividade profundamente democrática, no sentido de que está aberta ao desafio e às interrogações de todos, indistintamente. Para a praticar as regras fundamentais são a coerência lógica das leis e dos modelos, a verificação experimental e a observação. As teorias são, em princípio, todas lícitas e respeitáveis desde que coerentes com o acervo das leis acumuladas que sintetizam a observação e experiência e desde que tenham o poder de fazer previsões. Previsões estas que serão ou não confirmadas pela experiência e pela observação. Não havendo confirmações essas teorias deixam de fazer parte da ciência.

Na ciência não há lugar para argumentos de autoridade. Somos todos rigorosamente iguais no que respeita ao direito de questionar e interrogar através da aplicação do método científico.

Contudo, a ciência não constitui o único paradigma, não esgota o nosso conhecimento e existem limites para a sua intervenção. É uma actividade estruturante baseada no exercício da razão que constrói um modelo do mundo e que, através da tecnologia nos tem permitido avanços notáveis na qualidade de vida. E aqui, no que respeita à tecnologia, não há apenas aspectos positivos. Porém só a tecnologia, ajudada pela ciência, poderá ajudar a resolver os aspectos negativos da nossa civilização, em especial os que dizem respeito à poluição do ambiente. É um caminho sem retorno possível e, como sempre, de destino imprevisível.

Finalmente, gostaria de desejar ao Prof. Araújo a continuação de uma longa vida, dinâmica e activa, com actividades sempre úteis ao país, como o foram no passado. Dada a sua maior disponibilidade é altura para podermos todos beneficiar ainda mais da sua experiência e da sua sabedoria, para ajudar a desenvolver a qualidade e a excelência da Universidade e da Ciência no nosso país. Muito obrigado por tudo Prof. Araújo.

*Filipe Duarte Santos*

Professor Catedrático da Faculdade de Ciências de Lisboa



## **O PROF. J. M. ARAÚJO E A FORMAÇÃO BÁSICA EM FÍSICA PARA A ENGENHARIA NA UNIVERSIDADE DO PORTO**

Pediram-me para dizer algumas palavras sobre o Prof. Araújo e seu papel na formação básica em Física para a Engenharia na Universidade do Porto. Fiquei muito contente por poder ter a oportunidade de exprimir toda a amizade, gratidão e admiração que por ele sinto. Fico ainda muito honrado por fazê-lo neste nobre local, do qual guardo as mais gratas recordações.

Na actividade de professor universitário devem coexistir, de forma indissociável e harmónica, componentes de docência e de investigação, enquadradas por uma atitude comportamental e humana que, de resto, deverá sempre ser a pedra de toque de toda a actividade de vanguarda.

O Prof. Araújo foi naturalmente um aluno de excelência, um dos requisitos para ser bom docente, tendo concluído a sua licenciatura com as mais elevadas classificações.

Quando iniciou a sua carreira universitária, era conhecido entre os seus alunos como o "Araújo dos vintes". Esta auréola infundia, um certo respeito, chegando mesmo a amedrontar. Mas, após o primeiro contacto esse medo desaparecia dando lugar à admiração.

Muito precisa a nossa Universidade, de Norte a Sul, de docentes que saibam encontrar a sua verdadeira vocação na vida universitária!

Creio ser uma vida de dedicação e renúncia, tendo, quase, como únicas compensações a satisfação do dever cumprido e o de poder contribuir para que Portugal suba na hierarquia dos países europeus em termos de desenvolvimento económico e de bem estar.

O verdadeiro professor universitário deve preocupar-se, acima de tudo, com o sucesso profissional dos seus alunos, precisa de estudar o mercado do trabalho e modificar, dentro do possível, os „curricula” leccionados, de forma a que os seus alunos sejam os mais bem apetrechados para ocuparem lugares estratégicos na sociedade envolvente.

Mas o professor para ser feliz deve, antes de tudo, gostar do que faz e de ensinar sem infalibilidade, como alguém que simplesmente tem prazer em transmitir os seus conhecimentos, sistematizados de forma a que a sua apreensão seja fácil, rápida e útil.

O professor universitário deve ter o talento de fazer germinar nos seus alunos o gosto pelo conhecimento.

“...Recordo o ano de 1960...”

Eu frequentava o 3.º ano da licenciatura de Engenharia Electrotécnica, a funcionar, nesse tempo, aqui, na Faculdade de Ciências.

Preparava-me para assistir à primeira aula do Curso Complementar de Física. Um colega, mais conhecedor do terreno do que eu, por insistência de alguns anos na matéria, informou-me que o professor da cadeira, um tal Araújo, era o maior „físico” português. „É o português com maior físico?” Interrogou trocista outro colega. Diverti-me com a ideia! Entrei para a sala de aula entre céptico e curioso. Rapidamente dei por mim num mundo diferente, ao ouvir, um jovem professor, franzino e um pouco tímido, dar uma aula magistral sobre Termodinâmica. A sala, cheia, não pestanejava.

Os quadros enchiam-se de fórmulas mágicas e figuras sugestivas sempre muito bem desenhadas.

As teorias mais complexas revestiam-se de grande simplicidade e assumiam uma indescritível beleza formal.

Fiquei com a certeza de que o Prof. Araújo era o maior físico português e também um grande docente, um grande pedagogo.”

O Prof. Araújo encarnou a nova geração de professores que emergiu dos velhos tempos da Faculdade de Ciências, assumindo uma abordagem moderna do conhecimento e da ciência, aberta à investigação e à experimentação.

Quando acabavam a Faculdade de Ciências, os jovens candidatos a engenheiros possuíam uma sólida formação básica em Física.

Levavam na sua bagagem, a caminho da Rua dos Bragas, os hábitos da elegância formal, do rigor matemático, do tratamento abrangente.

Naquele tempo, no meu tempo, nos anos 60, as matérias versadas na Faculdade de Engenharia apresentavam-se, de uma forma geral, simples, para quem saía da Faculdade de Ciências com a Mecânica Racional do Prof. Sarmento Beires, com a Análise Superior do Prof. Cipião e, sobretudo, com a Física Complementar do Prof. Araújo, bem estudadas e reflectidas.

Tudo, ou quase tudo, que ouvíamos na Faculdade de Engenharia, era para nós estranhamente familiar.

Parece-me ainda justo salientar a importância da experimentação na nossa formação.

Em tudo o que fiz mais tarde só vi vantagens competitivas nessas aulas de laboratórios.

É curioso referir que no contacto profissional com os operários e contramestres da indústria, nem sempre complacentes com a inexperiência dos jovens engenheiros, a prática adquirida nessas aulas foi de uma inegável importância, pela segurança que transmitia.

O nosso saber não era apenas livresco!

Ainda hoje considero excelentes os conhecimentos adquiridos em Termodinâmica, Óptica, Mecânica, Acústica, Electromagnetismo, tudo bem consolidado em técnicas laboratoriais bem conseguidas.

Frequentemente os alunos nem sempre valorizam a importância futura dos conhecimentos ministrados na universidade.

Um caso paradigmático, que demonstra exactamente o contrário, e já porventura conhecido por alguns dos presentes, relaciona-se com a fabricação do primeiro cabo

óptico em Portugal no princípio da década de oitenta, na empresa onde trabalho.

Habitados que estávamos ao cobre e ao alumínio, com a sua solidez e resistência, pois somos uma empresa de cabos eléctricos e de telecomunicações, ainda não sabíamos lidar com a fibra óptica e sua fragilidade.

Aqueles cabelos, mágicos, de vidro causavam-nos admiração e apreensão.

Este marco não teria sido possível sem uma boa formação em óptica de alguns dos principais intervenientes nesse projecto.

De facto todos os conceitos envolvidos eram relativamente simples e foram rapidamente assimilados. Permitiram-nos ter segurança nas discussões técnicas com os fabricantes de fibras, com os fornecedores dos equipamentos, com os potenciais clientes e utilizadores.

Foi uma atitude de pioneirismo bem sucedida, na sequência de uma feliz colaboração entre os engenheiros da nossa empresa e técnicos investigadores das Universidades do Porto e do Minho.

O equipamento utilizado na produção do cabo foi projectado por nós e construído numa oficina local.

Desmitificamos a fibra óptica e criamos condições para a sua utilização industrial!

Este facto originou um assinalável desenvolvimento tecnológico, não apenas em Portugal, mas permitiu também a instalação no Brasil de uma moderna fábrica, apoiada pela nossa tecnologia, pela tecnologia portuguesa.

Prevemos, no próximo ano, transformar mais de 150.000 km de fibra óptica nas duas fábricas.

Hoje, no âmbito de um projecto de investigação em consórcio com a Universidade apoiado pelo Programa PRAXIS XXI, encontra-se em desenvolvimento uma instalação piloto destinada ao estiramento da fibra óptica, com resultados iniciais já promissores."

E, já agora, permitam-me um pequeno parêntesis:

(É, em meu entender, sobretudo para as empresas genuinamente portuguesas em que, não só os capitais mas também a base da tecnologia assenta em recursos nacionais, que se devem dirigir os apoios governamentais.

É nelas que a aposta se deve focalizar, pois são os verdadeiros factores de internacionalização da nossa economia e de real endogeneização de tecnologia.

Todos nós temos conhecimento e alguma experiência amarga da mobilidade de alguns grandes investimentos de certas empresas multinacionais. Quando se vão embora, à primeira contrariedade, nada fica dos seus mais importantes conhecimentos de base. Fica apenas alguma tecnologia periférica e outras coisas que me dispense de referir.)

Para mim, é claro que:

— O sentido da experimentação;

— O rigor no raciocínio e a sistematização das ideias;

— A hierarquização da importância dos fenómenos e sua interpretação; são instrumentos poderosos ao serviço da engenharia, da indústria, da gestão que o estudo e o conhecimento, reflectidos, da Física podem desenvolver.

E que bem soube o Prof. Araújo interpretar e estimular tudo isso, nas suas aulas teóricas, no convívio com os alunos, nas directrizes que definia aos seus assistentes para as aulas laboratoriais.

Duas últimas palavras sobre o investigador e o homem.

O Prof. Araújo foi sempre um investigador, um dos melhores a nível nacional. Se tivesse optado por abandonar o país, teria sido, seguramente, um galardoado internacional.

O Prof. Araújo manteve-se porém no seu país, contribuindo para o seu prestígio e desenvolvimento. Soube sempre encontrar o equilíbrio necessário na divisão do tempo entre actividades de investigação e docência.

Hoje, um numeroso grupo de investigadores segue o seu exemplo.

A sua escola materializou-se naquele que é um dos melhores institutos de investigação do país. Os Centros de Óptica, Física Teórica e Física de Materiais da Universidade do Porto, falam por si.

Nas suas facetas comportamental e humana, o Prof. Araújo exigiu sempre primeiro de si mesmo e só, muito depois, dos outros.

Teve sempre tempo para todos, escutando problemas, orientando caminhos, estimulando, motivando. Foi para várias gerações o amigo disponível e atento. A sua generosidade intelectual é proverbial, o seu sorriso foi sempre tranquilizador. Estas qualidades humanas estavam ao serviço de uma vontade forte e determinada, de uma inteligência poderosa e de uma grande argúcia.

O Prof. Araújo foi um „leader” sereno mas eficaz. Motivou equipas e criou escola, tendo sempre presente objectivos estratégicos bem claros.

O Prof. Araújo como docente, como investigador e sempre, acima de tudo, como homem, foi e será um exemplo que marcou várias gerações. O País, a Universidade, os seus ex-alunos em geral e aqueles que seguiram Engenharia em particular, agradecem, reconhecidamente, tudo o que com ele aprenderam.

Uma reflexão final:

Se eu pudesse voltar atrás, o que faria em termos de formação? Que formação académica como engenheiro, eu gostaria de ter tido? Teria introduzido, sem dúvida, algumas modificações: Diminuiria o empirismo ao mínimo indispensável; Reforçaria a formação laboratorial; Intensificaria os estágios curriculares nas empresas e nas indústrias; Levaria mais longe o rigor e exigência em algumas disciplinas; Incentivaria a apetência pela cultura, pela ética, pela arte; Estimularia mais o gosto pelo risco, pelo espírito empresarial; Teria enfatizado a importância da inovação e o sentido da liderança; etc. Mas há algo que eu teria mantido intacto. A formação em Física, teórica e experimental, que me foi facultada pelo meu Professor. Muito obrigado Sr. Professor Araújo.

*J. Lourenço Castro*

Antigo aluno e Assistente de J. M. Araújo  
Administrador da Cabelte

# O EFEITO HALL QUANTIFICADO FRACCIONÁRIO

## PRÉMIO NOBEL DA FÍSICA 1998

J. M. B. LOPES DOS SANTOS

Centro de Física do Porto e Departamento de Física da Fac. Ciências da Univ. Porto  
Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto

Em 1985 o prémio Nobel da Física foi atribuído a Klaus Von Klitzing, pela descoberta do Efeito Hall Quantificado (EHQ) (ver [1]). Em 1998 o prémio Nobel da Física foi atribuído a dois experimentalistas, Dan Tsui e Häns Störmer [2] e um teórico, Robert Laughlin [3] pela descoberta e explicação do Efeito Hall Quantificado... Fraccionário (EFQF).

Usando a linguagem futebolística, trata-se de uma "dobradinha", não para uma pessoa, como nos casos de Marie Curie (prémio Nobel da Física e da Química) ou John Bardeen (dois prémios Nobel da Física e da Química) mas para o mesmo fenómeno, o que é certamente mais surpreendente.

O prémio Nobel de Von Klitzing não foi uma grande surpresa. Recordemos os aspectos essenciais da sua descoberta. O efeito Hall, descoberto há cerca de um século por Edwin Hall, surge num condutor percorrido por uma corrente eléctrica,  $I$ , na presença de um campo magnético,  $B$ , perpendicular à direcção da corrente e manifesta-se pelo aparecimento de uma diferença de potencial,  $V_H$ , na direcção perpendicular às do campo e da corrente. Sendo  $V_H$  proporcional a  $I$  é possível definir uma resistência de Hall,  $R_H$ ,

$$R_H = \frac{V_H}{I}$$

A teoria clássica do efeito Hall (ver [1]) prevê que  $R_H = B/(-\rho)$  em que  $\rho$  é a densidade de carga eléctrica dos transportadores. Von Klitzing mediu o efeito Hall em amostras em que os portadores de carga, electrões, estavam quanticamente confinados a mover-se a duas dimensões, num plano. Descobriu que, a baixas temperaturas, a variação de  $R_H$  com  $B$  mostrava patamares em que  $R_H$  era constante e dado com enorme precisão pela expressão

$$R_H = \frac{1}{i} \frac{h}{e^2} \quad i, \quad \text{inteiro}$$

em que  $h$  e  $e$  são duas constantes fundamentais, a constante de Planck e a carga do electrão. Dois aspectos tornaram esta descoberta particularmente significativa:

- A precisão da quantificação é tão elevada que o EHQ passou a ser usado como padrão de resistência. A resistência de um condutor é uma grandeza normalmente muito sensível a inúmeros factores — temperatura, pureza, geometria

de contactos, etc. Variações pequenas destes factores podem ocasionar variações de várias ordens de grandeza na resistência. No EFQ, se os valores de temperatura, campo, e pureza da amostra forem suficientes para o efeito se manifestar, os valores de  $R_H$  encontrados nos patamares satisfazem a eq. (2) com desvios muito inferiores a 1 ppm.

- A quantificação é dada em função de constantes fundamentais. É pois independente de todos os detalhes do sistema concreto em estudo.

Na figura 1 mostra-se um exemplo do efeito descoberto por Von Klitzing. O último patamar à direita da figura corresponde ao valor de  $i = 2$ . A figura 2 mostra um exemplo do

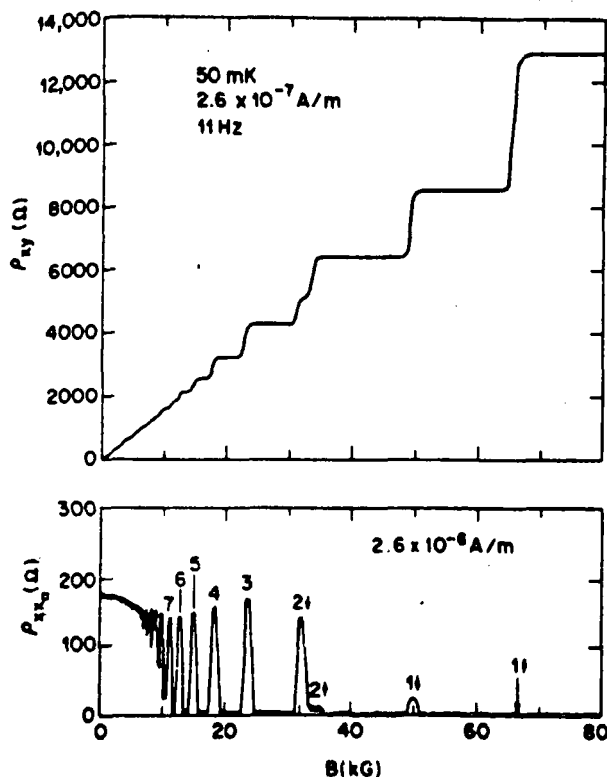


Fig. 1 — A resistência de Hall,  $\rho_{xy}$  e a resistência longitudinal,  $\rho_{xx}$  em função do campo magnético. Nos patamares da resistência de Hall, a resistência longitudinal anula-se, o que significa que a corrente flui perpendicularmente ao campo eléctrico (ausência de dissipação). (De M. A. Paalanen, D. C. Tsui, A. C. Gossard, *Phys. Rev. B* **25**, 5566, (1982))

efeito descoberto dois anos mais tarde por Dan Tsui, Hans Stormer e Arthur Gossard. O primeiro patamar à esquerda corresponde a  $i = 1$ . Os restantes patamares correspondem a valores  $R_H$  dados ainda pela eq. (2), mas com  $i$  fraccionário (fracção racional denominador ímpar, indicada no topo da figura). Se repararmos no eixo do campo magnético, vemos que a figura 2 é, praticamente, a continuação da figura 1 para campos magnéticos mais elevados. Qual o experimentalista que valha o seu salário, por pequeno que seja, que conhecendo os resultados de Von Klitzing, não tentaria ver o que se passa para campos magnéticos mais elevados? E recebeu um prémio Nobel por isso?

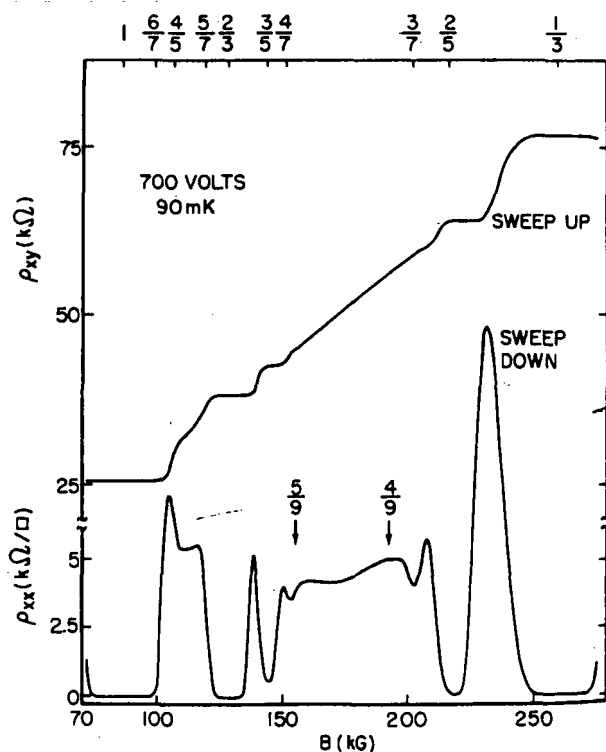


Fig. 2 — O efeito Hall quantificado fraccionário. Note-se que os valores de campo magnético são mais elevados que os da figura 1. (De A. M. Chang, P. Berglund, D. C. Tsui, H. L. Stormer, J. C. M. Hwang, *Phys. Rev. Lett.* **53**, 997 (1984))

Na verdade, a descoberta de Tsui, Stormer e Gossard é bem merecedora de um prémio Nobel, mas sobretudo por razões que têm a ver com as perspectivas teóricas que o EHQF abriu e em relação às quais se destacou Robert Laughlin. Cerca de um ano depois da descoberta do efeito, Laughlin publicou um artigo notável [3], que lançou as principais ideias para a compreensão de um sistema de uma riqueza previamente insuspeitada, o gás electrónico bi-dimensional, num campo magnético e com interacções Coulombianas. No espaço disponível para esta curta notícia, não é possível fazer justiça ao conjunto de ideias que, desde então, surgiram neste campo. Deixo apenas algumas pistas para encorajar o leitor a procurar algumas das referências indicadas no fim.

O próprio Laughlin mostrou que a explicação do EHQF envolvia um estado da matéria completamente novo e com

propriedades muito invulgares. A conjugação da bi-dimensionalidade, do campo magnético e das interacções, faz surgir um líquido quântico incompressível, isto é, que só pode existir para valores quantificados de densidade. Este estado tem todas as simetrias do gás, mas os movimentos dos electrões são fortemente correlacionados (líquido). O aparecimento deste estado é um efeito quântico. Se tentarmos adicionar, ou retirar electrões a um destes estados, a carga extra surge-nos na forma de partículas que podem estar localizadas em qualquer ponto da amostra e que têm carga que é *uma fracção da carga do electrão*. Por exemplo no estado de Laughlin correspondente ao valor de  $i = 1/3$  na fórmula da eq. (2), se adicionarmos um electrão surgem-nos três partículas independentes cada uma com carga  $e^* = e/3$ . Estas partículas têm uma estatística quântica intermédia entre bosões e fermiões [4], "anyons", uma possibilidade que só existe a duas dimensões.

O estado de condutor de Hall quântico, partilha com os supercondutores uma propriedade que era exclusiva desses materiais: a possibilidade de conduzir corrente eléctrica em estados de equilíbrio termodinâmico. No caso dos supercondutores a corrente pode surgir em campo eléctrico nulo. Nas figuras 1 e 2 mostra-se, além da resistência de Hall, a resistência na direcção da corrente, que se anula nos patamares da resistência de Hall; a corrente flui na direcção perpendicular ao campo eléctrico. Isto implica a ausência de efeitos dissipativos. Uma das possíveis representações do estado de condutor de Hall quântico, descreve-o como um estado supercondutor [5], mas em que, em vez de pares de Cooper, temos electrões individuais ligados com tubos de fluxo de campo magnético (solenóides infinitamente finos). O movimento destes electrões corresponde a uma corrente eléctrica e o movimento associado dos solenóides dá origem a uma diferença de potencial perpendicular à corrente.

Estas são apenas algumas das ideias e conceitos que surgiram no seguimento da descoberta do EHQF e do trabalho de Laughlin. Não consigo imaginar nenhuma refutação mais convincente da falácia, que consiste em pensar que conhecer as leis fundamentais é conhecer tudo o que há para saber. Aos electrões num plano, num campo magnético e com interacções, aplicam-se as leis da Mecânica Quântica descobertas em 1925 e 1926 por Heisenberg e Schödinger, e *mais nada!* No entanto, em 1980 e 1982, descobertas experimentais conduzem à descoberta de estados físicos, de partículas exóticas e de possibilidades teóricas, completamente ignoradas até à altura. No fundo, mais uma lição de humildade dada pela Natureza.

## Referências

- [1] *O efeito Hall quantificado, prémio Nobel da Física de 1985*, J. M. B. Lopes dos Santos, *Gazeta de Física* **9**, 1 (1986).
- [2] *Two-Dimensional Magnetotransport in the Extreme Quantum Limit*, D. C. Tsui, H. L. Stormer, A. C. Gossard, *Phys. Rev. Lett.* **48**, 1559 (1982).
- [3] *Anomalous Quantum Hall Effect: An Incompressible Quantum Fluid with Fractionally Charged Excitations*, R. B. Laughlin, *Phys. Rev. Lett.* **50**, 1395 (1983).
- [4] *Anyons*, Frank Wilczek, *Scientific American*, May, 1991, p. 24.
- [5] *Electrons in Flatland*, Steven Kivelson, Dung Hai Lee, Sholl Cheng Zhang, *Scientific American*, March, 1996, p. 64.

# OLIMPIADAS DE FÍSICA

## NOTÍCIAS BREVES DAS OLIMPIADAS

### Relatório 1997/98

Foram entregues nos Ministérios da Educação e da Ciência e da Tecnologia, em Outubro passado, os relatórios de actividades e de contas relativos às Olimpíadas Nacionais e Internacionais do passado ano lectivo. Na mesma ocasião foi entregue o plano de actividades das Olimpíadas de Física para o presente ano lectivo.

### Calendário das Olimpíadas para 1998/99

Estão fixadas as datas para a realização das provas regionais e nacionais das Olimpíadas de Física 1998/99. As provas regionais terão lugar no dia 15 de Maio de 1999 simultaneamente em Lisboa, Coimbra e Porto. As provas nacionais estarão a cargo da Delegação Regional do Sul e Ilhas e decorrerão em Lisboa nos dias 25 e 26 de Junho (e não Julho como por lapso saiu no cartaz promocional das olimpíadas).

Portugal na XXX Olimpíada Internacional de Física já iniciaram as suas actividades de preparação. A XXX IPhO decorrerá em Pádua (Itália) de 18 a 27 de Julho de 1999.

### Alteração ao Regulamento

Para adequar o Regulamento das Olimpíadas de Física à nova realidade do ensino em Portugal onde há uma separação clara dos ensinós básico e secundário (o que não acontecia até há pouco tempo), foram alterados os escalões de participação nas Olimpíadas de Física. Assim, ao escalão A passam a poder concorrer apenas alunos do 9º ano de escolaridade e ao escalão B apenas alunos do 11º ano. Noutro local desta secção publica-se o novo Regulamento das Olimpíadas que contempla esta e outras pequenas alterações.

### «Ex-Olimpico» premiado em Inglaterra

Pedro Miguel Nunes Pereira de Almeida Reis, que participou na Olimpíada Internacional de Física no ano de 1996, realizadas em Oslo, Noruega, foi distinguido com o prémio para o melhor estudante de Física do Reino Unido deste ano. O galardão — *1998 Science, Engineering & Technology Student of the Year Award* — foi-lhe conferido pelo Particle Physics and Astronomy Research Council (PPARC).

Depois de concluir o ensino secundário na Escola Secundária Alves Martins, em Viseu, em 1996, Pedro Reis iniciou estudos no Departamento de Física da Universidade de Manchester, onde se tem distinguido como um aluno brilhante no curso de Física. Concorriam ao prémio os melhores alunos de todos os Departamentos de Física das universidades britânicas, tendo o Pedro Reis sido escolhido, numa primeira fase, para integrar a "short-list" de apenas três alunos, vindo a ser nomeado, posteriormente, vencedor absoluto. A sua nomeação para o prémio deve-se ao trabalho de projecto intitulado "Chaotic behaviour in an impact oscillator", que desenvolveu ao longo do segundo ano do curso.

A Comissão Nacional das Olimpíadas congratula-se com a atribuição deste prémio ao Pedro Reis e formula votos dos melhores êxitos na sua vida académica.

A Secção "Olimpiadas de Física" é coordenada por Manuel Fiolhais e José António Paixão. O contacto com os coordenadores poderá ser feito para: Departamento de Física, Universidade de Coimbra, 3000 Coimbra; ou pelos telefones 039-410615, 410645, fax 039-829158 ou e-mails [tmanuel@hydra.ci.uc.pt](mailto:tmanuel@hydra.ci.uc.pt), [jap@pollux.fis.uc.pt](mailto:jap@pollux.fis.uc.pt).



## REGULAMENTO DAS OLIMPIADAS DE FÍSICA

### I — Objectivos

A Sociedade Portuguesa de Física organiza anualmente as Olimpíadas Nacionais de Física e promove a participação de uma equipa portuguesa na *International Physics Olympiad (IPhO)*.

As Olimpíadas de Física têm por objectivo incentivar e desenvolver o gosto pela Física nos alunos dos Ensinos Básico e Secundário, considerando a sua importância na educação básica dos jovens e o seu crescente impacte em todos os ramos da Ciência e Tecnologia.

### II — Olimpíadas Nacionais de Física

#### II.1 — Participação nas provas

Podem participar nas Olimpíadas de Física os alunos das Escolas Secundárias e Básicas nacionais, públicas ou privadas, que satisfaçam as condições indicadas em II.2.

#### II.2 — Escalões

Em cada ano lectivo serão realizadas provas nos seguintes escalões:

ESCALÃO A: alunos do 9.º ano de escolaridade.

ESCALÃO B: alunos do 11.º ano de escolaridade, com idade inferior a 19 anos a 30 de Junho do respectivo ano lectivo.

As Escolas podem estar representadas nos escalões que desejarem. No escalão A a representação é por uma *equipa* de 3 alunos. No escalão B a representação é individual podendo cada Escola apresentar um máximo de três alunos.

#### II.3 — Tipo de Provas

No escalão A a prova será teórico-experimental a realizar em equipa.

No escalão B a prova, de carácter individual, terá uma parte teórica e uma parte teórico-experimental.

#### II.4 — Etapas

##### a) Etapa sub-regional

É da inteira responsabilidade da Escola participante a selecção dos seus representantes em cada escalão.

No caso de um número considerado excessivo de participantes, poderão as Delegações Regionais da SPF, do modo que julgarem mais conveniente, organizar etapas intermédias.

##### b) Etapa regional

Na etapa regional, da responsabilidade das Delegações Regionais da SPF, concorrerão as equipas (no escalão A) e os alunos (no escalão B) seleccionados na etapa anterior.

Nesta etapa será seleccionada uma equipa do escalão A e oito alunos do escalão B.

##### c) Etapa nacional

Na etapa final nacional, organizada em regime de rotatividade por cada Delegação da SPF em colaboração com a Comissão Nacional das Olimpíadas (ver Anexo I), participam as 3 equipas do escalão A (uma por Delegação) e os 24 alunos do escalão B (oito por cada Delegação Regional).

Na etapa nacional será apurada a equipa vencedora das Olimpíadas Nacionais de Física no escalão A.

No escalão B serão seleccionados oito a dez alunos candidatos à representação nacional na *IPhO* do ano seguinte.

#### II.5 — Outras disposições

##### a) Encargos financeiros

A SPF não comparticipa nas despesas da etapa sub-regional nem nas despesas de deslocação dos alunos e professores acompanhantes na etapa regional.

A SPF custeia as outras despesas relativas às etapas regionais e todas as despesas relativas à etapa nacional.

##### b) Material

Os participantes devem apresentar-se munidos de máquinas de calcular não programáveis. Podem também utilizar material de desenho desde que se apresentem munidos do mesmo.

##### c) Conteúdos das provas

Ver Anexo II.

##### d) Júris das provas

Na etapa regional as provas serão classificadas por um júri designado pela Delegação Regional da SPF.

Na etapa nacional as provas serão classificadas por um júri designado pela Delegação Regional da SPF em colaboração com a Comissão Nacional das Olimpíadas.

##### e) Professores acompanhantes

Na etapa regional os participantes de cada Escola virão acompanhados por um professor (no máximo dois professores se a Escola participar em mais de um escalão). Na etapa nacional os alunos serão acompanhados por um máximo de três professores por Delegação Regional.

### II.6 — Prémios

Todos os alunos participantes na etapa regional recebem um prémio de presença.

Receberão prémios especiais na etapa regional:

a) Os alunos da equipa vencedora no Escalão A.

b) Os oito melhores classificados no Escalão B.

Receberão prémios na etapa nacional:

a) Os alunos da equipa vencedora no Escalão A.

b) Os oito melhores classificados no Escalão B.

### II.7 — Calendarização

Até 30 de Novembro, cada Delegação da SPF enviará para as Escolas toda a documentação respeitante às Olimpíadas. Cada Delegação Regional informará as respectivas Escolas da metodologia a seguir na fase sub-regional, incluindo datas limite para apresentação de alunos concorrentes, etapas intermédias, etc. As datas das provas regionais e nacionais e outras informações específicas para cada ano lectivo constam do Anexo I.

### III — Participação nas Olimpíadas Internacionais

Aos oito a dez alunos melhor classificados no escalão B das Olimpíadas Nacionais será, no ano lectivo seguinte, ministrada uma preparação especial englobando as matérias constantes do programa da *IPhO*, com particular ênfase nos temas não incluídos no ensino secundário. É condição obrigatória a frequência de Física no 12.º ano. A Comissão Nacional das Olimpíadas definirá os moldes em que decorre a preparação bem como as provas de apuramento dos cinco estudantes que participarão na *IPhO*. Este apuramento será efectuado durante o mês de Maio. A título excepcional, a Comissão Nacional das Olimpíadas poderá admitir à prova de selecção final outros alunos do 12.º ano que demonstrem elevadíssima capacidade em Física.

### IV — Pontos Omissos

Qualquer questão resultante de omissões ou dúvidas de interpretação do presente Regulamento será resolvido pela Organização.

### V — Disposições Transitórias

O presente Regulamento em vigor no ano lectivo 1998/99.

## ANEXO AO REGULAMENTO DAS OLIMPIADAS DE FÍSICA — 1998/99

### I

1. No ano lectivo 1998/99 as Olimpíadas Regionais decorrerão no dia 15 de Maio de 1999, em Lisboa, Porto e Coimbra. A Olimpíada Nacional, cuja organização está a cargo da Delegação Regional do Sul e Ilhas da SPF, decorrerá em Lisboa, a 25 e 26 de Junho de 1999.

2. Em 1998/99 a Comissão Nacional das Olimpíadas é constituída por:

- Secretário-Geral da S.P.F
- Secretário-Adjunto para os Assuntos Nacionais
- Presidente da Delegação Regional do Norte
- Presidente da Delegação Regional do Centro
- Presidente da Delegação Regional do Sul e Ilhas
- Representante da Divisão Técnica de Educação
- Prof.ª Ana Eiró (Dep. Física, FCUL)
- Prof. Manuel Fiolhais (Dep Física, FCTUC)
- Prof. José António Paixão (Dep. Física, FCTUC)

3. Aos alunos apurados no escalão B será ministrada uma preparação suplementar em 1999/2000 com vista à participação na *IPhO* 2000 que se realizará em Julho de 2000, no Reino Unido.

### II

#### Programa da Olimpíada Nacional de Física 1998/1999

- Escalão A - programas completos dos 8.º e 9.º anos.
- Escalão B - programas completos dos 10.º ano e 11.º anos.



## PROVAS DAS OLIMPIADAS INTERNACIONAIS

Apresenta-se o enunciado e uma proposta de resolução do primeiro problema teórico saído na XXIX Olimpíada Internacional de Física realizada na Islândia em Julho de 1998.

### Enunciado

#### Um prisma hexagonal a rolar

Considera um prisma hexagonal regular sólido, longo e rígido, como um lápis comum (Figura 1). A massa do prisma é  $M$  e está uniformemente distribuída. O comprimento do lado da base hexagonal é  $a$ . O momento de inércia  $I$  do prisma hexagonal em torno do seu eixo de simetria longitudinal é

$$I = \frac{5}{12}Ma^2 \quad (1.1)$$

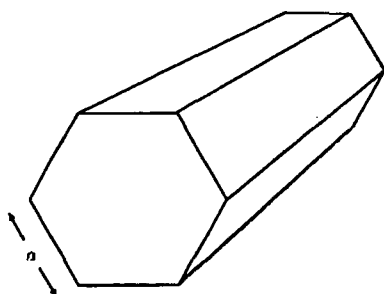


Fig. 1 — Um prisma sólido regular cuja base é um hexágono.

O momento de inércia  $I'$  em torno de uma aresta do prisma é

$$I' = \frac{17}{12}Ma^2 \quad (1.1)$$

a) (3,5 pontos) O prisma encontra-se inicialmente em repouso, com o seu eixo na posição horizontal, sobre um plano inclinado que faz um ângulo  $\theta$  com a horizontal (Figura 2). Considera que as faces do prisma são ligeiramente côncavas pelo que o prisma apenas toca o plano nas arestas. O efeito destas concavidades no momento de inércia pode ser ignorado. É dado um empurrão ao prisma pondo-o a rolar, descendo o plano inclinado "rolando aos solavancos", havendo em cada instante uma só aresta em contacto com o plano. Considera que o atrito evita o escorregamento do prisma e que este não deixa nunca o contacto com o plano. A velocidade angular imediatamente antes de uma dada aresta tocar o plano

é  $\omega_i$  e a velocidade angular imediatamente após o impacto é  $\omega_f$ .

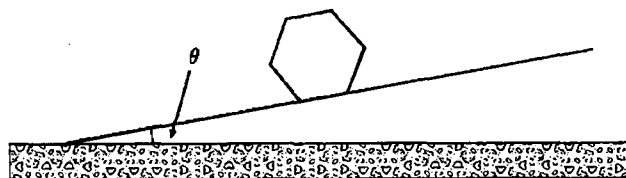


Fig. 2 — Um prisma hexagonal sobre um plano inclinado.

Mostra que se pode escrever

$$\omega_f = s\omega_i \quad (1.3)$$

e escreve o valor do coeficiente  $s$  na tua folha de respostas.

b) (1 ponto) A energia cinética do prisma imediatamente antes e depois do impacto é  $K_i$  e  $K_f$  respectivamente. Mostra que é válida a relação

$$K_f = rK_i \quad (1.4)$$

e escreve o valor do coeficiente  $r$  na tua folha de respostas.

c) (1,5 pontos) Mostra que, para que o próximo impacto ocorra,  $K_i$  deve exceder um valor mínimo  $K_{i,min}$  que pode exprimir-se na forma

$$K_{i,min} = \delta Mga \quad (1.5)$$

onde  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  é a aceleração da gravidade.

Determina o coeficiente  $\delta$  em função do ângulo de inclinação  $\theta$  e do coeficiente  $r$ . Escreve a tua resposta na folha de respostas. (Usa o símbolo algébrico  $r$ , não o seu valor numérico).

d) (2 pontos) Se for satisfeita a condição da alínea (c), a energia cinética  $K_i$  aproxima-se de um valor fixo,  $K_{i,0}$ , à medida que o prisma desce o plano inclinado. Sabendo que o limite existe, mostra que  $K_{i,0}$  pode ser escrito na forma:

$$K_{i,0} = \kappa Mga \quad (1.6)$$

e escreve  $\kappa$  em função de  $\theta$  e  $r$  na folha de respostas.

e) (2 pontos) Calcula, com uma precisão de  $0,1^\circ$ , o ângulo de inclinação mínimo,  $\theta_0$ , a partir do qual o rolamento, uma vez iniciado, irá continuar sem parar. Escreve o valor numérico da tua resposta na folha de respostas.

## Resolução

a) Quando o prisma embate no plano, começa a rodar em torno de um novo eixo, que é a aresta que acabou de tocar no plano. A força que o plano exerce no prisma tem momento nulo em relação a este eixo, pelo que o momento angular em torno desta aresta é conservado durante o curto intervalo de tempo que dura o impacto. O momento linear do prisma tem a direcção da velocidade do centro de massa ( $\vec{p}^p = M\vec{v}_c^p$ , onde o índice  $C$  se refere ao centro de massa), e podemos encontrar esta direcção, com facilidade, quando se conhece o eixo instantâneo de rotação. Imediatamente antes do impacto,  $\vec{p}^p$  está inclinado de  $30^\circ$  em relação ao plano, apontando para baixo, mas após o impacto passa a estar inclinado de  $30^\circ$  mas apontando para cima (ver figura 3).

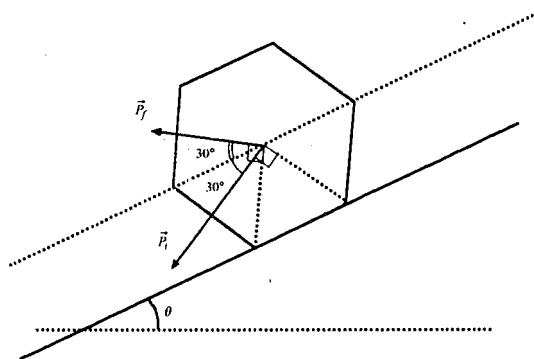


Fig. 3 — Momento linear do prisma, antes e depois do impacto.

Para encontrar o momento angular em torno da aresta de impacto imediatamente antes do impacto ocorrer usamos a equação que relaciona o momento angular,  $\vec{L}^p$ , em torno de um eixo arbitrário com o momento angular,  $\vec{L}^p$ , em torno de um eixo que lhe é paralelo que passa pelo centro de massa:

$$\vec{L}^p = \vec{L}_c^p + M\vec{r}_{rc}^p \times \vec{v}_c^p \quad (1.7)$$

Vamos aplicar esta equação ao eixo no ponto de impacto pelo que  $\vec{r}_{rc}^p$  é o vector que aponta deste ponto para o centro de massa. Os vectores  $\vec{L}_c^p$  e  $\vec{r}_{rc}^p \times \vec{v}_c^p$  têm a mesma direcção. Assim, temos que imediatamente antes do impacto,

$$|\vec{L}_c^p \times \vec{v}_c^p| = r_{rc} v_c \sin 30^\circ = a^2 \omega_i / 2 \quad (1.8)$$

$$L_i = I\omega_i + \frac{1}{2}Ma^2\omega_i = \left(\frac{5}{12} + \frac{1}{2}\right)Ma^2\omega_i = \frac{11}{12}Ma^2\omega_i \quad (1.9)$$

Por outro lado, o momento angular em torno da aresta imediatamente após o impacto é, da equação (1.2) <sup>1</sup>

$$L_f = I'\omega_f = \frac{17}{12}Ma^2\omega_f \quad (1.10)$$

onde o índice  $f$  se refere à situação após o impacto. Podemos reparar que a diferença resulta das direcções de  $\vec{p}_{vc}^p$  e de  $\vec{p}_{vc}^p$  serem diferentes. Impondo a conservação do momento angular,  $L_i = L_f$ , obtemos a seguinte relação entre as velocidades angulares:

$$\omega_f = \frac{11/12}{17/12}\omega_i \quad (1.11)$$

Assim,

$$s = \omega_f/\omega_i = 11/17 \quad (1.12)$$

Verifica-se que o parâmetro  $s$  é independente de  $a$ ,  $\omega_i$  e  $\theta$ .

### Método alternativo de resolução:

Quanto uma das arestas do prisma embate no plano recebe deste um impulso  $\vec{p}_i^p = \Delta\vec{p}_i^p$  aplicado na aresta onde o impacto ocorre. Não existe reacção na outra aresta que está a deixar o contacto com o plano. O impulso tem uma componente  $\Delta P_{\parallel}$  paralela ao plano inclinado (apontando no sentido ascendente do plano) e uma componente  $\Delta P_{\perp}$  perpendicular ao plano (apontando para cima do plano).

Podemos encontrar três equações com as três incógnitas  $\Delta P_{\parallel}$ ,  $\Delta P_{\perp}$  e o quociente  $s$ . A quantidade  $\Delta P_{\parallel}$  é a variação da componente do momento linear do prisma paralela ao plano e  $\Delta P_{\perp}$  a correspondente variação da componente perpendicular do momento linear. Assim:

$$\Delta P_{\parallel} = M(\omega_i - \omega_f)a \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (1.13)$$

$$\Delta P_{\perp} = M(\omega_i + \omega_f)a \frac{1}{2} \quad (1.14)$$

Finalmente, aplicando o teorema do momento angular

$$\Delta P_{\perp} a \frac{1}{2} - \Delta P_{\parallel} a \frac{\sqrt{3}}{2} = I(\omega_i - \omega_f) \quad (1.15)$$

<sup>1</sup> Ou, alternativamente,

$$\begin{aligned} L_f &= I\omega_f + M|\vec{r}_{rc} \times \vec{v}_c| = I\omega_f + Ma^2\omega_f \sin 90^\circ \\ &= \left(\frac{5}{12} + 1\right)Ma^2\omega_f = \frac{17}{12}Ma^2\omega_f \end{aligned}$$

uma vez que o lado direito desta equação representa a variação do momento angular em torno do centro de massa.

As equações (1.13), (1.14) e (1.15) podem ser resolvidas em ordem ao quociente  $s = \omega_f/\omega_i$ , obtendo-se, claro está, o mesmo resultado do primeiro método.

b) A velocidade linear do centro de massa imediatamente antes do impacto é  $a\omega_i$  e imediatamente após o impacto é  $a\omega_f$ . Sabemos que a energia cinética de um corpo rígido em rotação pode escrever-se na forma

$$K_{tot} = \frac{1}{2} I_c \omega^2 + \frac{1}{2} M v_c^2 \quad (1.16)$$

Desta expressão vemos que a energia cinética,  $K_{tot}$  é proporcional a  $\omega^2$  antes e após o impacto, pelo que

$$K_f = r K_i = \left(\frac{11}{17}\right)^2 K_i = \frac{121}{289} K_i \quad (1.17)$$

e, portanto,

$$r = 121/289 \approx 0.419 \quad (1.18)$$

c) A energia cinética  $K_f$  após o impacto deve ser suficiente para elevar o centro de massa à sua posição mais alta, por cima do ponto de contacto. O ângulo "varrido" pelo vector neste movimento é

$$x = \frac{\alpha}{2} - \theta \quad (1.19)$$

onde  $\alpha = 60^\circ$  é o ângulo ao centro da base hexagonal definido no triângulo constituído pelo centro do hexágono e por dois vértices sucessivos do prisma<sup>2</sup>.

A energia para esta elevação do centro de massa é

$$E_0 = Mga(1 - \cos x) = Mga[1 - \cos(30^\circ - \theta)] \quad (1.20)$$

obtendo-se a condição

$$K_f = r K_i > E_0 = Mga[1 - \cos(30^\circ - \theta)] \quad (1.21)$$

ou seja,

$$\delta = \frac{1}{r} [1 - \cos(30^\circ - \theta)] \quad (1.21)$$

(Note que  $\cos(30^\circ - \theta) = \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta + \frac{1}{2} \sin \theta$ ).

d) Sejam  $K_{i,n}$  e  $K_{f,n}$  as energias cinéticas do prisma imediatamente antes e após o  $n$ -ésimo impacto. Já mostramos que é válida a relação

$$K_{f,n} = r K_{i,n} \quad (1.23)$$

onde  $r = 121/289$  para um prisma hexagonal. Entre dois impactos sucessivos, a posição do centro de massa desce de  $a \sin \theta$  e a sua energia cinética aumenta, por esta razão, de

$$\Delta = Mga \sin \theta \quad (1.24)$$

Assim, temos

$$K_{i,n+1} = r K_{i,n} + \Delta \quad (1.25)$$

Não será necessário escrever a expressão de  $K_{i,n}$  em função de  $K_{i,1}$  e de  $n$  para encontrarmos o limite pedido. Isto seria a forma de mostrar que o limite existe, mas tal é assegurado no enunciado do problema. Assim, para um valor grande de  $n$ ,  $K_{i,n+1} \approx K_{i,n}$ . O valor limite,  $K_{i,0}$ , deverá deverá pois satisfazer à seguinte relação iterativa:

$$K_{i,0} = r K_{i,0} + \Delta \quad (1.26)$$

obtendo-se a solução

$$K_{i,0} = \frac{\Delta}{1-r} \quad (1.27)$$

ou seja,

$$\kappa = \frac{\sin \theta}{1-r} \quad (1.28)$$

Também podemos resolver este problema explicitamente, escrevendo as seguintes expressões:

$$K_{i,2} = r K_{i,1} + \Delta \quad (1.29)$$

$$K_{i,3} = r K_{i,2} + \Delta = r^2 K_{i,1} + (1+r)\Delta \quad (1.30)$$

$$\begin{aligned} K_{i,n} &= r^{n-1} K_{i,1} + (1+r+\dots+r^{n-2})\Delta \\ &= r^{n-1} K_{i,1} + \frac{1-r^{n-1}}{1-r} \Delta \end{aligned} \quad (1.31)$$

No limite  $n \rightarrow \infty$  obtemos

$$K_{i,n} \rightarrow K_{i,0} = \frac{\Delta}{1-r} \quad (1.32)$$

que coincide, naturalmente, com o resultado que obtivemos anteriormente.

Se calcularmos a variação da energia cinética durante um ciclo completo, isto é desde o instante imediatamente antes do impacto  $n$  até ao instante imediatamente antes do impacto  $n+1$ , obtemos,

$$\begin{aligned} \Delta K_{i,n} &= K_{i,n+1} - K_{i,n} = (r-1)r^{n-1} K_{i,1} + r^{n-1} \Delta \\ &= r^{n-1} [\Delta - (1-r)K_{i,1}] \end{aligned} \quad (1.33)$$

<sup>2</sup> No caso geral em que o prisma tem  $N$  faces,  $\alpha = 2\pi/N$ .

Esta variação é positiva se o valor inicial  $K_{i,1} < K_{i,0}$ , pelo que  $K_{i,n}$  irá aumentar até ao valor limite  $K_{i,0}$ . Se, pelo contrário,  $K_{i,1} > K_{i,0}$ , a energia cinética  $K_{i,n}$  imediatamente antes do impacto irá diminuir até ao limite  $K_{i,0}$ .

A situação é semelhante ao movimento de um corpo sujeito a uma força de atrito que aumenta com a velocidade. Em termos matemáticos, a diferença principal está em lidarmos, no presente caso, com equações às diferenças em vez de equações diferenciais.

e) Para que o prisma role sem parar, o valor limite de  $K_n$ , encontrado na alínea anterior, deverá ser superior ao valor mínimo encontrado na alínea c):

$$\frac{1}{1-r} \Delta = \frac{1}{1-r} Mg \sin \theta > Mg \alpha [1 - \cos(30^\circ - \theta) / r] \quad (1.34)$$

$$\text{Fazendo } A = \frac{r}{1-r} = \frac{121}{168},$$

$$A \sin \theta > 1 - \cos 30^\circ \cos \theta - \sin 30^\circ \sin \theta \quad (1.35)$$

$$\left(A + \frac{1}{2}\right) \sin \theta + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta > 1$$

Para resolver esta equação vamos definir<sup>3</sup>

$$u = \arccos \left( \frac{A + \frac{1}{2}}{\sqrt{\left(A + \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}}} \right) \approx 35,36^\circ \quad (1.36)$$

obtendo

$$\cos u \sin \theta + \sin u \cos \theta > \frac{1}{\sqrt{\left(A + \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}}} \quad (1.37)$$

$$\sin(u + \theta) > \frac{1}{\sqrt{\left(A + \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}}}$$

u seja,

$$\theta > \arcsin \left( \frac{1}{\sqrt{\left(A + \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}}} \right) - u \approx 41,94^\circ - 35,36^\circ = 6,58^\circ \quad (1.38)$$

pelo que

$$\theta_0 \approx 6,58^\circ \quad (1.39)$$

Se  $\theta > \theta_0$  e se a energia cinética após o 1.º impacto for suficiente de acordo com a alínea c), então, verificando-se as condições do enunciado, o cilindro descerá o plano inclinado a rodar, sem parar.

<sup>3</sup> É possível resolver qualquer das inequações de uma forma puramente numérica, por exemplo através de tentativas de aproximação sucessivas ou usando as aproximações  $\sin \phi \approx \phi$  e  $\cos \phi \approx 1 - \phi^2/2$ .

## EPS-11: Trends in Physics 6 - 10 September 1999 London

The 11th General Conference of the European Physical Society will be held at Church House Conference Centre in the heart of London, under the local organization of the Institute of Physics.

The Conference will cover a broad range of topics addressing many of the exciting developments which will comprise the Physics of the 21st century.

Plenary and "highlight" talks given by internationally recognized experts will set the scene and specialist symposia will provide more in-depth consideration of specific topics.

### \* Scientific Themes (plenary/highlight talks)

- *Basic Physics and Education*
- *Physics, the Environment and the EU*
- *"Young Physicists – it's all yours"*
- *Medical Physics and Physics in Industry*
- *General*

### \* Parallel Symposia

- Coherent Matter Waves and cold Collisions
- Computation in Condensed Matter • Education - EUPEN • Imaging • Magnetic Multilayers • MHD in Toroidal Systems • Nuclei Far from Stability • Physics in Industry
- Physics of High Intensity Light Pulses • Synchrotron Radiation.

**Inscrições:** até 20 Junho 1999

*Informações:* Conferences Department, The Institute of Physics, 76 Portland Place, London W1N 3DH, U.K.

## SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

### Relatório das Actividades da Direcção da Divisão Técnica de Educação relativo ao mandato de Novembro de 1996 a Novembro de 1998

#### 1. Centro de Formação da S.P.F.

Face às alterações na legislação da Formação Contínua relativamente a Centros de Formação de Associações e Sociedades Científicas, foi necessário reapreciar o processo recebido da anterior Direcção, e elaborar novo processo. Este encontra-se agora concluído, após a necessária alteração de Estatutos da S.P.F. que ocorreu na última Assembleia Geral (Setembro de 1998).

Foram efectuados protocolos com todas as Universidades públicas e ainda com o Instituto Tecnológico e Nuclear. Constituiu-se uma bolsa de formadores com docentes das referidas instituições e outros. Elaborou-se um Plano de Formação sucinto, para efeitos de acreditação do centro, que pode servir de ponto de partida para outros programas mais completos. A partir deste momento, o Centro de Formação da S.P.F. está pronto a candidatar-se à acreditação.

#### 2. Exames do 12.º ano

A introdução de um grupo de questões para avaliação de capacidades relacionadas com a actividade experimental nas provas de exame de 12.º ano, suscitou um grande debate entre os sócios. Conscientes deste facto, a Direcção da D.T.E. produziu internamente um documento (Anexo n.º 1) dirigido ao Departamento de Ensino Secundário, o qual foi apresentado em reunião ordinária do Conselho Directivo desta Sociedade. A ausência de consenso sobre o

documento impossibilitou uma tomada de posição oficial sobre esta questão.

#### 3. Inquérito aos sócios

Foi elaborado um inquérito sobre as necessidades de formação e relação sócios-Direcção da D.T.E.. Após um estudo piloto, que exigiu algumas alterações ao documento original, foi enviado a todos os sócios inscritos à época nesta Divisão Técnica de Educação (Anexo n.º 2). As respostas ao inquérito foram analisadas e tratadas (Anexo n.º 3). Este estudo serviu de base à elaboração do Plano de Formação do Centro de Formação da S.P.F.

#### 4. Olimpíadas de Física 1997 e 1998

Esta direcção esteve representada na Comissão Nacional das Olimpíadas de Física pela colega Natália Cruz. Assim, participou nas reuniões preparatórias das provas regionais e nacionais. A colaboração da D.T.E. estendeu-se não só à elaboração como também ao acompanhamento e avaliação das provas prestadas pelos alunos. Cientes da importância das Olimpíadas de Física no despertar dos jovens para a ciência, a colega Natália Cruz enviou um documento à representante do Conselho Directivo na Comissão Nacional das Olimpíadas, contendo uma reflexão crítica sobre o modo como tem decorrido a organização das Olimpíadas (Anexo n.º 4).

#### 5. Encontro Ibérico para o Ensino da Física 1997

Na preparação deste Encontro, a Direcção tomou a iniciativa de divulgar a todos os membros da D.T.E. a documentação da Real Sociedade Espanhola de Física, devidamente traduzida. Um relato sumário do Encontro (Anexo n.º 5) foi publicado na Gazeta de Física, Vol. 20, Fascículo 4.

#### 6. Encontros no Básico/Reflexão participada do Currículo do Ensino Básico

Tendo sido solicitada representação da S.P.F. num grupo de trabalho de reflexão participada sobre o *Currículo do Ensino Básico*, a Direcção da D.T.E. designou a colega Maria Benedita Tribolet de Abreu, que participou nas reuniões para que foi convocada.

#### 7. Encontros no Secundário/Reflexão Participada do Currículo do Ensino Secundário

Foram organizados debates a nível nacional, que decorreram em Lisboa, Coimbra, Porto e Beja. Na reunião de Lisboa estiveram presentes professores da Madeira e dos Açores e na reunião de Beja estiveram igualmente presentes professores do Algarve. Esta reflexão foi extremamente participada, tendo sido feita uma síntese dos pareceres recolhidos, que foi submetida à apreciação de outros sócios dos ensinos Secundário e Superior. O produto final consta num documento, que foi enviado ao Departamento do Ensino Secundário (Anexo n.º 6).

## 8. Grupo de Apoio às Actividades Experimentais

Na sequência do trabalho desenvolvido pela Direcção anterior na elaboração de um projecto de apoio aos professores na área experimental, foram efectuados contactos ao mais alto nível com o Ministério da Educação, a quem foi apresentado um projecto reformulado. Entretanto foi constituída uma equipa de professores do Ensino Secundário que desenvolveu um trabalho preparatório no âmbito de ensino experimental da Física. Mais tarde foi contactada a Senhora Secretária de Estado da Educação e inovação, solicitando informações sobre o andamento do processo e apresentado um projecto de protocolo (Anexo nº7). Em finais de Abril de 1998, foi esta Direcção informada que a discussão de um possível protocolo passou para o âmbito da *Comissão de Acompanhamento do Ensino das Ciências*, entretanto criada. Em reunião ordinária do Conselho Directivo da S.P.F. em Julho de 1998, os representantes da Sociedade na referida Comissão comprometeram-se a dar continuidade a este assunto.

## 9. Estudo "Delphi"

Face à solicitação do Instituto de Inovação Educacional, esta direcção procurou dar resposta a uma investigação relativa à avaliação do desempenho profissional dos professores, estendendo a discussão a vários sócios. Este estudo decorreu entre Março de 1997 e Janeiro de 1998.

## 10. Colaboração na Gazeta da Física

A Direcção da D.T.E. tomou a iniciativa de propor colaboração com a Redacção da Gazeta de Física, na área da Educação. Assim, foi criada

uma secção designada "Educação em Física", onde têm sido inseridas diversas notícias de interesse. Foi também dinamizada a participação dos professores com artigos para aquela publicação.

## 11. Encontro Ibérico para o Ensino da Física 1998

A direcção da D.T.E. esteve amplamente representada, quer na Comissão Organizadora, quer na Comissão Científica. Assim, sugeriram-se temas e conferências, organizaram-se mesas redondas, analisaram-se comunicações, assegurou-se um "site" WEB de apoio à Conferência. No decorrer do Encontro, foi dado todo o apoio à organização, nomeadamente na recepção e acompanhamento dos participantes nacionais e estrangeiros.

## 12. Contabilidade

A constituição de uma Direcção nacional da D.T.E./S.P.F. dispersa geograficamente pelas zonas Norte, Centro e Sul, acarretou despesas importantes ao nível das deslocações e comunicação entre os seus elementos. A participação no 7.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física dos representantes da Comissão Científica e Organizadora, o Inquérito aos Sócios, e a Reflexão Participada do Currículo do Ensino Secundário, constituíram outras despesas de assinalar neste período. Durante estes dois anos de mandato esta direcção procurou racionalizar ao máximo as despesas correntes (Anexo n.º 8).

Lisboa, 21 de Novembro de 1998.

A Direcção da Divisão Técnica  
de Educação

# DELEGAÇÃO CENTRO

Como vem sendo hábito, a Delegação Regional do Centro da SPF propõe-se realizar nas Escolas Secundárias palestras de divulgação sobre vários temas de Física e cursos de formação de professores. Os temas propostos para o ano lectivo de 1998/99 são os seguintes:

## ACÇÕES DE DIVULGAÇÃO

### "A Física da Cor"

Prof. Doutor Luís Alte da Veiga

### "Princípios de conservação e as leis da mecânica"

Prof. Doutor Luís Alte da Veiga

### "Viagem ao centro do Sol"

Prof. Doutor José Pinto da Cunha

### "Da magia da electricidade e do magnetismo à descoberta das ondas electromagnéticas"

Prof.<sup>a</sup> Doutora Lucília Brito

### "Acústica e Música"

Prof. Doutor Manuel Fiolhais

### "Aplicações da Hidrostática e da Hidrodinâmica"

Prof. Doutor Luís Alte da Veiga

### "O estudo experimental da gravitação com as máquinas do Gabinete Pombalino de Física"

Prof. Doutor João da Providência Costa

### "Física e computadores"

Dr. José Luís Malaquias



**“Questões curiosas: problemas das Olimpíadas Internacionais de Física”**

Prof. Doutor Manuel Fiolhais  
Prof. Doutor José António Paixão

**“Física no Desporto”**

Prof. Doutor Adriano Pedroso de Lima

**“Estabilidade, decaimento e reacções nucleares”**

Prof. Doutor Adriano Pedroso de Lima

**“Bases experimentais da Física Quântica”**

Prof. Doutor Adriano Pedroso de Lima

**“Física na Música”**

Prof. Doutor Adriano Pedroso de Lima

**“O que é a luz?”**

Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Margarida R. R. Costa

**“Lasers e holografia”**

Prof. Doutor João Lemos Pinto

**“Atrito: a nosso favor ou contra?”**

Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria José B. M. de Almeida

**“Microscópios de resolução atómica”**

Prof. Doutor Carlos Alberto Nabais Conde

**“Análise de materiais por fluorescência de raios X”**

Prof. Doutor Carlos Alberto Nabais Conde

**CURSOS DE  
FORMAÇÃO  
PARA  
PROFESSORES**

**“A cinemática e a dinâmica com base experimental”**

Prof. Doutor Luís Alte da Veiga

**“Fundamentos de Termodinâmica”**

Prof. Doutor Manuel Fiolhais

**“Século XX: o século das partículas”**

Prof. Doutor Manuel Fiolhais

**“Física Moderna - da Teoria da Relatividade aos nossos dias”**

Prof. Doutor Manuel Fiolhais

**“O apogeu da Física clássica, os seus falhanços e o advento da Física Moderna.”**

Prof. Doutor Luís Alte da Veiga

**“Sensores e interfaces no ensino experimental da Física”**

Prof. Doutor José António Paixão e  
Prof. Doutor Francisco Campos Gil

**“Teoria da relatividade: uma nova visão do tempo e do espaço”**

Prof. Doutor Pedro Vieira Alberto

**“A Física Quântica numa perspectiva histórica”**

Prof. Doutor João da Providência Costa

**“Física e informática – uma relação ‘inteligente’”**

Dr. José Luís Malaquias

**“A história das Ciências no Ensino – o caso da Física. Perspectivas e experiências pedagógicas”**

Prof. Doutora Maria da Conceição Ruivo.

**“Como lidar com o atrito...”**

Prof. Doutora Maria José B. M. de Almeida

Cópia desta lista foi enviada a todas as Escolas Secundárias e C+S da Região Centro. Estas acções serão realizadas, na medida das disponibilidades, por solicitação das escolas à

Delegação, que encaminhará os pedidos para os professores responsáveis pelas acções. Chama-se a atenção para o facto de os cursos de formação de professores necessitarem de uma pré-inscrição de um grupo de, pelo menos, 15 professores.

Aproveita-se a oportunidade para agradecer a disponibilidade dos professores que colaboram nesta iniciativa.

**1.º Colóquio de Física do Instituto Politécnico de Tomar**

A Delegação apoiou a realização do 1º Colóquio de Física do Instituto Politécnico de Tomar subordinado ao tema “A Física no Ensino, na Arte e na Engenharia”, que decorreu em Tomar nos dias 25 e 26 de Novembro de 1998.

**SoftCiências**

O SoftCiências editou recentemente um conjunto de 400 questões de Física de escolha múltipla cobrindo o programa de Física do 12º ano (TESTA F/12), que poderão ser utilizados no programa ZERO (edição e correcção automática de testes), também editado pelo SoftCiências. Encontra-se já disponível, em disquete, a nova versão (2.1) do programa de simulação de equilíbrio químico LeChat. Continua disponível o CD-ROM Omniciência98. Alguns dos programas incluídos neste CD-ROM ainda poderão ser adquiridos em formato de disquete, acompanhados do respectivo manual. A preço reduzido também ainda poderá ser adquirido o CD-ROM Omniciência97. Os pedidos deverão ser solicitados à Sociedade Portuguesa de Física, SoftCiências, Dept. de Física, FCTUC, 3000

## ÍNDICE DO VOLUME 21

### Vol. 21 — Fasc. 1 (Janeiro a Março 1998)

Recordando Thomas S. Kuhn (1922-1996) — II - O Historiador das Ciências (Margarida Fragoso, Ricardo Laranjeira, Olga Santo e Ana Simões).....	2
A Gazeta de Física e a Física em Portugal (Amélia Pereira e Isabel Serra).....	7
No rasto do Sol... — Uma experiência didáctica (8.º Ano) (Maria da Luz Castro e Maria das Mercês Sousa Ramos).....	12
Sensores interferométricos em fibra óptica (A. B. Lobo Ribeiro).....	16
Olimpíadas de Física.....	22
O que há de novo?.....	26
Homenagem a Fernando Bragança Gil.....	28
Noticiário SPF.....	31
Educação em Física.....	32

### Vol. 21 — Fasc. 2 (Abril a Junho 1998)

Determinação experimental da excentricidade da órbita da Terra (Guilherme de Almeida).....	2
Gravitação, inércia e o paradoxo da força centrífuga (Ismael Tereno e Paulo Crawford).....	6
Sistemas de refrigeração para aplicações espaciais (Miguel C. Brito).....	14
Francisco de Faria e Aragão e a electricidade no séc. XVIII (Luís Miguel Bernardo).....	19
Educação em Física.....	26
Olimpíadas de Física.....	28
Noticiário SPF.....	32

### Vol. 21 — Fasc. 3 (Julho a Setembro 1998)

Uma modelização didáctica das marés (A. Alberto Silva).....	2
Estabelecimento da transformação de Lorentz recorrendo a um conceito de velocidade limite (Rodrigo de Abreu).....	9
Efeitos quânticos de dimensão na polarizabilidade das nano-partículas (G. K. Gueorguiev e J. M. Pacheco).....	15
Notícia — Física 98.....	22
Olimpíadas de Física.....	24
Noticiário SPF.....	31

### Vol. 21 — Fasc. 4 (Outubro a Dezembro 1998)

Quantas estrelas se vêem no céu? (Guilherme de Almeida).....	2
A que distância fica o horizonte? (Guilherme de Almeida).....	5
Sensores para emissão acústica usando compósitos ferroeléctricos (P. Inácio, C. J. Dias, J. N. Marat-Mendes).....	6
Jubilação do Prof. J. Moreira de Araújo.....	12
O Efeito Hall quantificado fraccionário — Prémio Nobel da Física 1998 (J. M. B. Lopes dos Santos).....	22
Olimpíadas de Física.....	24
Noticiário SPF.....	30





# Olimpíadas de Física 1998/1999

**Provas Regionais:**

Lisboa, Porto e Coimbra  
15 de Maio de 1999

**Provas Nacionais:**

Lisboa, 25 - 26 de Junho de 1999

**Escalação A:**

Alunos do 9º ano

**Escalação B:**

Alunos do 11º ano

Os oito alunos melhor classificados no escalação B ficam pré-seleccionados para representar Portugal nas Olimpíadas Internacionais de Física, em Leicester, Reino Unido, em Julho de 2000. A equipa portuguesa, com cinco elementos, será apurada em Maio de 2000

**Apoios:**

Ministério da Educação  
Ministério da Ciência e da Tecnologia



SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA