

# GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA

VOL. 14, FASC. 1

Publicação Trimestral

Janeiro a Março 1991



Visualização da Dinâmica de Fluxoides em Supercondutores

# GAZETA DE FÍSICA

Fundada em 1946 por A. Gibert

Propriedade e Edição: Sociedade Portuguesa de Física

*Directores:* Filipe Duarte Santos

João Bessa Sousa

*Comissão de Redacção e Administração:* Manuel F. Thomaz, Carlos Matos Ferreira, Armando J. P. L. Policarpo, Ana Maria Eiró, Margarida C. Martins da Cruz, Maria Fernanda Cristóvão da Silva, Adriano Pedroso de Lima, José Manuel Monteiro Moreira.

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

---

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

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

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

Toda a correspondência deverá ser enviada para

**Gazeta de Física**

Sociedade Portuguesa de Física

Av. República, 37-4.º — 1000 LISBOA

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

**Preço de assinatura: país 1500\$00; estrangeiro US\$25.**

**Preço do fascículo avulso (sede e delegações da SPF): 400\$00.**

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

Tiragem: 2400 exemplares

Composição, Impressão e Acabamento — *Imprensa Portuguesa* — Porto

- 
- Na capa:* (a) — Imagem de fluxoides em repouso, obtida por holografia electrónica, num filme superconductor de chumbo colocado num campo magnético ( $T < T_c$ ).  
(b) — Imagem de maior resolução, obtida de (a) com tratamento em computador, levando em conta o conhecimento prévio da configuração do campo magnético no vácuo.  
(c) — Observação em tempo real do movimento dos fluxoides (representados por setas) produzido por uma subida intencional da temperatura.

Ref.: Akira Tonomura e colaboradores, Hitachi, Japão; *Phys. Rev. Lett.*, **66**, 457 (1991).

---

## A SPF e a Física em Portugal nos anos 90

CARLOS MATOS FERREIRA

Secretário-Geral da Sociedade Portuguesa de Física

Ao longo dos seus cerca de 16 anos de existência a SPF, constituída oficialmente em 19 de Abril de 1974 e tendo os seus primeiros corpos directivos eleitos em Janeiro de 1975, tem crescido continuamente, desenvolvendo e promovendo actividades cada vez mais amplas e diversas. Com o passar dos anos e com a experiência adquirida tem vindo a aumentar a qualidade destas acções e o prestígio que, através delas, a SPF possui a nível nacional e até mesmo internacional. Muito foi feito por todos quantos, ao longo dos anos, se empenharam com grande dedicação em actividades tão diversas como a publicação das revistas da Sociedade, a realização de múltiplos seminários, colóquios e pequenos cursos de formação ou de divulgação, a organização de conferências nacionais e internacionais, a participação nas actividades da Sociedade Europeia de Física (EPS) da qual a SPF é membro, ou até, simplesmente, as tarefas de gestão corrente próprias dos órgãos directivos nacionais e regionais.

Não é meu propósito, ao escrever estas linhas, fazer qualquer balanço das actividades realizadas pela SPF. Estas encontram-se bem documentadas em relatórios que, de acordo com os Estatutos, tem sido regularmente elaborados e divulgados junto aos sócios. Gostaria, outrossim, de tecer algumas reflexões sobre o futuro da nossa Sociedade e sobre algumas linhas de estratégia que, no meu entender, deveriam ser seguidas na década de 90. Gostaria de deixar claro, desde já, que as ideias

a seguir expressas são meramente pessoais e que, como tal, não responsabilizam os órgãos directivos da Sociedade. Estas ideias são, no entanto, linhas mestras que entendo seguir como Secretário-Geral, enquanto, para tal, tiver o apoio do Conselho Directivo da SPF.

### Para que serve a SPF ?

Trata-se, é claro, duma questão de fundo que toda a gente, dalguma forma, no seu íntimo se coloca, tanto mais sabendo que a SPF, enquanto tal, não faz físicos nem Física. A questão não é, obviamente, específica do caso português e tem vindo a colocar-se também, com toda a oportunidade, no seio de Sociedades científicas congéneres noutros países ou até no seio da própria EPS. Acho que vale a pena interrogarmo-nos previamente sobre esta questão, já que não basta contentarmo-nos com o simples facto de existirmos e de termos desenvolvido ao longo dos anos actividades diversas. Há que reflectir sobre o lugar que desejamos ocupar no xadrês complexo das instituições políticas e sociais que intervêm na área da Física, sobre os espaços de intervenção em que possuímos melhores condições para agir, sobre o futuro que queremos para a Física e para os físicos em Portugal.

À partida, os objectivos gerais da SPF encontram-se bem definidos logo no Artigo 1.º dos seus Estatutos: «... promover, cultivar, desenvolver e divulgar, em Portugal, o estudo,

o ensino, a investigação e as aplicações da Física e das Ciências com esta mais directamente relacionadas, uma e outras Ciências consideradas como fenómeno cultural e como agente dinamizador e condicionante do desenvolvimento económico nacional». Vasto e nobre programa sem dúvida, mas como realizá-lo, quanto mais não seja em parte, como definir estratégias de acção? Até ao presente as acções têm sido numerosas e diversificadas, é certo, mas há que reconhecer que tem existido em tudo alguma falta de conexão, de fio condutor, de plano organizador que faça confluír as águas de todos os ribeiros para um mesmo rio.

Para tentar definir algumas linhas mestras de acções começamos por encarar o país real em que trabalhamos, fazendo e ensinando Física. Penso que todos estamos de acordo quanto ao baixíssimo nível médio da educação em Física no nosso país, quer no próprio ensino oficial, quer ao nível do saber e da cultura do cidadão adulto comum. As razões deste estado de coisas são certamente múltiplas e complexas mas todos nós as conhecemos, em maior ou menor grau, e não vale a pena atrasarmo-nos com a sua análise. Importa, isso sim, ter consciência da gravidade da situação e da necessidade de ultrapassar este estado de coisas. A educação é, sem dúvida, uma área de acção prioritária para a SPF na próxima década.

Outro problema que entendo ser fundamental é o da informação. Os físicos portugueses vivem muitas vezes em espaços demasiado fechados, com pouco ou nenhuma intercomunicação, sejam eles departamentos universitários, centros ou grupos de investigação, escolas, etc. Regra geral sabe-se melhor e mais depressa o que se faz no estrangeiro do o que se faz em Portugal. Não é anedota, antes é uma lamentável realidade, verificar-se que físicos portugueses tomam por vezes conhecimento do trabalho feito em Portugal por colegas seus aquando de visitas ao estrangeiro! Os departamentos, as escolas, os centros e grupos de investigação são estruturas activas que

desenvolvem, felizmente cada vez mais actividades diversas de investigação, ensino, divulgação e promoção do saber, etc. A ignorância mútua permanece grande, no entanto, a tal ponto que duvido sinceramente que na Universidade A se tenha alguma ideia precisa do que ocorra na Universidade B e vice-versa, que nas Universidades se tenha uma pálida ideia dos programas do ensino secundário, que na Escola Secundária X se saiba quais os cursos de Física oferecidos pelo ensino superior ou quais as áreas da Física em que existem grupos de investigação importantes em Portugal. O problema da informação é complexo e multifacetado. A SPF, graças à sua estrutura nacional e à particularidade de reunir no seu seio professores dos vários graus do ensino, bem como investigadores e alunos, poderá e deverá contribuir para que nos conheçamos melhor uns aos outros. A informação sobre o que somos e o que fazemos é essencial para que os físicos portugueses adquiram uma identidade própria e venham a formar uma comunidade socialmente respeitada e capaz de zelar pelos seus interesses.

Finalmente, há uma terceira linha de acção que considero importante a que gostaria de chamar «intervenção pública». É importante que a SPF reflecta no seu seio sobre algumas das grandes questões que se colocam à Física portuguesa, que desta reflexão possam emergir e vir a público opiniões fundamentais, certas, e responsáveis sobre temas tão importantes como a política e a organização da investigação científica, as carreiras profissionais dos físicos nos sectores do Estado e da indústria, o papel da Física no desenvolvimento sócio-económico do país, etc. A intervenção em tais áreas, mesmo que, como infelizmente é de esperar, não tenha efeitos directos ao nível da esfera do poder, contribuirá certamente para a formação duma opinião pública mais consistente e responsável, capaz de entender melhor o papel social da Física e da Ciência em geral na sociedade moderna.

Educação, informação e intervenção pública são assim três áreas estratégicas de acção em que a SPF se deveria fortemente envolver. Gostaria no seguimento de concretizar um pouco mais estas ideias, discutindo algumas acções específicas que me parecem realizáveis.

## **A batalha da educação**

A SPF ao longo dos anos tem organizado, como se disse atrás, numerosas acções de formação e de divulgação, através quer da sua Divisão Técnica de Educação quer das suas Delegações Regionais. O grande interesse que estas iniciativas têm despertado, nomeadamente no seio dos professores de Física do ensino secundário, mostra bem o empenho dum grande número de professores em actualizar-se, aprendendo coisas novas ou apenas repensar maduramente em assuntos outrora aprendidos.

O prosseguimento destas acções a uma escala que se pretende cada vez mais ampla e eficaz tem que ser devidamente organizado tendo em conta os novos programas de ensino que estão a ser elaborados e a formação contínua dos docentes que leccionarão esses programas. A questão da formação contínua deve merecer particular atenção por parte da SPF, tanto mais quanto se sabe que a participação dos docentes em acções de formação contínua faz parte das condições para progressão na carreira docente do ensino secundário. Penso que devemos não só participar activamente em acções de formação contínua como também contribuir para a sua dignificação e utilidade, propondo e executando acções bem estruturadas e verdadeiramente formativas. É óbvio que tais acções não poderão, nem deverão, ser conjuntos de colóquios ou seminários desconexos, mas sim verdadeiros cursos integrados com a extensão e a profundidade adequados, com o apoio necessário de material de estudo e de trabalho (livros, apontamentos, material de labora-

tório, etc.). Nesta perspectiva, é de todo o interesse que a SPF estabeleça uma colaboração estreita com os Departamentos de Física das várias Universidades para a organização e execução conjunta de acções de formação contínua. Vem a propósito acentuar fortemente a necessidade de organizar acções de formação experimental, sem o que a Física experimental continuará por muitos anos a ser ignorada nas nossas escolas (com todas as consequências nefastas que daí advêm, em particular no mundo profissional). Nesta área, a colaboração com Departamentos das Universidades é naturalmente imprescindível. Há pois que estabelecer com esses Departamentos protocolos de colaboração adequados, que permitam o desenvolvimento de acções conjuntas embora com total autonomia das instituições envolvidas.

Poderá pensar-se que o plano assim esboçado é demasiado ambicioso, por um lado pela falta de meios financeiros e de apoio logístico da SPF, por outro pelas dificuldades que poderão surgir no estabelecimento de cooperação com os Departamentos universitários, habituados que estamos todos a trabalhar em grupos fechados. Estou consciente das dificuldades mas firmemente convencido de que é este o caminho a seguir. O financiamento necessário poderá ser obtido do próprio Ministério da Educação através do programa PRODEP no qual se prevê orçamento substancial para a formação contínua de professores. Obter ou não financiamento do PRODEP dependerá em parte de nós, da capacidade que tivermos para propor um programa de formação contínua de grande qualidade e exequível. Ninguém virá bater-nos à porta para nos convidar a realizar acções e para nos dar dinheiro. Existe, no entanto, por parte do Ministério da Educação um espírito favorável a acolher propostas nossas, conforme pude confirmar em audiências que já tive com o próprio Ministro, e com o Secretário de Estado da Reforma Educativa. O terreno está algo preparado mas a bola está no nosso campo.

## **Estou informado logo existo**

Perdoe-me caro sócio (ou leitor), o pequeno exagero do título acima, mas interprete o existir apenas enquanto membro da SPF ou vá lá, numa forma mais geral, enquanto membro da comunidade dos físicos. Como disse atrás, sem nos conhecermos e sabermos o que fazemos uns e outros não formaremos jamais uma comunidade com identidade própria. Informar (bem) é assim, de alguma forma, um dever da SPF; estar informado é também um direito dos sócios.

O problema da informação inclui diversas componentes. Por um lado, é preciso estabelecer uma rede numerosa de correspondentes, ou seja pessoas que, nos Departamentos, nos laboratórios de investigação, nas escolas, recolham as informações mais relevantes sobre as actividades ou iniciativas aí conduzidas e as transmitam aos órgãos centrais da SPF. Por outro, é necessário que estes, após conveniente tiragem, divulguem a informação no seio dos sócios através dum veículo conveniente. Aliás o veículo já existe, é a própria Gazeta de Física, revista que todos os sócios recebem gratuitamente.

Rede de correspondentes e Gazeta de Física são pois os elementos operacionais para atacar o problema da informação. Estabelecer uma rede é um problema sério e difícil, já que em larga medida dependerá da boa vontade e do empenho pessoal de numerosos sócios, um pouco por todo o país. Seria mais eficaz, certamente, dar algum carácter institucional a esta rede, de tal forma que os correspondentes — nós da rede — agissem mais na qualidade de representantes das instituições a que estão vinculados (departamentos, laboratórios, escolas) do que a mero título individual de sócio da SPF. Neste sentido, penso que seria interessante estabelecer vínculos institucionais entre a SPF e os departamentos, laboratórios e escolas, mediante formas a estudar. Uma via possível seria a de que essas diversas instituições se tornassem sócios colectivos da SPF, categoria de sócios que está por enquanto ausente dos

nossos Estatutos mas que talvez seja oportuno criar. As vantagens dum tal esquema não seriam apenas para a SPF, já que as restantes instituições só teriam a ganhar com a possibilidade de divulgar junto dos físicos portugueses, através da SPF, as suas principais actividades.

A informação sobre o que se passa de mais relevante no mundo da Física a nível internacional também deverá ser incluída na Gazeta, embora o acesso a essa informação coloque também numerosos problemas. Há que pensar num sistema de organização adequado (correspondentes para diversas grandes áreas científicas, para diversos temas, etc.) que possam, em particular, apoiar-se eficazmente na própria informação que circula no seio da EPS. É oportuno referir que a própria EPS tem vindo a considerar o problema da informação como fundamental, investindo fortemente na transformação do seu jornal «Europhysics News», por forma a dar-lhe um conteúdo informativo mais rico, mais a par do que vai mexendo e, como tal, mais aliciante.

Naturalmente que, por informação, não entendo apenas o aspecto de noticiário. A Gazeta de Física, veículo informativo da SPF, deverá progressivamente melhorar o seu conteúdo em numerosas vertentes, publicando artigos de índole de divulgação bem escritos, quer por convite a autores seleccionados, quer traduzindo artigos deste tipo publicados no estrangeiro, fazendo reportagens sobre actividades do mundo da Física em instituições portuguesas, entrevistando professores e investigadores, informando criticamente sobre livros editados, etc. A Gazeta pode e deve melhorar, também, o seu arranjo e aspecto gráfico, torná-lo de mais fácil leitura, de aspecto mais atraente, mais moderno e mais condizente com a nossa aspiração a integrar o mundo desenvolvido.

## **A intervenção pública**

Até ao presente, a SPF tem estado alheia, em geral, dos grandes problemas que se colo-

cam ao desenvolvimento científico em Portugal. Penso, no entanto, que é dever seu promover a discussão desses problemas no seu seio e intervir publicamente sempre que for necessário e oportuno, emitindo juízos, pareceres e opiniões devidamente fundamentados. A total isenção que a SPF tem face aos órgãos do poder e a todas as formas de manipulação política e partidárias dão-lhe, à partida, um crédito importante para que a sua voz se faça ouvir.

Não entendo com isto que a SPF se deva envolver em políticas, tomando partido por isto contra aquilo, ou vindo a público com críticas a decisões tomadas pelo poder. A sua intervenção deve ser, pelo contrário, construtiva, tomando por base uma análise séria das realidades e das necessidades.

Para que tal seja possível a SPF deveria promover, desde já, a constituição de diversos grupos de reflexão sobre diversos temas cruciais que progressivamente promoveriam amplos debates internos. Limitar-me-ei a indicar alguns temas que considero importantes, a título de exemplo: os programas de Física no quadro da reforma curricular do ensino secundário; a organização e o financiamento da investigação em Física e o papel das diversas instituições estatais (INIC, JNICT, Universidades, Laboratórios do Estado); a Física na indústria e os perfis de formação desejáveis; etc.

À parte nós próprios, físicos, poucas mais pessoas, em Portugal, pensam que a Física pode ser «agente dinamizador e condicionante do desenvolvimento económico nacional» (dos Estatutos da SPF, Artigo 1.º). A intervenção pública, tal como a entendo, poderá contribuir para modificar este estado de coisas e para que a comunidade dos físicos adquira a credibilidade e respeito públicos que merece.

### Um programa para uma década

Estou consciente de que as ideias de estratégia atrás esboçadas, quando traduzidas em termos de prática, constituem um vastíssimo programa de difícil e morosa implementação. É um programa para a década, mais ou menos,

tanto mais que, entretanto, muitas outras actividades da SPF a que aqui não me referi devem prosseguir e desenvolver-se (actividades das diferentes Divisões Técnicas e das Delegações Regionais, organização de colóquios e de conferências nacionais e internacionais, cooperação com outras Sociedades estrangeiras e com a EPS, etc.).

É pois num horizonte bem mais lato que o do meu mandato como Secretário-Geral que um tal programa de acção se pode implementar e dar frutos. Espero, no meu mandato, conseguir deixar dele algumas sementes ou ramos, porventura ainda frágeis, que mais tarde serão árvore.

Mas, entendamo-nos: é preciso que este programa seja um pouco de todos nós, físicos portugueses.

Adenda ao noticiário saído  
na Gazeta — Vol. 13, Fasc. 4

## Olimpíadas SPF 1990

### Provas Nacionais

Na sequência da notícia apresentada na Gazeta anterior informamos que a equipa vencedora da Etapa Nacional das Olimpíadas de Física - 1990 na categoria *Programa de Computador* foi a da Escola Secundária Machado de Castro constituída pelos seguintes alunos:

Fábio Luís Silva  
João Alexandre Isidro  
Pedro Miguel R. Coelho

### Física 90

Por lapso não foi incluído, na lista dos jovens investigadores com «menção Honrosa», o nome de Célia Almeida de Sousa do Dep. de Física da Universidade de Coimbra.

# Os revestimentos de diamante e o futuro

JOSÉ FRANCISCO DE MARTINS DE AZEVEDO E SILVA

Departamento de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa

*Descrevem-se algumas propriedades, aplicações e métodos de produção de revestimentos de superfícies com filmes de diamante. Sugerem-se experiências de realização aparentemente fácil, envolvendo estudos paramétricos das condições de deposição.*

## Introdução

O tratamento de superfícies constitui actualmente um dos campos da investigação científica e tecnológica em maior expansão. Em particular, no que se refere ao revestimento de superfícies destinadas a aplicações específicas de grande exigência quanto às suas características físicas, mecânicas e químicas, os filmes de diamante sintético desempenham — entre muitos outros tipos de revestimentos com tecnologias já mais bem estabelecidas — um papel fundamental.

Considere-se, com efeito, uma propriedade qualquer de um determinado material: no diamante, essa propriedade terá, quase certamente, um valor extremo.

Embora as propriedades excepcionais do diamante sejam conhecidas há muitos séculos, o reconhecimento de que a sua composição é de carbono puro é relativamente recente.

Foi Lavoisier quem, em 1772, descobriu que o produto da combustão do diamante era simplesmente anidrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ). Isto levou a que, anos mais tarde, se começasse a pensar em fabricar diamantes artificiais. A primeira referência escrita anunciando a síntese do diamante, foi feita em 1832 por Cagniard de la Tour. Não há, contudo, a certeza dessa experiência ter sido bem sucedida, visto que se perderam os seus produtos finais.

Desde então, multiplicaram-se as tentativas de fabrico de diamantes artificiais, mas só em 1954 elas tiveram êxito. Os investigadores da General Electric conseguiram nessa data sintetizar diamante a partir da grafite, submetendo-a

a altas pressões e temperaturas [1]. A General Electric já conseguiu também sintetizar diamante tendo o whisky como matéria-prima, enquanto que no Nippon Institute of Technology, no Japão, já se realizou essa síntese a partir do saké [2].

Actualmente, o diamante para usos industriais é produzido sem qualquer dificuldade, utilizando esses métodos de altas pressões e temperaturas.

No entanto, a produção de revestimentos de filmes finos de diamante produzidos a baixas pressões e susceptíveis de responderem às severas solicitações da moderna tecnologia, é um assunto muito mais delicado.

## A estrutura do sistema

O diamante é constituído por átomos de carbono, tal como a grafite. A principal diferença entre os dois materiais reside na estrutura cristalina e nas interligações atómicas: enquanto no diamante essa estrutura consiste num conjunto de átomos de carbono dispostos tetraedricamente e fortemente unidos covalentemente por ligações híbridas  $sp^3$ , na grafite os átomos estão dispostos em camadas de simetria hexagonal em que as ligações interatómicas são  $sp^2$ . Essas camadas estão francamente acopladas entre si por forças de Van-der-Waals, o que confere à grafite o seu carácter lubrificante visto que essas camadas deslizam facilmente umas sobre as outras.

Os filmes finos de carbono que se produzem actualmente, são muitas vezes constituídos por

uma mistura dos dois tipos de ligação dos átomos de carbono (e também pela presença de quantidades variáveis de hidrogénio) o que determina as suas características finais. Quando coexistem os dois tipos de ligação, juntamente com percentagens variadas de hidrogénio, os filmes denominam-se de tipo-diamante (diamond-like) ou carbono amorfo, embora esta última designação não seja muito apropriada. Um excelente critério para classificar os filmes é dado pelo quociente  $R = sp^2 / (sp^2 + sp^3)$  [3]. Os valores de R diferem consideravelmente consoante o carácter do filme e estão muitas vezes directamente relacionados com as suas propriedades. Para os filmes de diamante o valor de R pode variar entre  $R = 10^{-1}$  e  $R < 10^{-8}$ , enquanto para os filmes tipo-diamante esse valor é bastante mais elevado.

Note-se, (Fig. 1), que a estrutura do diamante não é estável à pressão e temperatura ambientes: o diamante transforma-se lenta-

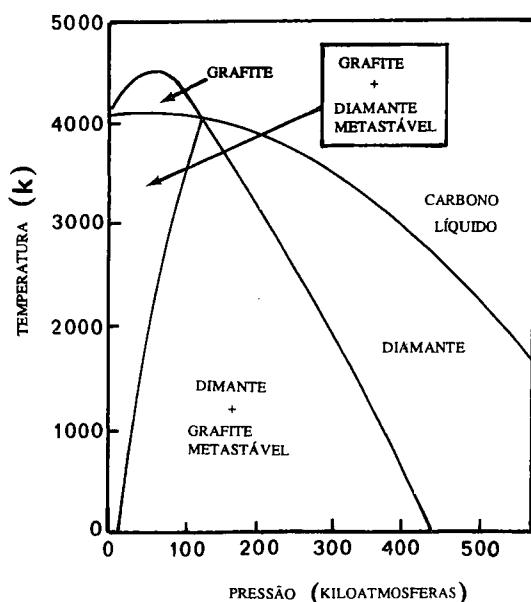


Fig. 1 — Diagrama de fases.

mente, com o tempo, em grafite. No entanto esse processo leva muitos milhões de anos a concretizar-se, pelo que as senhoras não têm que recear a perda das suas jóias...

## Propriedades

O diamante é, por enquanto, o mais duro material que se conhece. A situação pode alterar-se, todavia, se se conseguir sintetizar materiais em que intervenham ligações carbono-azoto do mesmo tipo que as ligações carbono-carbono existentes no diamante, mas ainda um pouco mais fortes que estas. Um dos compostos que a teoria prevê que se possa vir a sintetizar, o  $\beta\text{-C}_3\text{N}_4$ , seria esse possível (e hipotético) novo material [4].

A conductividade térmica do diamante é também muito grande: cerca de quatro vezes maior que a do cobre à temperatura ambiente.

O coeficiente de atrito, pelo seu lado, é muito pequeno: cerca de metade do da grafite ou de um metal lubrificado. O mecanismo responsável pelo baixo coeficiente de atrito do diamante é, no entanto, totalmente diferente do da grafite.

Quanto às propriedades ópticas, acústicas, químicas e eléctricas, todas elas são tão interessantes que permitem uma exploração importante nos mais variados domínios, como veremos mais adiante.

Na Tabela I apresentam-se algumas propriedades dos filmes de diamante.

TABELA I — Algumas propriedades dos filmes de diamante.

Estrutura	Policristalina
Dureza (Knoop) (Kgf/mm <sup>2</sup> )	7000 — 10000
Coefficiente de atrito	0.05 — 0.15
Conductividade térmica (W/cm.K) (Diamante natural: $\approx$ .cm)	7 — 12
Resistividade eléctrica ( $\Omega$ -cm)	$10^{16}$
Hiato energético (eV)	5.5
Índice de refração	2.42

## Aplicações

O campo de aplicações dos revestimentos de filmes de diamante é muito vasto e constitui um assunto fascinante, sendo essa a razão porque a deposição desses filmes constitui um

dos mais importantes desafios tecnológicos da presente década e do futuro.

Tem interesse chamar aqui a atenção para o facto de que o diamante isotopicamente puro, i.e., constituído a 100 % por carbono 12, tem propriedades ainda mais extremas que o diamante «natural» (99 % de carbono 12 e 1 % de carbono 13) [5]. Assim, tanto a dureza como a condutividade térmica aumentam substancialmente tal como o custo da produção. Todavia, alguns investigadores pensam que, no futuro, as vantagens do diamante sintético isotopicamente puro compensarão esse custo.

Um das aplicações do diamante é como pedra preciosa. No entanto, a produção de diamante sintético para este fim não é rentável visto que os maiores cristais sintetizados a baixas pressões, embora de excelente qualidade, têm massas inferiores a um carat (0.2 g) e dimensões inferiores a um milímetro.

Muito mais importante é a deposição de filmes finos, microcristalinos, revestindo superfícies destinadas aos mais diversos fins.

As características de dureza dos filmes são aproveitadas para o revestimento de ferramentas de corte aumentando muito a sua duração e resistência ao desgaste. A precisão das ferramentas é também muito aumentada devido às microscópicas dimensões do fio susceptíveis de se conseguirem ( $\approx 1$  nm) o que leva a que as peças trabalhadas por estas ferramentas dispensem, eventualmente, qualquer polimento posterior. Em medicina, por exemplo, torna-se possível o fabrico de bisturis de grande precisão. Há, por outro lado, limitações para esta aplicação: além de problemas de adesão, as ferramentas não podem ser usadas para trabalhar aços, por exemplo, devido ao facto do carbono se combinar facilmente com eles formando carbonetos metálicos.

O aproveitamento da conductividade térmica dos filmes pode torná-los muito eficientes como condutores do calor em várias aplicações electrónicas. Assim, e tomando como exemplo o caso dos computadores, sabe-se que a sua velocidade de processamento depende, entre outros factores, do comprimento das linhas de transmissão dos sinais entre os diversos cir-

cuitos integrados que os constituem. Esse comportamento é, por sua vez, fortemente condicionado pela necessidade de dissipar eficazmente o calor nelas gerado. Se esse calor for transferido duma maneira eficiente para a fronteira das placas e aí absorvido, então os circuitos integrados podem ser mais densamente concentrados, com a conseqüente redução das dimensões das placas, aumentando portanto o espaço disponível para outros componentes.

Note-se que o revestimento de diamante funciona apenas como condutor do calor e não como sumidouro: isto porque, embora o diamante tenha uma grande conductividade térmica, a sua capacidade calorífica, que depende da massa molecular, não é muito elevada (cerca de 25 % da do cobre).

Ainda no que diz respeito à electrónica, existem possibilidades de usar as propriedades do diamante como semiconductor de elevado hiato indirecto (5,5 eV) na realização de componentes de circuitos de características excepcionais. Houve quem afirmasse que, com o diamante, «tinha chegado ao fim a idade da areia» (numa alusão ao domínio do Silício neste campo). Por exemplo, seria possível, entre muitas outras coisas, a produção de LED'S (Light Emitting Diodes) azuis. No entanto, investigações mais recentes contestam esse optimismo quanto à utilização do diamante como semiconductor revolucionário, pondo em dúvida algumas dessas aplicações, pelo menos no futuro mais próximo [6].

Outra aplicação importante dos revestimentos de diamante baseia-se no seu coeficiente de atrito. Essa propriedade pode ser muito útil na construção de turbinas de alta velocidade, por exemplo, e, de um modo geral, em qualquer aplicação tribológica que envolva transmissão de movimento sem lubrificação e sem manutenção. Isto sem falar no potencial enorme mercado dos utensílios de cozinha dispondo, pela primeira vez, de um revestimento simultaneamente duro e não aderente aos alimentos, tão do agrado das donas de casa...

Quanto às propriedades acústicas, a principal aplicação é na produção de altifalantes de alta fidelidade com reprodução óptima das

altas frequências. Estes altifalantes são já comercializados pela Sony.

Do ponto de vista químico, o diamante é praticamente inerte («diamonds are forever»). De facto, abaixo dos 400°C o diamante é virtualmente imune a qualquer ataque químico. Isto torna-o no revestimento ideal para aplicações de protecção contra a corrosão. Uma das mais curiosas é a que prevê o revestimento da querena dos navios com filmes de diamante, o que não só a protegeria da corrosão e da aderência de crustáceos, como também reduziria o atrito, com o consequente aumento da velocidade do navio [7].

Eliminar-se-iam assim os elevados custos de manutenção em doca seca, ao mesmo tempo que se reduziriam as despesas em combustíveis provenientes da redução dos tempos de viagem. Para se conseguirem estes objectivos é, no entanto, ainda necessário aguardar que sejam descobertos um processo muito barato de deposição e uma interface adequada entre o diamante e o ferro do casco. Outra aplicação interessante da passividade química do diamante é na construção de sensores semicondutores de temperatura susceptíveis de serem usados em ambientes extremamente agressivos [8].

Podemos ainda referir que as aplicações provavelmente mais importantes citadas neste breve resumo, muito incompleto, são as que dizem respeito à utilização dos filmes na indústria aero-espacial.

Os discos dos computadores dos aviões de combate e das naves espaciais podem ser protegidos do impacto súbito nas cabeças de leitura provocado por falhas de energia acidentais ou por acelerações bruscas. Nos aviões de combate as janelas de detecção de infra-vermelhos são em geral de Germanio e são muito sensíveis às colisões com as micropartículas atmosféricas e com as gotas de chuva, que causam a sua rápida deterioração. O revestimento de diamante não só as protege como também, devido ao seu índice de refração, melhora a sua transparência aos infra-vermelhos.

Também nos periscópios dos submarinos o revestimento, além de proteger a janela,

diminui o atrito entre ela e a água permitindo que as gotas escorram com muita facilidade, melhorando por isso grandemente a visibilidade.

Nestes, como noutros casos, os filmes têm de obedecer a parâmetros muito precisos de deposição, o que leva a que sejam desenvolvidas técnicas altamente sofisticadas de produção destes filmes, técnicas essas que, na maioria dos casos, são segredos militares muito bem guardados.

Na Tabela II apresenta-se uma síntese de algumas aplicações juntamente com as características a que o filme tem que obedecer para satisfazer a aplicação respectiva.

TABELA II — Aplicações e requisitos necessários dos filmes de diamante para essas aplicações.

Aplicação	Requisitos
Revestimentos decorativos.	Dureza, transparência no espectro visível. Filmes policristalinos de grão médio.
<i>Tribologia:</i>	
Ferramentas de corte. Rolamentos. Revestimento de discos de computadores.	Dureza, resistência à corrosão, inertes quimicamente. Filmes policristalinos de muito fraca espessura, (100 Å) e pequeno grão.
<i>Óptica:</i>	
Revestimentos protectores de janelas de IV. Revestimentos anti-reflexão para janelas de Ge. Janelas de Rx.	Índice de refração $\approx 2$ , resistência às radiações, transparência no espectro visível. Filmes policristalinos de grão fino.
Electrónica.	Dureza, resistência à corrosão. Filmes policristalinos.
Dissipadores do calor para dispositivos de potência. Circuitos impressos.	Como acima, com alta conductividade térmica.

## A produção e os custos dos filmes

Há muitos processos de produzir filmes de diamante. Até se consegue produzi-los com um vulgar maçarico oxi-acetilénico [9]. A questão

não está tanto na sua produção, mas sim na qualidade, condições e custo do filme depositado em relação com a sua possível aplicação específica.

O desenvolvimento de técnicas de deposição adequadas a cada uma das futuras aplicações, leva a que sejam dedicados grandes investimentos à investigação conducente à obtenção das referidas técnicas, na perspectiva da conquista dos importantes mercados futuros.

Os russos foram os primeiros a conseguir produzir filmes, mas actualmente são os japoneses que lideram esta tecnologia a fim de poderem controlar o mercado futuro de muitos milhões de dólares que se antevê.

A Tabela III mostra uma perspectiva de alguns mercados potenciais a nível mundial.

TABELA III — Selecção de alguns mercados potenciais para os filmes de diamante, a nível mundial.

	1988	1991	1996
	(Milhões de dólares)		
Altifalantes	12	40	50
Ferramentas de corte	15	70	160
Protecção de elementos ópticos	5	55	70
Discos de computadores	—	15	75
Semicondutores comerciais	—	20	600
Total	32	200	955

(Fonte: Advanced Materials & Processes, Vol. 136, 2, p. 13, 1989)

Actualmente são utilizados muitos métodos de deposição, mas todos eles se baseiam essencialmente na decomposição de um, ou mais, hidrocarbonetos gasosos ou, de um modo geral, de compostos orgânicos contendo carbono. A estes reagentes adicionam-se grandes quantidades de hidrogénio, e por vezes também oxigénio ou outros gases, cuja principal função, depois de ionizados, é impedir a formação de grafite em vez de diamante. A percentagem de hidrogénio na mistura gasosa é da ordem dos 98 % ou mesmo mais. Na Ref.<sup>a</sup> [10] é dada uma excelente síntese dos métodos de produção de filmes.

Grande parte da investigação experimental, a nível mundial, incide na definição da com-

posição exacta da mistura gasosa a utilizar, das condições de pressão e temperatura desses gases, da temperatura da superfície a revestir, e no desenvolvimento de modelos de nucleação e crescimento dos filmes. Deve notar-se que uma grande percentagem das investigações consiste em estudos mais ou menos empíricos, dado que subsistem ainda muitos mecanismos mal esclarecidos do ponto de vista teórico.

Outros problemas ainda por resolver, qualquer que seja o método utilizado, são a melhoria da adesão dos filmes a substratos de composição variada e o abaixamento das temperaturas de deposição, de tal modo que seja possível, por exemplo, revestir plásticos.

Todos os métodos de deposição estão, portanto, actualmente em fase de aturada investigação científica, a fim de melhorar a qualidade e baixar o custo dos filmes produzidos. Actualmente, esse custo excede largamente, na maioria dos casos, os 15.000\$00/ /carat em contraste com 150\$00/carat dos diamantes sintéticos industriais. O processo de ionização do hidrogénio, indispensável para haver formação de diamante, contribui em grande percentagem para esse custo.

No seu diagnóstico e caracterização utilizam-se também equipamentos extremamente caros e complexos. Além disso, torna-se necessária a colaboração de técnicos e cientistas altamente especializados, visto que a interpretação dos resultados das análises qualitativas e quantitativas do produto depositado, não é, de modo nenhum, trivial.

Refira-se, por fim, que o diamante não é o único material com um papel preponderante no futuro, quanto às aplicações acima descritas. De facto investigam-se hoje outros materiais que, eventualmente, poderão ter características ainda mais extraordinárias que o diamante. Um desses materiais é o nitreto de boro cúbico, c-BN, de propriedades semelhantes, em muitos aspectos, às do diamante. Essas investigação está, no entanto, ainda numa fase incipiente.

### A investigação possível em Portugal

Embora não possa haver qualquer pretensão de competitividade a nível de liderança

dos processos, seria possível, em princípio, fazer alguns estudos paramétricos de condições de deposição que contribuíssem para o esclarecimento de alguns aspectos, ainda obscuros, do seu mecanismo. Para isso poder-se-ia, por exemplo, utilizar um dos métodos já clássicos de deposição que consiste na decomposição do metano por um filamento aquecido a elevada temperatura; este método, representado esquematicamente na Fig. 2, é relativa-

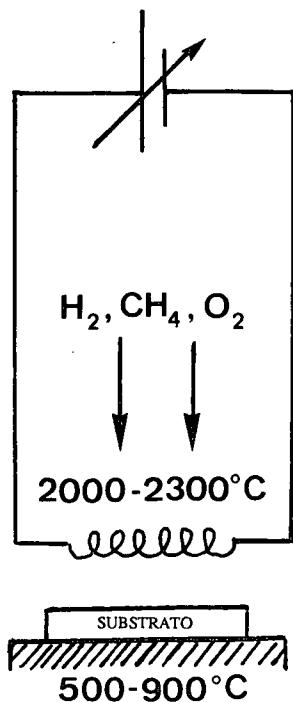


Fig. 2 — Esquema do método de deposição por filamento quente. Os gases reagentes são decompostos pelo filamento aquecido a elevada temperatura. O substrato pode ser aquecido directamente pelo próprio filamento, ou indirectamente por um aquecedor suplementar incorporado no porta-amostras.

Não está representado o sistema de vácuo.

mente barato, está bem estabelecido, e não é, na sua forma básica, muito complicado.

De facto, mesmo num método tão simples como este, há um número enorme de parâmetros relevantes que, em princípio, são susceptíveis de ser variados independentemente uns dos outros, de modo a otimizar as con-

dições de deposição. Segue-se uma lista de alguns desses parâmetros:

- A composição do filamento;
- O aquecimento do filamento; AC ou DC;
- A temperatura do filamento;
- A dimensão e geometria do filamento;
- A composição do substrato;
- A temperatura do substrato;
- A dimensão e geometria do substrato;
- A distância do filamento ao substrato;
- As pressões totais e parciais dos gases;
- A temperatura dos gases;
- O débito do fluxo dos gases;
- A geometria do fluxo dos gases;
- O gradiente de temperatura dos gases acima do substrato;
- O gradiente de temperatura dos gases junto do filamento;
- O grau de pureza dos gases;
- A utilização de hidrocarbonetos líquidos, em vez de gases;
- A polarização, ou não, do filamento em relação ao substrato.

A afirmação de que todos estes parâmetros são, na realidade, independentes é, na verdade, redundante. Um exemplo simples mostra que, de facto, assim é.

Consideremos, com efeito, o último parâmetro da listagem anterior. É óbvio que, mesmo sem polarização deliberada, há sempre uma queda de tensão ao longo do filamento que é proporcional ao seu comprimento. Assim uma das extremidades do filamento estará sempre mais polarizada que a outra em relação ao substrato e, conseqüentemente, deveria observar-se uma variação assimétrica na taxa de crescimento dos filmes, de acordo com os resultados da literatura que sustentam um aumento dessa taxa devida à polarização deliberada do filamento. Ora não há qualquer indício, mesmo muito ténue, que isso se verifique, o que põe em dúvida se o aumento da taxa de crescimento se deve efectivamente à polarização ou a outro efeito qualquer.

O que se passa é que qualquer alteração na polarização vai reflectir-se necessariamente na temperatura dos gases, nos gradientes de temperatura, na temperatura do filamento, etc.

Foram publicados resultados atribuindo aumentos de taxa de crescimento ao facto de haver polarização, tendo-se verificado posteriormente que esses aumentos eram devidos ao aumento de temperatura do substrato resultante de um efeito colateral.

Um outro método que seria interessante investigar, pela sua aparente simplicidade, é o método do maçarico oxi-acetilénico já referido e representando esquematicamente na Fig. 3.

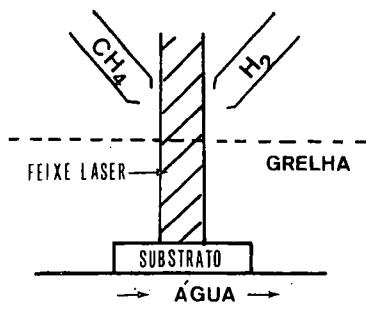


Fig. 3 — Desenho esquemático do método do maçarico oxi-acetilénico. A circulação de água controla a temperatura do substrato.

Em particular, no caso da Ref.<sup>a</sup> [9], um dos substratos utilizados é o TiN cujos estudos de deposição por LCVD (Laser induced Chemical Vapor Deposition) decorrem no Departamento de Física da FCL. Neste caso também seria possível um estudo paramétrico das condições de deposição.

Sobre as possibilidades de depositar filmes de diamante utilizando um laser é interessante mencionar um dos exemplos mais ilustrativos do que se descreveu atrás sobre a publicação precipitada de resultados científicos, pelo menos no que diz respeito a assuntos de grande impacto tecnológico.

Em 1986 foi anunciado que, pela primeira vez, se tinha conseguido o crescimento de filmes de diamante a partir da multifotoionização do acetileno com um laser excímero de ArF [11]. No entanto, num artigo posterior dois anos depois, um dos autores desmentiu esse facto invocando incorrecções na análise do produto depositado e apresentando desculpas formais à comunidade científica por a ter induzido em erro e levado à realização de

experiências sem qualquer probabilidade de êxito. O que acontece é que as energias exigidas para a deposição de diamante por multifotoionização teriam de situar-se várias ordens de grandeza acima dos valores utilizados na experiência inicial [12].

Ainda sobre as possibilidades de produzir diamante utilizando um laser, deve referir-se que elas são reais, e já foram fabricados diamantes sintéticos desse modo [1]. Mas esses métodos são, em rigor, métodos de altas pressões e temperaturas, baseados no diagrama de fases da Fig. 1, e não parecem ser aplicáveis à produção de revestimentos.

Uma experiência que seria interessante tentar consistiria em usar um esquema semelhante ao representado na Fig. 4. Aqui o laser serviria para aquecer tanto a grelha, que desempenharia o papel do filamento, como, simultaneamente, o substrato.

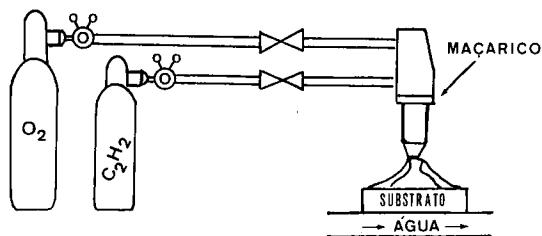


Fig. 4 — Sugestão de experiência utilizando um laser. A grelha desempenha um papel idêntico ao do filamento, na decomposição dos reagentes. O substrato é aquecido pelo feixe, após este atravessar a grelha, sendo a sua temperatura controlada pela circulação de água.

Tomando como modelo, por exemplo, o laser de CO<sub>2</sub> utilizado no equipamento de LCVD do Departamento de Física da FCL, o número de parâmetros que se poderiam variar seria também grande: potência do laser, funcionamento em contínuo ou pulsado, focalização e diâmetro do feixe, tempos de disparo, etc.

Quanto aos outros parâmetros, eles seriam idênticos aos referidos anteriormente para o método do filamento: material e malhagem da grelha, distâncias grelha-substrato, reagentes (produzem-se filmes utilizando álcool etílico e acetona), pressões e temperaturas, etc.

## Conclusões

Vê-se que há ainda muitas experiências simples a realizar antes de se poder tirar conclusões seguras acerca das potencialidades exactas destes e de muitos outros métodos, alguns dos quais se encontram já em fase de rotina de produção.

É evidente que qualquer estudo deste género em Portugal terá de ser conduzido no âmbito de um programa mais vasto de engenharia e tecnologia de superfícies, visto que, tanto os processos de produção como, e talvez principalmente, os métodos de diagnóstico e análise dos revestimentos, exigem grandes investimentos financeiros e humanos não compatíveis com acções isoladas, como aliás acontece actualmente com qualquer tipo de investigação científica, mesmo nos países mais desenvolvidos.

Tudo parece indicar, no entanto, que é também nesse sentido de cooperação que se caminha agora em Portugal.

## REFERÊNCIAS

- [1] EVERSOLE, W. G. — U. S. Patent No 3030187 (1958).
- [2] BROWNE, M. W. — *New York Times, Science*, (October 1988).
- [3] KOIDL, P. — *1st Int. Symp. on «Diamond and diamond-like films»*, Los Angeles, U. S., May 7-12 (1989).
- [4] LIU, A. Y. *et al.* — *Science*, **245**, p. 841 (1989).
- [5] ANTHONY, T. R. *et al.* — *Phys. Rev. B*, **42**, 2, p. 1104 (1990).
- [6] COLLINS, A. T. — E. M. R. S. Proceedings 1990 Fall Conference, Strasbourg, France, November 27-30 (1990).
- [7] YODER, M. N. — NATO ASI Proceedings, «Diamond and diamond-like films and coatings», Pisa, Italy, July 22 — August 4 (1990).
- [8] JONES, B. L. — E. M. R. S. Proceedings, Reg. [6].
- [9] HIROSE, Y. *et al.* — *J. Appl. Phys.*, **68** (12), p. 6401 (1990).
- [10] ANTHONY, T. R. — NATO ASI Proceedings, Ref. [7].
- [11] KATSUKI, K. *et al.* — *Appl. Phys. Lett.*, **41** (11), p. 634 (1986).
- [12] KATSUKI, K. — *Appl. Phys. Lett.*, **53** (19), p. 1812 (1988).
- [13] FEDOSEEV, D. V. *et al.* — *Carbon*, **21**, 3, p. 237 (1983).

## USO DO LABORATÓRIO DE ELECTRÓNICA NO ENSINO SECUNDÁRIO

A pedido da Comissão Redactorial da revista da Associação Italiana para o Ensino de Física «La Física Nella Scuola», inserimos a seguinte informação:

A revista «La Física Nella Scuola» dedicou o número especial de Abril - Junho 1990 a diversos aspectos ligados à utilização do Laboratório de Electrónica no Ensino Secundário:

- Investigação didáctica
- Simulação e Modelização
- O laboratório na investigação experimental
- Valorização do software
- O plano nacional de informática
- Exemplos de aplicação no ensino secundário
- Listagem do software existente
- Informação sobre experiências noutros países: Países Baixos, Alemanha e França

Este número especial, de 170 páginas (custo 10.000 Liras italianas), pode ser obtido de: Dr. Marisa Michelini, Dipartimento di Fisica, via Campi 213/A, 41100 Modena (Itália).

★

## Quotas da SPF

*Prezado sócio: se ainda não pagou as suas quotas para o ano de 1991, agradecemos que o faça o mais rapidamente possível junto da respectiva Delegação.*

*Assegurar-se desta forma melhores condições para o planeamento e expansão das actividades da Sociedade, bem como a recepção regular da Gazeta de Física.*

*Quotas: não estudantes ... 2000 Escudos  
estudantes ..... 750 Escudos*

# Inovações na Educação Científica e Tecnológica

## I. Modelos Curriculares para um Curso de Tecnologia (\*)

ANABELA MARTINS

Royal Danish School of Educational Studies, Dep. Physics,  
Emdrupvej 115 B, DK — 2400 Copenhagen NV, Denmark

*Participar na Segunda Conferência Nórdica sobre Educação Científica e Tecnológica na Finlândia em Agosto de 1989, sobre o tema «Innovations in Science and Technology Education» despertou uma enorme necessidade de dialogar sobre este assunto com outros professores e sobretudo, de dar a conhecer alguns dos numerosos trabalhos e projectos em curso em diversos países e organizações internacionais relacionados com este tema.*

*Neste artigo, depois de uma apresentação de diversas definições de Tecnologia, descrevem-se dois modelos curriculares para um curso de Tecnologia como disciplina autónoma (movimento recente em alguns países europeus), algumas considerações sobre problemas e perspectivas da Formação de Professores de Ciência e Tecnologia e, finalmente, uma descrição sucinta de recomendações e resoluções de conferências recentes na área da Educação Científica e Tecnológica. Apresenta-se também uma lista não exaustiva de bibliografia e instituições ou organizações ligadas ao desenvolvimento e inovação naquela área, para informação e possível uso dos professores das escolas secundárias.*

### 1. A Educação Científica e Tecnológica. Definições de Tecnologia

Em Portugal como em outros países europeus, a educação científica, praticamente inexistente no Ensino Primário, muito reduzida no Ensino Básico Elementar (antigo Ciclo Preparatório) e orientada principalmente para a preparação de alunos para a Universidade ou outros cursos superiores, no Ensino Secundário, tem sido, de qualquer modo predominante sobre a educação tecnológica, sobretudo desde 1974. O desaparecimento das Escolas Técnicas Comerciais e Industriais criou um vazio que só recentemente está a ser recuperado, com a criação das novas escolas técnicas e profissionais, finda a escolaridade obrigatória. Mesmo a criação de disciplinas opcionais de carácter prático desde o 7.º ano da escolaridade obrigatória, tais como a Mecanotecnia, a Electrotecnia, a Quimicotecnica, Madeiras, Têxteis, Práticas Administrativas, Arte e Design, Música, Economia Doméstica, Jornalismo, Saúde, Computadores, etc., não prepararam os alunos

para actividades práticas, como seria de esperar de tais disciplinas. E isto deve-se basicamente, à falta de oficinas de trabalho, laboratórios, recursos materiais e equipamento na maioria das escolas, deixando aos professores a alternativa teórica em cadeiras como a mecanotecnia ou a electrotecnia. Este estado de coisas, veio contribuir para o aumento do «enciclopedismo científico», da vertente científica, já em si tão pouco experimental e prática, com a agravante de, em certos casos, ser uma abordagem repetitiva e/ou desfasada do currículo de outras disciplinas afins, como a Física e a Química, pois os professores são em geral técnicos ou engenheiros e não professores de ciências.

Na grande maioria dos países da CEE, sobretudo na Inglaterra e Alemanha e, de certo modo, nos países nórdicos, o sistema educacional tem uma grande tradição da componente técnica. Na Dinamarca e Suécia, por exemplo, a escolaridade básica unificada desde

---

(\*) A parte II deste artigo será publicada em próximo número da Gazeta de Física.

os 7 até aos 16 anos de idade existe desde 1976, com um ano opcional pré-escolar e um 10.º ano opcional também, para alunos com dificuldades de aprendizagem. Mas a educação tecnológica sob a forma de disciplinas práticas como madeiras (carpintaria), têxteis, economia doméstica e outras tarefas directamente relacionadas com a vida prática tais como, tratar de uma bicicleta, pintar e isolar a casa, etc., têm mais de 50 anos de existência. Durante os anos 60 e 70, mudanças radicais marcaram os sistemas educacionais nos países nórdicos, como por exemplo a criação das escolas de formação técnica e vocacional, em grande parte para acompanhar o desenvolvimento industrial, mas também porque através de um grande consenso nacional se decidiu que a educação a todos os níveis deveria ajudar a remover barreiras sociais e preparar os jovens como futuros cidadãos numa sociedade democrática. Finda a escolaridade básica, os alunos podem continuar com a educação secundária complementar (10.º, 11.º e 12.º) no «Gymnasium» (antigos liceus) ou nas escolas vocacionais e técnicas (aprendizes, educação básica vocacional e cursos que preparam para um exame básico técnico e comercial), seguida da educação superior ou superior média. Esta educação para a vida continua, mesmo para aqueles que abandonam a escola ou não seguem cursos técnicos e passa a ser ministrada pela municipalidade em cursos nocturnos na chamada «Natskolen» (escola da noite) ou na «Folk-Højskole» (universidade para o povo), nas quais todos os indivíduos com mais de 18 anos podem assistir a uma variedade enorme de cursos práticos desde a aprendizagem de línguas estrangeiras, pintura e história até ao aprender a cozinhar, carpintaria, têxteis, etc.

Em Portugal, as ligações entre a educação na escola e a tecnologia e a vida do dia a dia são muito ténues e insuficientemente definidas, dependendo sobretudo dos recursos disponíveis e da boa vontade dos professores de ciências e áreas vocacionais. Os alunos aprendem muito pouco sobre o como fazer coisas de interesse prático fora do «laboratório da escola» ou como aplicar os conhecimentos teóricos na

resolução dos problemas reais com que deparam todos os dias. Em Portugal, tal como na maioria dos países da CEE, é uma prática comum assumir que a educação tecnológica está associada às ciências aplicadas e trabalhos manuais. De certo modo, quase tudo o que fazemos na vida diária, desde o simples manipular do botão do aparelho de televisão, ao uso do «automático picar» dos bilhetes dos transportes públicos ou gravação de uma «cassette» ou uso do computador pessoal, tem a ver com a tecnologia, mas muito pouco é ensinado na escola. Sendo a tecnologia um assunto constantemente presente na vida do dia a dia, não tem, no entanto, história como assunto independente reconhecida nas escolas, i.e., não tem sido entendida tendo em atenção a sua natureza, como assunto académico com estruturas progressivas de aprendizagem. Mas confundir-se tecnologia com educação vocacional e equacioná-la no ensino das disciplinas referidas no 1.º parágrafo deste ponto é uma abordagem reducionista do problema.

Pelo facto de a tecnologia estar ligada àqueles que produzem trabalho manual enquanto que a educação é controlada por aqueles que não o fazem, tende-se a dar à tecnologia um estatuto menor do que o da ciência. Sendo o progresso em geral e a certos níveis, medido mais pelo desenvolvimento tecnológico do que científico, pode ser argumentável o facto de a humanidade poder «também progredir» sem as ciências experimentais em muitas áreas ou o facto de saber até que ponto um exagerado desenvolvimento tecnológico pode vir a contribuir para a destruição da própria humanidade. Mas será o desenvolvimento tecnológico possível sem as descobertas da ciência ou estas possíveis sem o desenvolvimento tecnológico? «Como fazer isso?» ou «Como fazê-lo melhor?» não serão questões tão importantes como «Como é que isto funciona?» ou «Quais serão as implicações sociais e técnicas de uma descoberta científica?» Toda a gente é capaz de utilizar a televisão ou o telefone ou a máquina de lavar a roupa mas poucas são aquelas que sabem explicar como é que tais aparelhos

funcionam ou as melhores condições de funcionamento e poupança de energia, aspectos fundamentais nas sociedades actuais dada a permanente crise energética e ambiental. Mas é possível «fazer coisas» sem ser necessário explicá-las.

A educação tem de ter em consideração, para cada estágio, a dupla função de preparar os jovens para estudos superiores e para a vida e mundo do trabalho. Tradicionalmente os sistemas educativos europeus estabelecem uma distinção clara entre os dois tipos de educação, associando educação científica com a primeira função e educação tecnológica com a segunda. As razões desta separação são complexas, sendo necessária uma detalhada análise histórica do estabelecimento de estudos vocacionais/técnicos por um lado e académicos por outro, o que está fora do âmbito deste artigo. Poderemos, no entanto, dizer que as duas áreas educacionais, científica e tecnológica, cada uma é uma faceta da outra e, a sua separação precoce pode trazer efeitos indesejáveis, não só na qualidade da educação geral básica como um todo, mas também na quantidade de oportunidades disponíveis para o desenvolvimento adequado de cada criança ou jovem. A forma como as sociedades actuais estão a ser governadas implica uma necessidade crescente de técnicos, mas cuja preparação básica seja comum e com características humanistas. Este aspecto estrutural não é contraditório com a necessidade de delimitação tão clara quanto possível de ambos os tipos de educação, dado o incessante desenvolvimento quer de uma quer de outra área e a necessidade dessa clarificação junto dos professores.

O problema da educação científico/tecnológica para a escolaridade obrigatória deve ser abordado sem referir em primeiro lugar, a complexidade do conceito de Tecnologia e os objectivos educacionais a ele associados.

#### *Como definir então Tecnologia?*

Num recente simpósio internacional organizado pela UNESCO sobre «O Ensino da Tecnologia dentro do contexto da Educação

Geral Básica» (Paris, 1985), os participantes acordaram na seguinte definição:

*«Technology is the know-how and the creative process that may utilize tools, resources and systems to solve problems, to enhance control over the natural and man made environment, in an endeavour, to improve the human condition».*

- Assegurar o equilíbrio entre o saber fazer, a teoria e a prática, a cultura escolar e a cultura do quotidiano;
- Valorizar a dimensão humana do trabalho;
- Desenvolver a aquisição de conhecimentos básicos que permitam tanto a continuação de estudos como a inserção do aluno em esquemas de formação profissional.

Existem vários problemas quando se fala de tecnologia, dos quais citaremos apenas dois:

1—O conceito de tecnologia entre os professores depende geralmente e em primeiro lugar da sua formação inicial: para os professores com formação básica de natureza técnica, a tecnologia consiste essencialmente «no conjunto de capacidade relacionadas com futuras actividades vocacionais (artes industriais)»; para os professores com formação básica de natureza científica, a tecnologia é essencialmente «uma ciência aplicada»; para os professores das chamadas humanidades e ciências sociais, a tecnologia «está fora do seu âmbito de actividades». Enquanto que os professores de ciências experimentais, sobretudo os que têm formação profissional, têm em geral uma formação social e humanista (Ramos Educacionais, História da Ciência, Sociologia, Psicologia, etc.), os professores de ciências sociais ou humanidades têm na sua formação inicial uma ausência total de formação básica quer científica quer tecnológica. Nos sistemas educacionais dos países nórdicos, os alunos da linha «Humanidades ou Letras» têm como assuntos obrigatórios no seu currículo até ao 12.º ano, Matemática e uma disciplina de

Ciências, bem como opções técnicas, tal como os alunos de ciências têm Literatura, Filosofia, Psicologia, História de Ciências e Tecnologia, etc.

2 — A disparidade e/ou profusão de diversos conceitos de tecnologia e ciência que aparecem nos livros de texto dos alunos, «mass media» ou em livros escritos por especialistas e o conceito de que a Tecnologia é o estudo das ciências aplicadas, tal afirmação não é correcta se pensarmos, por exemplo, que a máquina a vapor foi descoberta antes do estabelecimento da Termodinâmica como «ciência da energia» ou que a lei de Ohm só passou a ter verdadeiramente importância quando o telégrafo foi inventado. A Física do Estado Sólido ou a Fusão Nuclear são duas áreas nas quais a Ciência e a Tecnologia se desenvolvem paralelamente, não sendo possível dizer onde começa uma e acaba a outra ou se uma predomina sobre a outra; o mesmo se passa por vezes em certas áreas da Medicina e da Astronáutica. Ao longo dos tempos é fácil observar que umas vezes a Tecnologia antecede a Ciência e outras vezes se verifica o contrário.

Vejamos alguns exemplos de definições de Tecnologia compilados por William Dejjsselberg, Hogeskole Katholieke Leergagen, Tilburg, the Netherlands (1988):

- Definiremos tecnologia, pelo menos agora, como o uso do conhecimento, meios e capacidades de resolver problemas e melhorar as capacidades humanas (Todd *et al.*, 1985);
- Tecnologia é o uso do conhecimento para a transformação dos recursos em bens e serviços que a sociedade necessita (Hackor and Bardon, 1988);
- Tecnologia é a soma de todo o conhecimento humano usado para transformar os recursos de forma a satisfazer as necessidades humanas:
- o processo do fazer com que as coisas funcionem melhor;
- a estratégia para a sobrevivência da nossa espécie;
- os meios pelos quais o homem controla e modifica o ambiente natural;
- a aplicação prática do conhecimento teóricos (como a ciência);

- a aplicação do conhecimento e o conhecimento da aplicação (Melvin Kranzenberg);
- a grande e crescente máquina da mudança (Alvin Toller);
- um processo disciplinado que usa recursos científicos, materiais e humanos para atingir objectivos de desenvolvimento humano;
- a utilização dos principais meios para adaptação o meio ambiente.
- Os objectivos da educação tecnológica são aprender a compreender como é que a tecnologia pode ajudar-nos a melhorar as coisas que nos rodeiam, formular opiniões acerca dos usos e abusos da tecnologia e a manusear e resolver problemas reais da nossa sociedade;
- A educação tecnológica é o estudo da natureza de sistemas adaptativos para incluir os seus elementos básicos (meios, recursos, energia, informação e seres humanos); o crescimento daqueles sistemas; o uso de conhecimento e meios técnicos na resolução de problemas práticos; e os impactos destes elementos, sistemas e actividades nos indivíduos, sociedade e cultura (Todd, 1987);
- Tecnologia é um processo de resolução de problemas que tem como metas, o melhoramento da qualidade de vida humana tendo como ponto de partida, as necessidades humanas e como companheiros contínuos, os recursos e limitações do conhecimento humano e dos recursos naturais ((Page, 1988);
- Tecnologia é o campo da actividade do homem, baseado no conjunto de conhecimentos e capacidades através do qual o homem proporciona a si próprio os meios para adaptação do ambiente às suas necessidades, no seu próprio interesse e no interesse da sociedade (SLO, 1986, Netherlands).

Entre abordagens sistémicas ou centradas na resolução de problemas não é fácil encontrar uma única definição de Tecnologia como não é possível encontrar uma só definição de Ciência. No entanto, é necessário chegar a uma definição básica, antes da elaboração de um currículo ou do planeamento de cursos de formação de professores de ciências e tecnologia. Olhar atentamente as mudanças tecnológicas dos últimos 100 anos ajudarnos-á na decisão de qual será a definição mais adequada a utilizar na formação quer inicial quer contínua de professores para as actuais e futuras gerações de jovens. Isto não é novo se pensar-

mos que muitos de nós fomos ensinados nos anos 50/60 por professores preparados nos anos 20/30 ou talvez ainda antes e, que temos de educar neste momento, jovens que serão adultos nos anos 2000 (séc. XXI).

Ficaremos por agora, no âmbito deste artigo, com a definição de Tecnologia adoptada pela UNESCO no simpósio sobre «O Ensino da Tecnologia dentro da Contexto da Educação Geral (Básica)».

## 2. Modelos Curriculares para um Curso de Tecnologia considerando esta como disciplina autónoma

### Modelo de G. B. Harrison

O professor G. B. Harrison, da Trent Polytechnic School em Nottingham, Inglaterra, começou por analisar os vários aspectos da natureza da Tecnologia afim de obter os fundamentos da educação tecnológica e da formação de professores de ciência e tecnologia (Fig. 1).

Harrison está representado na Fig. 2. É um modelo generalizado e o seu uso como indicador imediato para uma educação tecnológica é questionável. O modelo não é aqui discutido em detalhe, mas focar-se-ão apenas os três aspectos fundamentais necessários a um planeamento curricular:

- a) o **PROCESSO** central da Tecnologia na identificação e resposta a necessidades humanas;
- b) as **METAS** que a Tecnologia se propõe atingir;
- c) os **RECURSOS** de conhecimento, capacidades e qualidades pessoais necessários para atingir as metas propostas.

Por exemplo, os processos de elaboração de um projecto base e a resolução de problemas são usados por vezes como modelo completo para um curso para alunos, durante o qual estes têm de resolver problemas sem qualquer forma de progressão lógica quer no processo

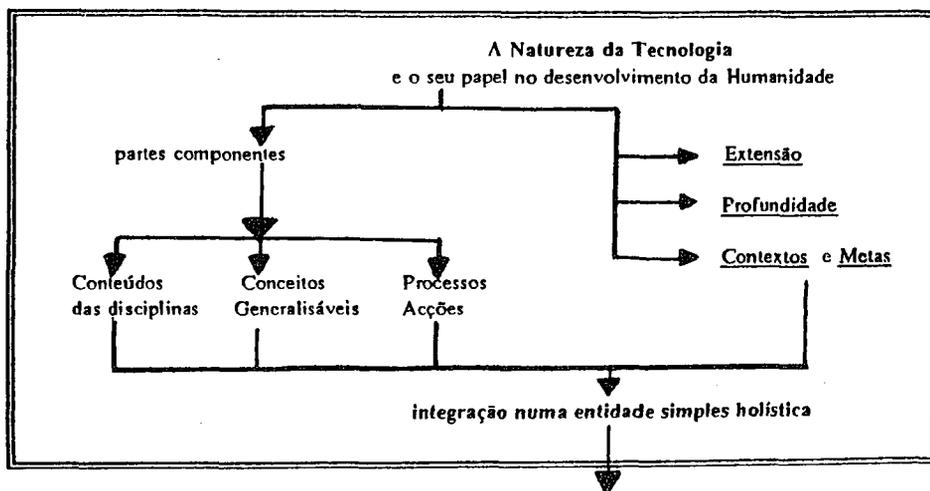


Fig. 1 — Aspectos da natureza da Tecnologia.

Isto requer a elaboração de um modelo sobre a complexidade do conceito de Tecnologia o qual possa ser usado como estrutura padrão de forma a relacionar não só as componentes umas com as outras, mas também a mostrar um padrão geral de interacção. Um dos modelos convencionais adoptado por

quer na aquisição de recursos, conhecimentos ou capacidades. Por outro lado, pode também planear-se um curso centrado apenas numa área específica, por exemplo, a electrónica, a qual será ensinada como ciência sem nunca ser usada para tomar decisões que impliquem acção. Outros cursos de Tecnologia, podem

ainda ser planeados para analisar as formas como a Humanidade no passado e presente atingiu tão elevado grau de desenvolvimento. Todas estas três abordagens podem ser utilizadas, mas cada uma por si só não representa a Tecnologia.

semos superficialmente a extensa gama de aplicações tecnológicas nestas áreas (Fig. 3).

*Resumindo:*

— a Tecnologia não é uma ilha, deve ser vista numa abordagem holística;

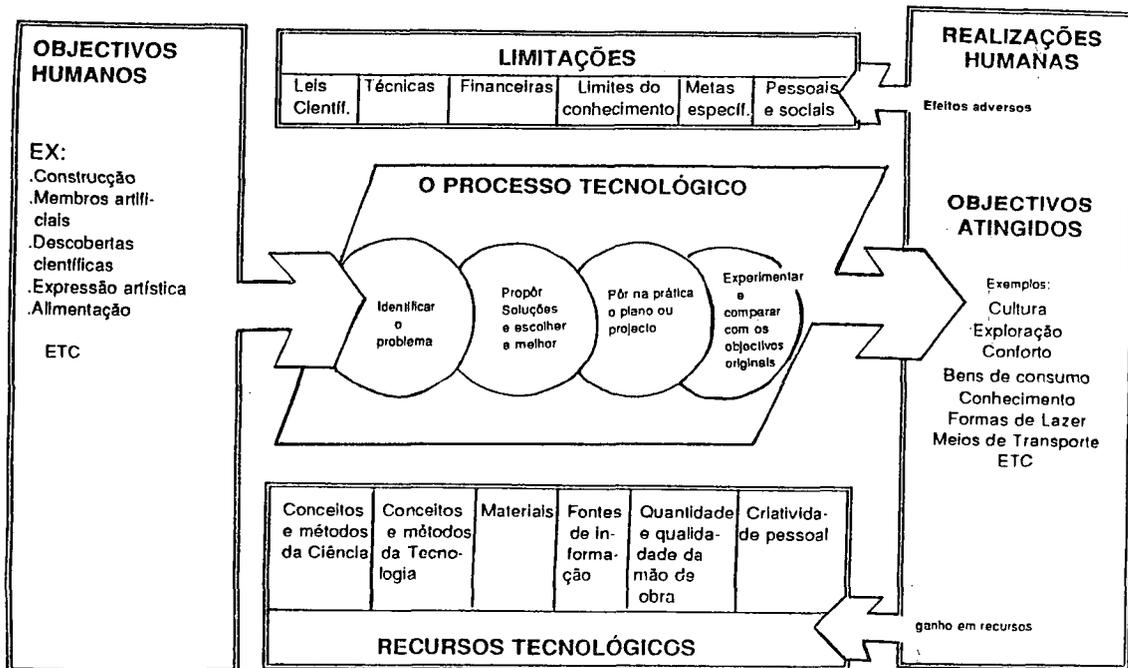


Fig. 2 — Um modelo para o conceito de Tecnologia (Project Technology, 1970, G. B. Harrison in «Basic Principles of School Technology, 1988, p. 487).

Olhando a tecnologia de uma forma holística (acentuando a importância do todo e a interdependência das partes; uma visão holística mostra um todo que é muito mais do que a simples soma das partes) vejamos em primeiro lugar alguns exemplos de contextos onde a tecnologia é essencial:

- Transporte
- Construção
- Comunicação
- Defesa
- Alimentação
- Manufaturas
- Medicina
- Casa
- Segurança
- Desporto
- Saúde
- Artes, etc.

De todos estes contextos onde a tecnologia desempenha um papel de liderança, tomemos como exemplo, a Casa e a Medicina, e anali-

- a Tecnologia influencia todas as áreas da actividade humana (e cada disciplina na escola);
- cada disciplina do currículo escolar pode contribuir potencialmente para o conceito global de tecnologia;
- os objectivos educacionais da tecnologia nem sempre são abordados em outras disciplinas.

Com base nestes aspectos, pode afirmar-se que o ensino da tecnologia necessita de ser feito progressivamente numa disciplina independente e claramente articulada com as outras áreas específicas do currículo escolar e por professores especialmente preparados para esse fim.

## A TECNOLOGIA NA CASA

### VIVER

*Família* { Relações pessoais } Local, Regional  
 { Comunidade }

### HABITAÇÃO

*Estrutura* { Edifícios } Pré-fabrico  
 { Construção } Isolamento  
 { Materiais } Aquecimento e Decoração

*Aquecimento* { Fontes de Energia } Gás, Electricidade,  
 { } Petróleo, Solar,  
 { } Eólica, Geotérmica, etc.

*Ventilação* { Controle atmosférico

*Alimentação* { Cozinhar } Controle e Energia,  
 { Electrodomésticos } Eficiência e Economia  
 { Dietas }

*Segurança* { Controle } Sensores de infra-vermelhos  
 { de Entradas } Sensores ópticos

Alarmes contra roubos

*Custos*

### SERVIÇOS

*Saúde ambiental* { Controle do Ambiente  
 { Economia

Sistemas de aquecimento

Distribuição de gás, água e electricidade

Conservação de energia

Manutenção e reparação de edifícios e equipamento

Comunicação e entretenimentos (Rádio, TV, Satélite, Telefone, Estereo, Vídeo, Compact Disc, etc.)

Economia

Instrumentos de controle e medida

## A TECNOLOGIA NA MEDICINA

### SOBREVIVÊNCIA

*Medicina Preventiva*

*Saúde Pública* { Sistemas de controle,  
 { Economia, Engenharia Sanitária

*Epidemias*

### SAÚDE

*Diagnóstico* { Raios X, laser, RMN,  
 { endoscópios, termómetros,  
 { infra-vermelhos, ultra-sons, etc.  
 { Sistemas de controle  
 { e manutenção dos instrumentos

*Medicamentos* { Controle da doença  
*Tratamento* }

*Cirurgia* { Sistemas de monitorização,  
 { bio-engenharia, controle  
 { de infecção,  
 { sistemas de substituição,  
 { instrumentos para operar

*Terapias* { Radioterapia, fisioterapia, etc.

### SERVIÇOS

*Hospitais* { Sistemas, Energia, Economia

*Ambulâncias* { Sistemas, Comunicação, Energia

*Investigação* { Mão-de-obra, Economia

*Educação* { Médicos, Enfermeiras, Técnicos,  
 { Administradores, etc.

*Suporte* { Ajuda a deficientes

Fig. 3

G. B. Harrison sugere que, mais ou menos arbitrariamente, se pode escolher um ou mais contextos e usá-los como base para um curso de Tecnologia, o qual deve ser holístico em termos de metas, processos e recursos. Um dos principais objectivos da educação tecnológica deve ser, ajudar os alunos a enfrentarem o futuro desconhecido. Como professores, não podemos antecipar qual o tipo de problemas que necessitam soluções tecnológicas, que os alunos terão de enfrentar. Contudo, se a educação tecnológica se basear em contextos reais e for desenvolvida de tal maneira que as competências e capacidades desenvolvidas possam ser transferíveis para novos contextos e os alunos ajudados a procurar situações originais e desafiadoras, então será possível prepará-los para se adaptarem a situações novas no futuro.

**Quais serão os aspectos comuns aos contextos mencionados que possam vir a fazer parte de qualquer curso de tecnologia?**

Apresentam-se na Fig. 4, alguns desses aspectos agrupados em 4 categorias: Visão global, Conceitos Gerais e Métodos, Conhecimentos e Técnicas específicas de cada contexto e ainda, Processos, Acções e Competências. Embora se apresentem independentemente do contexto não devem nunca ser desenvolvidos fora de um determinado contexto, o qual permitirá proporcionar as chaves para novos e imprevisíveis contextos.

Visão global	Conceitos generalizados	Conhecimentos e técnicas específicas	Processos, acções e competências
<p><i>História e Futuro</i></p> <p><i>Objectivos, valores e conflitos</i></p> <p><i>Controlo</i></p> <p>    pessoal</p> <p>    local</p> <p>    nacional</p> <p>    mundial</p> <p><i>Economia</i></p> <p>    recursos</p> <p>    capital/trabalho</p> <p>    política</p> <p>    emprego</p> <p><i>Cultura</i></p> <p>    individualidade</p> <p>    humana e cooperação</p> <p>    dependência/interdependência</p> <p>    empreendimento</p> <p>    aproveitamento</p> <p><i>Estética</i></p> <p>    intrínseca</p> <p>    extrínseca</p>	<p><i>Materiais</i></p> <p>    fonte</p> <p>    recursos</p> <p>    extracção</p> <p>    custo</p> <p>    economia</p> <p>    produção</p> <p>    processo</p> <p>    propriedades</p> <p><i>Energia</i></p> <p>    fontes</p> <p>    recursos</p> <p>    extracção</p> <p>    custos</p> <p>    economia</p> <p>    produção</p> <p>    processos</p> <p>    propriedades</p> <p><i>Informação</i></p> <p>    conceitos</p> <p>    manifestação</p> <p>    língua</p>	<p>Materiais</p> <p>Estruturas</p> <p>Electricidade</p> <p>Termodinâmica</p> <p>Aeronáutica</p> <p>Instrumentos</p> <p>Física</p> <p>Biologia</p> <p>Química</p> <p>Dietética</p> <p>Fertilizantes</p> <p>Genética</p> <p>Medicina</p> <p>Radiação</p> <p>Etc.</p>	<p>Identificação de necessidades</p> <p>Juízos de valor</p> <p>Pensamento criativo</p> <p>Planeamento</p> <p>Execução</p> <p>Reflexão</p> <p>Avaliação</p> <p>Etc.</p>

Fig. 4 — Aspectos de um Curso de Tecnologia comuns a vários contextos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARELSE, X. F. — *Technology Education in Relation to Science Education* in «Innovations in Science and Technology Education, Vol. II, pp. 101-112, UNESCO, Paris (1988).
- CORTE-REAL, L. — *Environmental Education—A Project Work done in a Secondary School in Portugal*. in Proceedings of «Teaching Chemistry at Low Cost», UNESCO Workshop, Karlslunde Strand, Denmark (1988).
- FOSTER, S. — *Streetwise physics*. «School Science Review», Setembro 89, 75 (254), pp. 15-21 (1989).
- HARRISON, G. B. — *Teachers for Technology* in Raat J. & al, «Basic Principles of School Technology», pp. 485-508, Report of PATT 3 Conference, Eindhoven University of Technology, the Netherlands (1988).
- KAMPMAN, J. — *Skolehistorie i Danmark*. Royal Danish School of Educational Studies (1989).

- KAHN, M. — *Physics in a technological context*. School Science Review, Setembro 89, 75 (254), pp. 9-13 (1989).
- Lei de Bases do Sistema Educativo, 1986.
- LEWIS, J. L. — *Science and Technology and Future Human Needs*. Pergamon Press (1987).
- MARTINS, A. — *In Service Teacher Training for Physics and Chemistry Teachers in Portugal*, estudos prévios de tese de doutoramento não publicados (1989).
- MOURÃO, C., RMINHO, J. — *A Educação Tecnológica na Escolaridade Obrigatória*. Gabinete de Estudos e Planeamento, Ministério da Educação, Lisboa, Portugal.
- Proceedings da 2<sup>nd</sup> Nordic Conference in Science and Technology Education—Innovations in Science Education. Heinola, Finland, August 1989.
- Proceedings da «Internation Foundation for School Improvement—The Dutch case», the Netherlands, Junho 1989.

# Ideias dos alunos sobre o conceito de som

M. H. CALDEIRA, M. E. COSTA, M. A. PATRÍCIO, A. PINTO, E. M. PRATA PINA,  
M. C. RUIVO e MARÍLIA F. THOMAZ

Centro de Física Teórica (INIC)

Departamento de Física da Universidade de Coimbra, 3000 Coimbra

*O conceito de som na Escola Secundária é o tema de uma investigação actualmente em curso no Centro de Física Teórica, levado a cabo por docentes dos Ensinos Secundário e Universitário.*

*No presente artigo damos conta de uma primeira fase do trabalho: o estudo da evolução histórica do conceito e os resultados de um levantamento (preliminar) de ideias dos alunos dos ensinos básico e secundário. Verificámos a existência de um paralelismo entre estes dois aspectos, à semelhança do que se tem vindo a provar em estudos sobre outros conceitos. As conclusões já obtidas serviram de pistas para o aprofundamento da presente investigação.*

## 1. Introdução

Uma das contribuições da investigação em educação tem sido a ênfase posta no facto, bem conhecido de qualquer professor atento, de os alunos trazerem para a sala de aula uma variedade de ideias e interpretações sobre os fenómenos físicos. Esses conceitos alternativos (frequentemente uma mistura complexa de noções intuitivas e de aquisições do ensino formal) deverão ser um bom ponto de partida para promover o desenvolvimento do aluno na direcção dos conhecimentos científicos aceites.

É ideia partilhada por muitos educadores de ciência que não deve fazer-se tábua rasa das ideias do aluno nem evitar-se o conflito entre saberes. Pelo contrário, é fundamental para a auto-construção da aprendizagem em ciência que se criem oportunidades para que os alunos tomem consciência daquilo que pensam e se possam confrontar com situações que lhes são apresentadas, cuja interpretação entra em conflito com as suas ideias [1, 2].

Haverá múltiplas razões para algum desinteresse pela aprendizagem da Ciência, não sendo certamente a menor o facto de o ensino não ter como ponto de partida fenómenos do dia a dia facilmente acessíveis (tanto em termos teóricos como experimentais), mas orientar-se

desde muito cedo para uma via altamente abstracta. Assim, fenómenos como a luz e o som, sendo susceptíveis de uma abordagem simples, poderiam proporcionar um meio útil para a transição do raciocínio concreto para o raciocínio formal.

Particularmente, no que se refere ao som, ele tem ultimamente primado pela ausência nos «curricula» de física. No entanto, parece-nos ser um tema particularmente adequado para iniciar o aluno, de uma forma muito concreta e vivida, em conceitos complexos como o de onda e suas propriedades. Um estudo recente [3] sobre o conceito de som, levado a cabo com alunos do ensino universitário, faz ressaltar a inadequada conceptualização que estes alunos fazem do som.

Os autores interrogam-se sobre como será possível aos alunos lidarem com conceitos avançados relacionados com ondas (como os que encontram, por exemplo, em Mecânica Quântica) quando a sua conceptualização dos fundamentos é tão pobre. Aparentemente o ensino formal não teria feito muito para modificar noções intuitivas, um tanto vagas, provavelmente ao nível de concepções históricas muito primitivas. Este aspecto é, aliás, apenas marginalmente focado no referido trabalho.

Propomo-nos estudar as ideias dos alunos dos ensinos básico e secundário sobre o conceito

de som. Este assunto vai ser incluído nos novos programas, e pensamos ser útil fazer o levantamento das concepções alternativas. Dado que o conceito não tem sido abordado nos planos curriculares recentes, talvez o ensino formal só indirectamente possa ter interferido nos saberes dos alunos. O paralelismo entre as ideias alternativas e concepções históricas primitivas, largamente conhecido de investigações sobre outros conceitos físicos, levou-nos a considerar este aspecto como uma das pistas de trabalho.

Os objectivos que nos propomos desenvolver neste projecto são os seguintes:

- Fazer um levantamento das ideias dos alunos no que diz respeito ao conceito de som.
- Investigar o possível paralelismo entre as ideias dos alunos e concepções historicamente datadas sobre este assunto.
- Investigar a influência do ensino formal nas ideias dos alunos (nomeadamente no conceito de onda).
- Propor estratégias de abordagem do tema em estudo, tendo em conta as concepções alternativas detectadas.

Este trabalho relata a primeira fase do desenvolvimento deste projecto. Iremos expor algumas ideias sobre a evolução histórica do conceito de som e o resultado de um estudo preliminar com o objectivo de diagnosticar as ideias dos alunos, baseado num pré-teste aplicado a alunos do 3.º ciclo do ensino básico e ensino secundário.

## 2. Evolução histórica do conceito

O conceito de som foi talvez um dos temas que mais cedo preocupou os estudiosos dos fenómenos da natureza.

Convém notar que, no que diz respeito às épocas antigas, algumas questões cronológicas aguardam esclarecimento. Tentaremos, no entanto, fazer o esboço possível das características essenciais do processo evolutivo sofrido por este conceito.

Poucos povos antigos se mostraram mais sensíveis ao timbre dos sons musicais do que os chineses [4]. Que pensavam eles sobre o som? Esta questão interessou igualmente os pensadores da antiga Grécia, mas enquanto os Pitagóricos afirmavam que o som era *a coisa numeral por excelência*, na antiga China, pelo contrário, o som foi olhado como uma *forma de actividade* tal como o eram também o sabor e a cor. Lembremos que na antiga China se pensava existirem *sopros vitais* com origem na Terra e que se dirigiam para o céu tal como o vapor de uma panela com água em ebulição.

Os pitagóricos acreditavam que os corpos que se moviam no espaço produziam sons inaudíveis para os vulgares mortais e que corpos que se moviam rapidamente produziam sons de altura mais elevada que a dos sons produzidos por corpos que se moviam mais lentamente. São bem conhecidas as relações por eles estabelecidas entre o comprimento das cordas vibrantes e a altura do som emitido. Theon de Esmirna (150 DC) atribui a Hippiasus e Lasus (séc. V AC) o estabelecimento de uma relação entre som e velocidade, sendo o som *algo que é lançado tão rapidamente que, tal como um discurso rápido, não pode ser ouvido em voo, mas só no instante de aterragem*. Archytas (370 AC) vai mais longe e define som como *a própria velocidade* [5, 6, 7].

O atomismo floresceu na Grécia num período de aproximadamente 150 anos, de 430 AC a 280 AC [8]. Embora filósofos indianos tenham chegado a explicar o Universo à luz do atomismo, os primeiros estudos relevantes que chegaram ao nosso conhecimento datam da filosofia pré-aristotélica, dos quais destacamos os filósofos atomistas Leucipus, Demócrito e Epicurus. Baseavam-se no pressuposto de que havia um limite para a divisão da matéria. Esta vai muito além da possibilidade de percepção pelos sentidos, havendo contudo um limite para além do qual ela não é mais possível; chega-se assim à primeira noção de átomo. Para estes filósofos a realidade era composta por dois «elementos» fundamentais, átomos e vazio. Embora partindo deste mesmo princípio, os três filósofos referidos nem sempre conver-

giam na interpretação do conceito de som. Para Leucipus a cor, o cheiro, o sabor e o som são qualidades associadas a cada corpo. Cada uma destas qualidades é constituída por átomos do corpo e pode variar conforme o número e a ordem desses átomos. Esta ideia está de acordo com o sentimento geral da escola atomista para a qual *o som é um corpo*, isto é, ao produzir um som, estamos a emitir da nossa boca um certo número de átomos combinados de uma certa maneira (que particulariza o som). Este «corpo» atravessa o ar e entra na orelha do ouvinte, colocando em movimento *os átomos da alma*, da qual resulta a sensação de audição. Por seu lado, Demócrito afirma que o som, como a cor e o cheiro, não são propriedades absolutas dos corpos, mas *experiências das sensações*, avançando com a seguinte explicação da propagação do som:

O ar é constituído por corpos de igual forma e é arrastado juntamente com *os fragmentos da voz*: as partículas de som deixam marcas no ar, que se propagam em todas as direcções e então o ar entra no espaço vazio e causa movimentos (1).

Para Epicurus esta interpretação não é aceitável; explica que nós percebemos as qualidades das coisas que *são qualidades delas e não apenas resultado de mudanças subjectivas das nossas sensações*. Cor, sabor, etc. são *acompanhantes permanentes* das coisas, fazendo parte essencial do seu carácter físico.

Aristóteles, considera o som uma propriedade da fonte que o produz [5]. Substâncias como a lã não possuem som, mas coisas feitas de bronze têm som (potencial) porque, dando-lhes uma pancada, ela o podem emitir (som operante). Afirma que para haver som é necessária a colisão de dois corpos sólidos entre si e com o ar, mas que só haverá som se o ar resistir ao impacto e não for disperso. Terá pois que ser batido rápido e fortemente. Sem movimento não há som, ao completo repouso corresponderá o silêncio total. Para Aristóteles, o som propaga-se de forma «ondulatória», sendo o ar o meio usual de transmissão: uma vez colocado em movimento assim continua, por sucessivas contrações, expansões ou compressões, de *modo semelhante à onda circular que se forma quando uma pedra cai em água*

*calma*. Indispensável no mecanismo da audição, *o ar determina o ouvir, tal como o fogo a visão*; se os sons que se ouvem resultam dos movimentos do ar, o órgão que os percebe tem de ser, por sua vez formado de ar. Este ar contido no ouvido entra em ressonância por acção da perturbação do ar exterior e assim se ouve.

Aristóteles reconhece que o som também pode ser ouvido na água, mas muito mais fracamente. Explica o eco como sendo o ar que é reenviado tal como acontece com uma bola. Pensa que o eco, mesmo que não audível, existe sempre, uma vez que se deve comportar como a luz e esta é sempre reflectida. Tal como os seus antepassados, tem dificuldade em perceber que o aumento de frequência de vibração não influencia a velocidade de propagação do som: afirma que as notas altas eram transmitidas através do ar mais rapidamente que as baixas.

Cerca de 20 D.C., Vitruvius faz uso do bem conhecido exemplo do efeito das ondas circulares na superfície da água para explicar a propagação do som; dizia que o verdadeiro som viaja não em círculos mas na forma espacial correspondente, como numa onda esférica. Mas as ideias de Vitruvius não foram aceites no seu tempo [7].

O principal transmissor medieval das ideias antigas sobre proporção musical foi Boethius o filósofo e matemático do século VI. As seguintes passagens ilustram o modo de pensar nesta altura [7]:

Se todas as coisas estivessem num estado de repouso, nenhum som tocaria o nosso ouvido porque os objectos não podem excitar percussões se não existir movimento. A voz está assim ligada à existência de percussão. Esta percussão tem necessariamente de ser precedida de movimento. Se a voz existe tem também de haver movimento. Cada movimento tem em si ora o momento da rapidez ora o momento da lentidão; se o movimento é lento, é gerado um som grave porque como a lentidão está próxima do repouso, também o carácter grave do som é vizinho do silêncio. Um movimento rápido resulta num som agudo. Além disso se uma voz grave consegue,

---

(1) Anos mais tarde, o filósofo Theophrastus, aluno de Aristóteles, perguntará como é que *um pouco de fôlego pode encher de som* um anfiteatro onde estão 10 000 pessoas a ouvi-lo.

ascendendo, atingir o meio, uma voz aguda também o atingirá descendo. Daqui resulta que cada som parece ser composto de certas partes cuja ligação total é governada por proporções.

No século XV destaca-se Leonardo da Vinci, homem de ciência eminentemente moderno na sua época [6, 7, 9]. Lamentavelmente, o mundo não estava preparado para ele. No entanto, acerca do som, só se adianta em relação à sua época quando coloca questões que só o século seguinte saberia solucionar: *se o eco a 30 varas de distância responde em duas partes do tempo, em quantas partes de tempo responderá uma voz que esteja a 100 varas de distância?*

Parece, no entanto, que Leonardo da Vinci já possuía uma ideia do carácter ondulatório da propagação do som porque, *por analogia com as ondas na água passou às ondas no ar e às leis do som reconhecendo que a luz mostra muitas analogias que sugerem que aqui também uma teoria ondulatória é aplicável...*

Escreve Leonardo [9]:

Tal como uma pedra que cai na água se torna o centro e a causa de muitos círculos, e tal como o som se difunde ele próprio em círculos no ar, assim colocado qualquer objecto na atmosfera luminosa, se difunde ela mesma em círculos, e enche o ar que a rodeia com infinitas imagens dela própria. Digo que o som do eco é reflectido para o ouvido depois de chocar, tal como as imagens dos objectos batendo nos espelhos são reflectidas para os olhos.

É por todos reconhecida a influência que o pensamento de Aristóteles teve em toda a Idade Média. A primeira grande mudança surgiu em meados do séc. XVI com a publicação da teoria heliocêntrica de Copérnico (1543). O avanço científico não foi, contudo simultâneo. A física só deu passos em frente no séc. XVII. É pois só neste século que começam a notar-se alguns progressos relativamente ao conceito de som, devido em grande parte ao interesse devotado à música. Contudo o estudo da física neste campo, mesmo a partir de Galileu, revela-se confuso e fragmentado [7, 10].

Se quisermos apontar a descoberta mais importante neste domínio, no início do séc. XVII

teremos que referir o reconhecimento de que é a frequência que determina a altura do som, conforme revelaram as experiências de Gassendi. O ponto de vista de Aristóteles estava errado: a velocidade do som era independente da altura. Outros, como Mersenne, Borelli, Viviani, Boyle, Huygens e Romer repetiram-nas melhorando os resultados [10].

Nas determinações teóricas da velocidade do som feitas no séc. XVII não se tomou nunca em conta efeitos de variação de temperatura ou de direcção do vento, ou, se alguns poucos o fizeram, não tiveram qualquer sucesso. Gassendi fez observações sobre a influência da direcção do vento na velocidade do som, mas concluiu erradamente que era nula. Foi Derham já no séc. XVIII que verificou a existência desta influência. Ele também tentou estudar o efeito da variação de temperatura e da composição da atmosfera mas os seus resultados são muito vagos: em geral acha que os sons são mais fracos no verão que no inverno.

Desde Aristóteles, ou até antes, acreditava-se que o ar era o meio através do qual o som se podia propagar, embora não houvesse total concordância no processo. Assim Gassendi atribuía esta função a átomos especiais, enquanto Derham considerava uma questão em aberto se era o próprio ar ou algum fluido etéreo ou mesmo partículas materiais existentes no ar que transportavam os sons.

Newton compreendia a natureza do som como ondas que se propagam, num gás ou num líquido; analisa o problema teoricamente sob o ponto de vista da Mecânica, relacionando a velocidade do som com a elasticidade e a densidade do ar, mas chega a um resultado incorrecto [10]. Só em 1816, a respectiva expressão matemática virá a ser corrigida por Laplace [6, 7].

Não nos parece possível estabelecer qualquer linha de evolução do conceito de som através do século XVIII [11-22]. De facto, o estudo dos autores deste período revela diferentes ideias e opiniões, mais ou menos distantes do que é hoje cientificamente aceite, tanto no início como no final do século. Assim, encontramos Lamarck [11], em 1799, a defen-

der a existência de *uma matéria própria do som*, contestando categoricamente afirmações bem mais avançadas dos seus contemporâneos, publicadas muitos anos antes.

Mas vejamos o que pensavam sobre o som os estudiosos do século XVIII.

Da análise dos textos deste período, ressalta que o conceito de som necessita ser definido no corpo que o gera, no meio que o transmite, no órgão que o recebe e na alma que *dele tem o sentimento*, com a ressalva feita por alguns autores de que apenas compete aos físicos o estudo das três primeiras características referidas, pois *seguir o som até à alma é uma tarefa metafísica*. São, no entanto, unânimes em classificar o som nos corpos, como consistindo no frémio das suas partes insensíveis, vibração essa originada pelo choque com outro corpo ou com o ar. Afirmam que o som não pode ser produzido pelo ar ou por um corpo sozinho. Assinalam todos também que as referidas vibrações não são totais, isto é, do corpo como um todo, mas parciais, *cada uma das partes insensíveis treme por si*.

Embora partilhando a opinião atrás exposta, Phanjas [12] e Theodoro d'Almeida [13] afirmam que o som não é mais do que *ar movido*. Os corpos sonoros são apenas a origem do som, provocando, através das suas vibrações, modificações nas *partículas do ar*, e isso é som. Também, como atrás referimos, Lamarck defende a existência da *matéria própria do som*, definindo-a como um fluido *extremamente subtil, muito penetrante e extremamente elástico*, afinal *o fogo etéreo já preconizado por Newton*.

Quanto aos meios de transmissão, podemos distinguir dois pontos de vista essencialmente diferentes. Phanjas e Theodoro d'Almeida, coerentemente com a sua ideia de som, afirmam que o ar é o único meio de propagação. Phanjas chega mesmo a explicar porque razão o som de uma campainha colocada dentro de uma campânula de vidro é audível no exterior, assim como o facto bem conhecido de mergulhadores dentro de água poderem ouvir sons produzidos fora dela, afirmando que isto se deve *às idas e vindas das moléculas incom-*

*pressíveis do vidro ou da água como um todo, que assim tomam e imitam as vibrações dos corpos elásticos que as empurram*.

A maioria dos estudiosos desta época afirma contudo que o som se pode propagar, também na água e em alguns sólidos, concordando ao afirmar que o ar é o meio privilegiado para a propagação do som.

Regnault [14], embora condescendendo em que o som se pode propagar na água, considera a presença de ar indispensável na referida transmissão:

O som propaga-se mesmo na água: o ar fechado nos interstícios da água leva-o até às orelhas do mergulhador.

Tentando refutar esta ideia, cerca de vinte anos mais tarde o Abade Nollet [15] efectua experiências tentando *purgar toda a água do ar nela contida* para provar que mesmo assim o som era transmitido.

A este respeito, não devemos deixar de citar Sauri [16], que é talvez dos primeiros a referir outros fluidos em que o som se propaga como na água:

Não é só a água o único fluido que permite ao som sair do seu seio para se transmitir para o ar: o leite, o álcool do vinho, o óleo de rábano, têm a mesma propriedade, e as emanações produzidas pela flor da cerveja são elásticas e sonoras.

Guericke, o inventor da bomba de ar, foi naturalmente o primeiro a efectuar experiências sobre a possibilidade de propagação do som no vazio. Seguiram-se-lhe Boyle e Papin, mas dado que a obtenção de vazio ainda tinha resultados muito precários, as conclusões não foram as melhores [10]. No entanto, os textos desta época revelam consenso geral sobre a impossibilidade de propagação do som no vazio.

Guericke consegue provar experimentalmente a propagação do som através do ar e descobre também que alguns sons se transmitem através da água e de alguns sólidos.

Quanto à velocidade de propagação do som no ar, a maioria dos autores afirma que é constante e de 173 toesas por segundo, *quer percorra um grande ou pequeno espaço, de*

noite ou de dia, com tempo chuvoso ou céu limpo, quer se trate de um som agudo ou grave, forte ou fraco. Musschenbroek [17] discorda frontalmente desta posição, criticando nomeadamente as conclusões de experiências realizadas por um seu contemporâneo:

...Mr. Derham parece ter duvidado da verdade deste sentimento dado que avança que a velocidade do som é sempre a mesma, quer faça um tempo seco e sereno, ou que esteja triste e nebuloso... Não duvido que Mr. Derham tenha tido ocasiões favoráveis para fazer diversas observações da velocidade do som; mas tudo isso só foi feito em Inglaterra e não nos diferentes reinos em que a constituição do ar é certamente muito diferente seja por causa do quente, do frio, do peso e sobretudo por causa das emanações que saem do seio da Terra e cuja natureza é diferente consoante os países.

Sauri discorda igualmente dos seus colegas, justificando que a velocidade do som não é sempre a mesma devido ao facto de a *elasticidade do ar variar com o calor, a densidade, a pureza, a electricidade e o vento*.

Por sua vez, Pierre de Massuet [18] afirma:

O som transmite-se com a mesma velocidade quando percorre um espaço grande ou pequeno, de noite ou de dia, com tempo de chuva ou limpo... o som não é acelerado nem retardado pelo vento, mas, segundo algumas experiências é retardado por ventos contrários.

A propagação do som no ar é mais ou menos detalhadamente explicada por sucessivas dilatações e compressões das suas partes, em consequência da aproximação e afastamento sucessivo das partículas que *foram capazes de tomar e imitar o frémito que lhes foi comunicado pelo corpo sonoro*. Acrescentam que a *força do som* depende da grandeza deste movimento e da quantidade das partes abaladas.

Sobre esta questão, transcrevemos a opinião de Musschenbroek:

O som no ar depende de certas ondas que se formam. Não são ondas como as que se vêem na superfície da água e que partem como de um centro em que começaram a formar-se; antes elas formam-se no ar como sobre a superfície de uma esfera, porque o ar condensado dilata-se igualmente de todos os lados.

O Padre Teodoro de Almeida na sua bem conhecida obra «Recreação Filozofica» [13], afirma também:

Não cuideis que he preciso vir até nós o mesmo ar que estava junto da peça e se moveo no princípio; basta que esse mova o que tem junto a si, e esse o outro, &c. até se mover o que está junto dos nossos ouvidos como sucede nos círculos do tanque.

Também a este respeito se pronuncia Sauri, descrevendo a propagação do som numa vara de madeira como resultado da força elástica das partes que compõem as fibras longitudinais da madeira.

Preocupa-se igualmente em explicar a passagem do som do ar para a água, e vice-versa, apercebendo-se do seu amortecimento. Afirma nomeadamente que:

... este facto parece provar que a água é um meio elástico, embora as moléculas façam oscilações muito pequenas e os académicos de Florença não tenham conseguido comprimir sensivelmente este fluido.

A maioria dos autores consultados refere-se à distinção entre som e barulho, dizendo que só os corpos elásticos são verdadeiramente sonoros [15]. Alguns acrescentam que o barulho resulta do choque entre corpos não elásticos [11]. Esta distinção não é contudo passiva, havendo autores que preferem considerar que ruído não é som.

É interessante notar que nesta época apenas se faz referência a sons audíveis, não se encontrando qualquer referência à possibilidade de existência de sons não perceptíveis ao ouvido humano. Sauri, por exemplo refere os corpos que, embora vibrando não produzem som, *por não terem força suficiente para comunicar ao ar o movimento que o som precisa*. Afirma ainda que um som forte absorve um som mais fraco e tenta explicar a possibilidade de distinção de diferentes sons simultâneos.

É notória a diferença de tratamento dada a este conceito a partir do século XIX [23-28]: o som é definido como uma **sensação produzida no ouvido** por vibrações dos corpos sonoros e transmitida até à orelha por inter-

médio de um meio elástico, que é habitualmente o ar.

Contrariamente ao que verificamos no séc. XVIII, existe grande concordância de opiniões, afirmando-se, em geral, o seguinte:

- O som não se propaga no vazio. Transmite-se através dos gases e vapores.
- O ar não é o único veículo do som: todos os corpos ponderáveis podem também transmiti-lo.
- A transmissão dos movimentos vibratórios através da água é consequência da sua compressibilidade e elasticidade.
- A velocidade é a mesma para todos os sons, fortes, fracos, graves ou agudos, no mesmo meio. A velocidade do som é independente da sua intensidade.
- Barulhos são sons bruscos, instantâneos, uma mistura de sons discordantes.

Jamin e Bouty [24] publicam em 1881 uma obra em que afirmam:

A origem primeira de todos os sons é uma série de movimentos alternativos mas quaisquer, reproduzidos a intervalos iguais e muito próximos pelo conjunto das moléculas de um corpo sólido, líquido ou gasoso. Aristóteles referia já a origem do som às vibrações do corpo sonoro; mas a maior parte dos antigos atribuíam estas vibrações, não ao conjunto do corpo vibrante, mas às suas moléculas tomadas individualmente, isto é, explicavam o som como se explica hoje o calor. Entre ideias sãs em relação à produção e propagação do som.

Ainda neste século se fazem determinações da velocidade do som em diferentes meios.

P. A. Daguin [25] define velocidade do som como o espaço percorrido em um segundo e diz que, no mesmo meio, é a mesma quer os sons sejam graves ou agudos, fortes ou fracos, qualquer que seja o seu timbre.

Não podemos deixar de referir a obra de J. W. Strutt, Lord Rayleigh, *The Theory of Sound* [26], ainda hoje considerada a «Bíblia» dos estudiosos deste assunto. Citemos a sua primeira definição de som:

A sensação do som é uma coisa sui generis, não comparável com qualquer das outras sensações. Ninguém pode expressar a relação entre um som e uma cor ou um cheiro.

No início do século XX, encontra-se novamente alteração na definição do conceito [29, 30]. Citemos Chwolson [29], em 1906:

É necessário distinguir duas noções de som: uma subjectiva ou fisiológica, é uma sensação de natureza particular, percebida pelo órgão do ouvido e produzida por vibrações materiais que atingem este órgão. Enquanto fenómeno físico, o som consiste nas próprias vibrações. Estas duas noções estão longe de ser idênticas, porque existem vibrações que o órgão do ouvido não se apercebe e que, todavia não diferem em nenhuma propriedade essencial das vibrações que actuam sobre este órgão; diz-se então que os sons são imperceptíveis (...por causa da extrema fraqueza do som ou por ser muito pequeno o número de vibrações).

Chegamos, pois aos nossos dias com uma noção mais distinta e alargada do conceito de som. Apesar das dificuldades enfrentadas por aqueles que se interessaram por este assunto, ao longo dos tempos, foi possível evoluir no sentido de um melhor conhecimento e aproximação à verdade que a natureza por vezes parece comprazer-se em esconder.

### 3. Reflexões a partir de um estudo preliminar

A investigação sobre as ideias dos alunos acerca do som processa-se em duas fases. Na primeira procurámos fazer um levantamento prévio, destinado a detectar modelos conceptuais. Estes modelos serão submetidos a uma pesquisa sistematizada numa segunda fase. Iniciou-se este trabalho com a elaboração de um questionário (pré-teste). Este foi organizado por forma que os alunos exprimissem as suas ideias o mais livremente possível (perguntas abertas, explicação através de esquemas). Este primeiro levantamento serviu de base à elaboração de um novo questionário visando já aspectos concretos detectados no pré-teste.

Este estudo foi dirigido a um conjunto de 180 alunos de escolas C+S e Secundárias de Coimbra, do 7.º ao 12.º ano de escolaridade.

Dado tratar-se dum levantamento preliminar, não tivemos a preocupação de atingir

ambientes sócio-culturais diferentes, o que foi tido em conta no prosseguimento do trabalho.

Tentámos investigar as ideias dos alunos relativamente:

- ao modo como se produz, se propaga e se percebe o som;
- aos meios em que o som se propaga e ao seu comportamento na mudança de meio;
- às propriedades do som (velocidade, reflexão, refração, difração).

Apresentamos algumas reflexões sugeridas pelos resultados do pré-teste. Fazemos notar que a análise das respostas nem sempre é conclusiva. Aliás, como já referimos, nesta fase do trabalho fizemos apenas o levantamento de algumas hipóteses de interpretação que tentámos testar na fase seguinte.

A informação obtida acerca da forma como se *produz e percebe* o som é fragmentada e não permite conclusões, sugerindo no entanto pistas para reformulação de questões relativamente a este tópico.

Relativamente ao mecanismo de *propagação do som* e à *influência do meio*, emergem conclusões e pistas de trabalho interessantes. Os resultados permitem-nos concluir que um bom número de alunos pensa que **o ar é o meio privilegiado para a produção e propagação do som, ou que é mesmo indispensável para o efeito**. Reparemos, por exemplo, nas seguintes afirmações:

- *A água não tem fendas, por isso não deixa passar o som* (8.º ano).
- *O ar entra pela abertura principal na flauta e sai sob a forma de som* (9.º ano).
- *As vibrações sonoras só se difundem no ar* (12.º e 10.º anos).
- *O som não se propaga na água porque na água não há ar para transmitir o som* (11.º ano).

É muito nítida a semelhança entre estas afirmações e as ideias atrás transcritas de alguns

autores do século XVIII. Lembremos, a propósito, a controvérsia sobre a propagação do som noutros meios que não o ar e, por exemplo, a menção de P. Regnault [14] ao *ar fechado nos interstícios da água* responsável pela propagação do som neste meio, bem como a tentativa do Abade de Nollet [15] de «purgar» a água do ar nela contido, para provar o contrário.

Outras conclusões interessantes emergem já deste estudo preliminar. Algumas ideias sobre *propriedades do som* manifestam-se com bastante evidência e são detectáveis, quer através de uma análise resposta a resposta em todos os inquéritos, quer através de uma análise global de cada inquérito individualmente.

Estão neste caso afirmações bastante explícitas que manifestam, com muitas «nuances», a concepção do som como **substância**. Tanto pode tratar-se de uma entidade vagamente definida, como ter contornos precisos (isto é, tratar-se de um *corpo*). Há mesmo quem fale em *partículas de som*, à maneira de Lamarck [11] ou Phanjas [12] e faça apelo a um «mecanismo corpuscular» para explicar a propagação e reflexão do som. O paralelismo com ideias ultrapassadas, de origem nos atomistas, é por demais evidente.

Transcrevemos, como exemplo, algumas das respostas reveladoras deste aspecto:

- *A corda provoca vibrações de som* (8.º ano).
- *O som ao penetrar na cavidade da flauta produz vibrações* (9.º ano).
- *O ar é um meio elástico que permite a propagação das partículas que constituem o som* (11.º ano).

Um outro aspecto relevante diz respeito à **conceptualização de onda** e também à **influência do ensino formal nas ideias dos alunos**. Para explicar propriedades do som tais como propagação, reflexão, etc., alunos de níveis etários mais baixos utilizam um modelo que poderíamos chamar «corpuscular». Alunos de anos mais avançados fazem uso, com fre-

quência, de um «modelo ondulatório», embora geralmente de uma forma inadequada. Comentaremos este aspecto oportunamente.

Todos sabemos que o conceito de onda não é de fácil apreensão. A ideia de uma perturbação periódica no espaço e no tempo, que transporta energia de um local para outro sem a mediação de um objecto, não é de forma alguma intuitiva. Não é, pois, de estranhar que, no caso concreto do som, alunos de níveis etários mais baixos expliquem a propagação do som como sendo uma propagação de partículas e não de uma perturbação.

— *O som é devido à propagação ordenada de partículas* (9.º ano).

— *O som é um conjunto de partículas (ou moléculas) que andam no ar* (8.º ano).

O que já será preocupante é que a mesma ideia possa surgir em alunos universitários, tal como é referido no trabalho [3] de J. Cedric e L. Gaalen, de 1989.

Quanto ao «modelo ondulatório», que surge de forma embrionária nas respostas de alunos de níveis mais avançados, é patente a analogia com os «círculos de água no tanque». Esta ideia, já formulada por Aristóteles, é frequentemente retomada, por vezes de uma forma modificada, por outros autores. Encontrámos, por exemplo, uma sua variante em Leonardo da Vinci [9]. A ideia da propagação do som como uma onda esférica, como vimos, levou séculos a ser consolidada. É natural que a base para a conceptualização abstracta de onda surja do contacto mais comum com ondas na nossa experiência diária, nomeadamente as ondas na água. No entanto parece-nos que deve ser objecto de reflexão a utilização que os alunos fazem deste modelo. A permanência no mesmo tem efeitos fortemente negativos como analisaremos de seguida.

Debrucemo-nos então sobre os resultados de uma questão em que é produzido um som num certo ponto, havendo observadores localizados sensivelmente à mesma distância, mas a diferentes altitudes e posições relativas à fonte.

A quase totalidade dos alunos dos níveis etários mais baixos afirma que todos os observadores estavam em condições de ouvir o som:

— *...ouve em todos os pontos porque o som espalha-se através do ar* (7.º ano).

— *ouve-se porque o som se espalhavam por todos os lados* (7.º ano).

Pelo contrário, alunos de maior nível etário afirmam que **só se pode ouvir o som ao mesmo nível em que é produzido**, usando justificações supostamente «mais elaboradas», com base no «modelo ondulatório»:

— *As ondas são difundidas por meio de circunferências com raio cada vez maior e no plano em que é produzido* (12.º ano).

— *ouvem os que estão ao mesmo nível* (11.º ano).

— *...o som propaga-se em círculos cada vez maiores* (11.º ano).

— *...não ouvem os que estão ao nível mais baixo* (10.º ano).

Talvez seja pertinente, neste momento reflectir um pouco sobre a seguinte questão:

**Quais os motivos que levarão os alunos a negar as suas próprias evidências, bem fundamentadas pela experiência diária?**

Recordemos que, a este respeito já em 1738 Cotes [21] afirmava, contestando o uso pouco cuidado da analogia com as ondas de água num tanque, frequentemente utilizada pelos seus contemporâneos:

...Mas esta comparação não deve ser levada demasiado longe ... e alguns filósofos de grande nomeada, excederam-se ao procurar estabelecer uma correspondência mais exacta do que era necessário... Mas alguns filósofos são muitas vezes levados por ideias pré-concebidas, a argumentar mesmo contra o que sabem ser verdade.

Os exemplos que atrás citámos são elucidativos. Toda a gente sabe que o som não se ouve apenas ao nível em que é produzido mas, enquanto os alunos mais novos o afirmam com

toda a naturalidade, independentemente de fornecerem uma explicação correcta para o facto, o modelo ondulatório simplista (círculos de água no tanque) parece ter induzido alunos de níveis mais avançados (supostamente com *mais conhecimentos científicos*) a negar essa evidência. Este fenómeno é, aliás, conhecido e tem-se revelado através de inquéritos feitos sobre outros conceitos. Qual a explicação? Falta de capacidade de observação ou falta de confiança nas capacidades de observação próprias? Ou antes negação das suas próprias evidências em favor de uma interpretação inadequada dos conteúdos do livro ou daquilo que ouviram ao professor? A questão fica em aberto.

Um comportamento semelhante manifesta-se face à seguinte questão: agita-se uma campainha dentro de água. Será que o som se ouve cá fora? A maior parte dos alunos dá uma resposta negativa embora, provavelmente, todos eles se lembrem de ouvir sons emitidos por mergulhadores dentro de uma piscina. Aqui parece ser a crença, um tanto generalizada, de que o som só se propaga no ar que leva os alunos a fazer esta afirmação. Comentámos já anteriormente este aspecto.

Uma outra questão que nos motiva alguns comentários (talvez até um pouco marginais em relação ao objecto do nosso estudo) diz respeito ao som na Lua. Dois astronautas que tirassem os capacetes não conseguiriam ouvir-se na Lua. Porquê? Surgem as respostas mais diversificadas, sendo difícil identificar um padrão típico. Uma boa parte das justificações tem a ver com a **gravidade** ser grande ou ser pequena, existir ou não:

—Na Lua não há gravidade e os sons fogem (9.º ano).

—Na Lua a gravidade é altíssima, por isso não se ouve (12.º ano).

—Devido à gravidade... (7.º ano).

Esta confusão de interpretação daquilo que se passa na Lua pode ter que ver com uma incorrecta compreensão dos conceitos de peso, de gravidade e de imponderabilidade, a respeito dos quais os manuais escolares se mostram,

frequentemente, confusos. Perguntamo-nos também até que ponto os filmes de ficção científica, que frequentemente aparecem na televisão, não terão uma influência negativa na construção das imagens sobre aquilo que se passa num mundo fora do alcance da nossa experiência diária. Não se nega de forma alguma o interesse de boas obras de ficção científica, até como agentes de motivação dos jovens para a ciência, mas talvez seja útil que o professor esteja atento a esses programas para desmontar os possíveis conteúdos científicos incorrectos. Quem, por exemplo, não «ouviu» já, na Terra, o estrondo da explosão de uma nave espacial ocorrida algures no espaço, fora da atmosfera terrestre?

#### 4. Conclusões

Finalmente gostaríamos de destacar algumas das conclusões, que se nos apresentam para já, nesta fase do trabalho. O paralelismo entre as ideias dos alunos acerca do som e ideias históricas primitivas revela-se já de forma bastante evidente, apesar da natureza exploratória do próprio inquérito. Destacamos alguns aspectos relacionados com essas ideias dos alunos:

- *o som como substância;*
- *a dificuldade em compreender que o som se propaga noutros meios que não o ar;*
- *a existência de diferentes modelos para explicar a propagação do som, que variam consoante os níveis etários;*
- *a influência do ensino formal manifestada através de uma inadequada utilização de um modelo ondulatório simplista;*
- *a dificuldade de compreensão do que é uma onda e suas propriedades.*

As presentes conclusões serviram de base a um novo inquérito, mais elaborado e abrangendo diferentes níveis sócio-culturais. A análise dos seus resultados está em curso, remetendo para uma publicação futura as conclusões obtidas, bem como sugestões didácticas. Para já parece-nos útil que a Acústica tenha voltado aos programas do Ensino Básico. Como já

tivemos oportunidade de referir o conceito de onda é de difícil apreensão. Passar do estudo das ondas de água para o estudo de ondas electromagnéticas parece ser uma transição demasiado brusca e de resultados pedagógicos pouco conseguidos. O estudo do som pode, numa perspectiva correcta, lançar uma ponte entre o concreto e visualizável e o mistério de uma perturbação que se propaga no vazio.

#### REFERÊNCIAS

- [1] DRIVER, R. e EASLEY, J. — *Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students*. Studies in Science Education, **5**, 61-84 (1978).
- [2] DUIT, R. — *Research on students' alternative frameworks in science-topics, theoretical frameworks, consequences for science teaching*. In Novak, J. (ed.) Proceedings of the Sec. Int. Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, vol. I, Ithaca, N. Y.: Cornell University, 151-162 (1987).
- [3] LINDER, C. J. and ERICKSON, G. L. — *A study of tertiary physics students' conceptualizations of sound*. Int. J. Sci. Educ., **11**, 491 (1989).
- [4] NEEDHAM, J. — *Science & Civilisation in China*, Volume IV. Cambridge University Press, 1962.
- [5] COHEN, M. R. and DRABKIN, I. E. — *A Source Book In Greek Science*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1958.
- [6] DAMPIER, W. C. — *A History of Science*. Cambridge, University Press, 1966.
- [7] SCHIMANK, H. — *The Early History of Acoustics*. Zeitschr. f. Techn. Physik, **12**, 500 (1936).
- [8] BAYLEY, M. H. C. — *The Greek Atomists and Epicurus*. New York, Russel & Russel Inc., 1964.
- [9] RICHTER, I. A. — *Selections from The Notebooks of Leonardo da Vinci*. London, Oxford University Press, 1953.
- [10] WOLF, A. — *A History of Science, Technology and Philosophy in the XVIth and XVIIth Centuries*. London, George Allen & Unwin Ltd. 1950.
- [11] LAMARCK — *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle et des Arts*, Tome XLIX. A Paris, Chez J.-J. Fuchs, rue des Mathurins, 1799.
- [12] PHANJAS, P. — *Théorie des êtres sensibles ou Cours Complet de Physique*, Tome II. A Paris, rue Daupline, Chez Charles-Antoine Jombert, MDCCLXXII.
- [13] ALMEIDA, P. T. — *Recreação Filozófica*, Tomo II. Lisboa, na Officina de Miguel Rodrigues, MDCCLVII.
- [14] REGNAULT, P. N. — *Les Entretien Physiques d'Aristide et Eudoxe, ou Physique Nouvelle en Dialogues*. Tome III (Septieme edition). A Paris, rue S. Jacques, MDCCLXV.
- [15] NOLLET — *Leçons de Physique Expérimentale*, Tome III (Sixieme Edition). A Paris, Chez Hippolyte-Louis Guerin et Louis-François Delatour, rue S. Jacques, à S. Thomas d'Aquin, MDCCLXIV.
- [16] SAURI — *Cours de Physique Expérimentale et Théorique*, Tome II. A Paris, Chez Froulé, Pont Notre Dame, vis-à-vis le Quai de Gêvres, MDCCLXXXVII.
- [17] MUSSCHENBROEK, P. — *Essai de Physique*, Tome II (Traduit du Hollandais, par P. de Massuet), A Leyden, Chez Samuel Luchtmans, 1739.
- [18] MASSUET, P. — *Éléments de la Philosophie Moderne*, Tome II. A Amsterdam, Chez Z. Chatelain et Fils, MDCCLII.
- [19] BÉGUIN, M. — *Principes de Philosophie Générale, de Physique, de Chymie, et de Géometrie transcendante*, Tome III. À Paris, Chez Nyon l'ainé, Libraire, rue du Jardinnet, quartier Saint André des Arcs., MDCCLXXXII.
- [20] BRISSON — *Traité Élémentaire ou Principes de Physique*, Tome II. A Paris, de l'Imprimerie de Moutard, rue des Mathurins, 1789.
- [21] COTES, R. — *Hidrostatical and Pneumatical Lectures*. London: Printed for the Editor, and fold by S. Austen, at the Angel and Bible in St. Paul's Church-yard; and the Booksellers at Cambridge, MDCCXXXVIII.
- [22] LA FOND, M. S. — *Éléments de Physique Théorique et Expérimentale*, Tome III. A Paris, Chez P. Fr. Gueffier, rue de la Harpe, à la Liberté, MDCCLXXII.
- [24] JAMIN, M. and BOUTY, M. — *Cours de Physique de L'École Polytechnique*. Paris, Gauthier-Villars, 1881.
- [25] DAGUIN, P. A. — *Traité Élémentaire de Physique Théorique et Expérimentale*, Tome Premier. Paris, Tandou et C<sup>e</sup>, Libraires-Éditeurs, rue des écoles, 78, 1867.
- [26] STRUTT, J. W. (Baron Rayleigh) — *The Theory of sound*, Volume I. London, Macmillan and Co., 1894.
- [28] CHAPPUIS, J. and BERGET, A. — *Leçons de Physique Générale*, Tome III. Paris, Gauthier-Villars et fils, Imprimeurs Libraires, 1802.
- [29] CHWOLSON, O. D. — *Traité de Physique*, Tome Premier. Paris, Librairie Scientifique A. Hermann, rue de la Sorbonne, 6, 1906.
- [30] BECQUEREL, J. — *Cours de Physique*, Tome II. Paris, Librairie Scientifique J. Hermann, rue de la Sorbonne, 6, 1926.

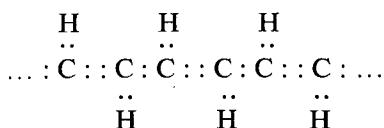
# Curiosidades e Imagens da Física

Gostaríamos de incentivar o aparecimento de uma secção na *Gazeta de Física* apresentando, de um modo informal, muito sintético e despretencioso, factos ou ideias ligadas às aplicações e desenvolvimentos da Física, pretendendo fornecer pistas para possíveis conversas dos professores com os alunos de Física no ensino secundário, incentivando o aparecimento de futuros artigos sobre estes temas na *Gazeta de Física*, chamando a atenção para a grande dose de ingenuidade e «frescura inovativa» que está muitas vezes subjacente às espectaculares aplicações ou desenvolvimento da ciência nos nossos dias.

Com estes propósitos, aqui deixamos três breves apontamentos, suscitando a adesão e a colaboração dos leitores da *Gazeta de Física* para a criação da referida secção na nossa revista.

## 1. Polímeros que conduzem a electricidade

Correntemente associa-se aos plásticos a ideia de isoladores eléctricos perfeitos, mas tal ligação não tem sentido nos dias de hoje. Recorda-se que um polímero é constituído por macromoléculas gigantes, essencialmente formadas pela ligação covalente de pequenas unidades moleculares (os chamados monómeros) que se repetem ao longo de cadeias com mais de  $10^3$  monómeros, todos iguais, uns a seguir aos outros. Um exemplo típico é o poliacetileno, onde a unidade que se repete é o grupo CH:



No estado puro e com a cadeia molecular perfeita, todos os átomos estão com camadas electrónicas completas: o hidrogénio rodeado

por 2 electrões (camadas  $s$  completa) e o carbono rodeado por 8 electrões (camadas  $s+p$  completas). Não há electrões livres disponíveis para conduzir a electricidade, sendo um tal polímero um isolador eléctrico.

Contudo, mediante a adição de impurezas, criam-se condições que permitem deslocalizar electrões, que passam a propagar-se com maior ou menor facilidade ao longo das longas macromoléculas, conduzindo a electricidade. Mediante a escolha criteriosa das impurezas e da sua concentração, pode variar-se a condutividade eléctrica de certos polímeros numa vastíssima gama de valores; a explicação teórica rigorosa está ainda numa fase de desenvolvimento.

Por exemplo, no caso do poliacetileno dopado com átomos de iodo consegue-se variar a condutividade eléctrica desde  $10^{-11}$  até  $10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . Recordando que a condutividade eléctrica do cobre é de  $5,9 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  à temperatura ambiente, vemos que estes polímeros dopados têm condutividades eléctricas comparáveis às dos melhores metais!

Estas propriedades tornam os polímeros uma importante classe de materiais para a futura electrónica molecular. Condutores de cobre poderão ser substituídos por polímeros condutores; existem já baterias eléctricas recarregáveis construídas com materiais poliméricos; especula-se sobre a possibilidade de fabricar um dia nervos artificiais à base de polímeros condutores; filmes finos de polímeros condutores poderão permitir o fabrico de janelas com regulação automática da luz, etc.

Bibliografia: *Plastics that Conduct Electricity*, R. Kaner e A. MacDiarmid, *Scientific American* (1988, pág. 60), *Solitons in Conducting Polymers*, A. Heeger, S. Kivelson, J. Schrieffer, W. Su, *Rev. Mod. Physics*, **60**, 781 (1988), *As propriedades notáveis do poliacetileno*, L. Carlos, J. Carmelo, M. Assunção, *Gaz. Física*, **13**, 79 (1990).

## 2. Os fotões e o zero absoluto de temperatura

A história da produção (e manutenção) de temperaturas cada vez mais baixas é um dos capítulos mais fascinantes da Física. Pode dizer-se que a corrida em direcção ao (inatin-gível...) zero absoluto de temperatura começou por volta de 1877, com as primeiras tentativas de liquefacção dos chamados gases permanen-tes. Desde então, um após outro, foram lique-feitos o Oxigénio (T ebulição  $\approx 90$  K), o ar ( $\approx 80$  K), o Azoto (77 K), o Hidrogénio (20 K) e o Hélio ( $\text{He}^4$ , 4.2 K). A liquefacção deste último, conseguida pela primeira vez por Kamerlingh Onnes em Leiden, no ano de 1908, veio também a ficar ligada à primeira desco-berda da Supercondutividade: o elemento Hg exibia, a temperatura inferiores a 4,15 k uma condutividade eléctrica infinita (Kamerlingh Onnes, 1913).

Uma outra fase em direcção ao zero abso-luto envolveu a utilização do isótopo  $\text{He}^3$ , que tem um ponto de ebulição normal de  $\sim 3,2$  K, mas permite baixar a sua temperatura até cerca de 0,3 K mediante a redução drástica da pressão (vaporização forçada).

Seguiu-se a fase das desmagnetizações adiabáticas, envolvendo primeiro os momentos magnéticos dos electrões nos átomos (utilização de sais paramagnéticos) e mais tarde os momen-tos magnéticos nucleares, promovendo o seu ordenamento prévio com campos magnéticos. Neste último caso, utilizando o cobre, conse-guiu-se chegar por breves instantes (segundos) a temperaturas da ordem das dezenas de  $\mu$  K *ao nível dos spins nucleares*, embora a «tempe-ratura» dos átomos em si, e dos electrões de condução, não descesse abaixo de escassas dezenas de m K (o «contacto térmico» dos electrões com os spins nucleares é um processo extremamente lento a baixas temperaturas ... não sendo possível igualizar as correspondentes temperaturas no brevíssimo período que dura a desmagnetização dos spins nucleares).

Utilizando as propriedades termodinâmicas de misturas dos isótopos  $\text{He}^3$  e  $\text{He}^4$ , conse-guem-se por outro lado produzir temperaturas da ordem de alguns m K nos chamados refri-

geradores de diluição, hoje existentes comer-cialmente. Estes refrigeradores são capazes não só de produzir essas temperaturas como de as manter por períodos de tempo muito longos (dias, se necessário).

E chegamos à fase dos fotões ... que está hoje em franco desenvolvimento e expansão. Aqui, utilizam-se fotões para reduzir progressi-vamente a energia cinética dos átomos, até limites muito próximos do repouso absoluto, o que equivale à redução da sua temperatura,

$$\left\langle \frac{1}{2} m v^2 \right\rangle = \frac{3}{2} k T$$

O recorde actual das baixas temperaturas ao nível dos átomos está já na gama dos  $\mu$  K. É mesmo possível atingir algo como 0,1  $\mu$  K, mas correspondente apenas à redução da velo-cidade dos átomos *numa só direcção*.

Vejamos como ocorre o arrefecimento dos átomos com fotões. Se produzirmos um feixe de átomos com velocidade numa dada direcção e sentido, e sobre ele enviarmos um feixe de fotões (radiação laser, p.ex.), em sentido oposto, com frequência  $\nu$  capaz de excitar tais átomos ( $h \nu = E_1 - E_2$ ;  $E_1$  e  $E_2$  níveis electrónicos nesses átomos), *por cada fotão absorvido* um átomo perde uma certa fracção da componente da sua velocidade inicial. Os cálculos são ime-diatos, baseando-se no princípio da conservação da quantidade de movimento ( $\mathbf{p}$ ) no processo de colisão:

$$\mathbf{p} \text{ (átomo inicial)} + \mathbf{p} \text{ (fotão)} = \mathbf{p} \text{ (átomo excitado)}$$

ou seja:

$$m \mathbf{v} - \frac{h \nu}{c} \frac{\mathbf{v}}{v} = m \mathbf{v}'$$

$$\therefore \mathbf{v}' = \mathbf{v} - \frac{h \nu}{m c} \frac{\mathbf{v}}{v}$$

Há portanto uma diminuição de velocidade do átomo, dada em módulo por:

$$\Delta v = v - v' = \frac{h \nu}{m c} = \frac{h}{m \lambda}$$

onde  $\lambda$  é o comprimento da radiação laser utilizada (ressonante neste caso com 2 estados

quânticos do átomo de Césio,  $\lambda = 0,82 \mu\text{m}$ ). Introduzindo a massa  $m (\text{Cs}) \approx 22 \times 10^{-23} \text{g}$  obtém-se uma redução da velocidade de cerca de  $3,6 \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$  por cada fóton absorvido! (O átomo então excitado emite posteriormente um fóton, mas a sua direcção é aleatória dando uma contribuição *média nula* para a alteração da velocidade desse átomo neste processo de desexcitação).

Com esta técnica é possível reduzir a valores irrisórios a velocidade de um átomo de C, inicialmente próxima de  $300 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  (jacto atómico à temperatura ambiente), através da absorção de cerca de  $10^5$  fótons, o que se consegue com um feixe laser em menos de 10 ms!

O arrefecimento dos átomos tem hoje grande importância em espectroscopia atómica de alta resolução e conhece crescentes aplicações no campo da Metrologia (relógios atómicos com crescente precisão, p. ex.). Este tema esteve aliás na origem do prémio Nobel de Física 1989, atribuído a N. Ramsey (USA), H. Dehmet (USA) e W. Paul (RFA) [vide *Gaz. Física*, **12**, 170 (1989)].

Bibliografia: *The Quest for Absolute Zero*, K. Mendelssohn, World University Library; trad. portuguesa *Em demanda do Zero Absoluto*, J. Bessa Sousa, Biblioteca Univ. Inova; *Atomes refroidis par laser: vers le microkelvin*, A. Aspect e C. Salomon, Le Courrier du CNRS, supl. au n.º 76 (1990); *Laser Cooling and Trapping of Atoms*, J. Optical Soc. America B (Optical Physics) **6** n.º 11 (Nov. 1989).

### 3. Janelas com transparência continuamente regulável

Já pensou nas vantagens de uma janela com transparência continuamente regulável? Deixando passar toda a luz em dias escuros e reduzindo drasticamente a sua passagem em dias de muito sol? E as divisórias transparentes de um escritório que se podem pôr instantaneamente opacas para delimitar um espaço reservado, por exemplo, para uma sala de reuniões? Estas perguntas não são de ficção científica, estando já em emergência uma nova geração de janelas e divisórias com visibilidade

instantaneamente controlável (em milissegundos...) pela simples aplicação de uma tensão eléctrica!

Uma das técnicas é o emprego de um cristal líquido finamente disperso numa placa polimérica transparente (tipo epoxy) sob a forma de minúsculas gotículas homogeneamente incorporadas nessa placa durante o processo de fabrico. De facto, basta adicionar à resina e endurecedor, ainda na fase fluida do início da reacção de polimerização, uma porção conveniente de cristal líquido que fica em emulsão nessa massa polimérica, sob a forma de pequeníssimas gotículas esféricas (dimensões facilmente controláveis, entre 0.1 e  $10 \mu\text{m}$ , ajustando convenientemente a taxa da reacção de polimerização). Como o comprimento de onda da luz visível varia entre cerca de  $0,45 \mu\text{m}$  (violeta) e  $0,75 \mu\text{m}$  (vermelho), aquelas gotículas de cristal líquido podem interagir fortemente com a luz visível.

Basta então depositar em cada face da placa polimérica filmes condutores muito finos (transparentes à luz) para se terem os dois eléctrodos para controlar electricamente a transmissão óptica da referida placa, que funciona como um meio dieléctrico colocado entre 2 eléctrodos planos.

Não havendo tensão eléctrica aplicada, as moléculas alongadas que constituem o cristal líquido estão orientadas ao acaso no interior de cada gotícula, difractando a luz incidente *em todas as direcções*; isto origina um baixíssimo coeficiente de transmissão da luz, e a janela apresenta-se virtualmente opaca. Aplicando uma tensão eléctrica conveniente, cria-se um campo eléctrico que orienta as moléculas de cristal líquido *na direcção de propagação da luz*: neste estado orientacional a difracção da luz é muito baixa e a janela apresenta-se transparente, com um baixíssimo coeficiente de absorção.

Bibliografia: *Liquid Crystals, Nature's Delicate Phase of Matter*, Peter J. Collings, ed. Adam Hilger (1990); *Os cristais líquidos; suas propriedades e aplicações*, *Gaz. Física*, **11**, 81 (1988).

J. Bessa Sousa

## 1. Delegação Regional de Lisboa

### 1.1. Actividades Experimentais para o Ensino da Física

Encontra-se aberto um concurso de «*Actividades Experimentais inovadoras para o Ensino da Física*» destinado a professores de Física do 3.º ciclo do ensino básico e do ensino secundário.

O regulamento encontra-se ao dispor dos interessados na sede da DRL da SPF.

*Prazo de inscrição:* 30 Setembro 1991

### 1.2. Clubes de Ciência

Realizou-se no dia 21 de Março de 1991 na sede da DRL da SPF um debate subordinado ao tema: «*Clubes de Ciência nas Escolas Secundárias — contributos para a definição da estratégia da DRL da SPF*».

Estiveram presentes cerca de 30 professores, tendo-se abordado questões relacionadas com:

- a pertinência dos *Clubes de Ciência* nas escolas secundárias;
- a importância dada à Física nestes clubes;
- os tipos de actividades desenvolvidas;
- a receptividade da Escola e dos alunos a Clubes de Ciência;
- o tipo e n.º de alunos envolvidos.

Da discussão salientam-se os seguintes pontos:

1. A necessidade dos órgãos de gestão das escolas secundárias assumirem um papel preponderante na promoção e no apoio aos professores interessados em dinamizar actividades deste tipo.

2. O carácter experimental da maioria das actividades desenvolvidas nestes clubes.

3. O fraco apetrechamento experimental de algumas escolas não é uma limitação para

a existência de um clube de ciência. Foi realçada a importância da concepção e realização de experiências com material simples e improvisado.

4. O papel de relevo desempenhado pelos alunos dos últimos anos de escolaridade no apoio aos alunos mais jovens que se iniciam no clube.

5. O contributo que a S.P.F. pode ter na recolha e intercâmbio de informação entre os vários Clubes de Ciência.

## 2. Delegação Regional do Porto

### 2.1. Palestras de Física para alunos universitários e professores do ensino secundário

O Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, com a colaboração da Delegação Regional do Norte da Sociedade Portuguesa de Física, anuncia a realização das seguintes palestras, especialmente orientadas para alunos universitários e professores do ensino secundário:

- 22.05.91 — «*Estudo da Polimerização da Hemoglobina dentro de Glóbulos Vermelhos, utilizando a Dispersão da luz Circulante Polarizada*»  
Prof. Alexandre Quintanilha
- 29.05.91 — «*Nova geração de Magnetos Permanentes*»  
Prof. J. Silva Duarte
- 05.06.91 — «*Hidrodinâmica*»  
Prof. J. Silva Duarte
- 12.06.91 — «*Supercondutores de Alta Temperatura Crítica: Propriedades e Aplicações*»  
Prof. J. Ferreira da Silva
- 19.06.91 — «*Física dos Novos Materiais; sua Relevância Científica e Tecnológica*»  
Prof. J. Bessa e Sousa

As palestras terão lugar no Anfiteatro de Física da Faculdade de Ciências do Porto iniciando-se às 14h30m.

### 2.2. Olimpíadas Regionais de Física

Realizar-se-ão nos dias 9 e 10 de Maio de 1991, no Departamento de Física da Faculdade

de Ciências da Universidade do Porto, as Olimpíadas Regionais de Física de 1991 (9.º ano de escolaridade no dia 9 de Maio e 11.º ano de escolaridade no dia 10 de Maio).

O programa das provas será o seguinte:

- 09h00—Recepção das equipas participantes
- 09h30—Realização das provas experimentais e teóricas
- 13h00—Almoço
- 14h30—Classificação das provas facultativas
- 17h00—Distribuição de prémios
- 17h30—Lanche

### 2.3. Palestras e cursos de formação

A Delegação do Norte da S.P.F. mantém-se aberta à realização de palestras dedicadas a alunos e professores do ensino secundário, bem como à realização de cursos de formação (essencialmente destinados a professores). A lista dos temas que desde já podem ser pedidos foi publicada no n.º 3 do vol. 13 de Gazeta de Física, 1990.

### 3. Delegação Regional de Coimbra

1. Por intermédio desta Delegação Regional da SPF foi assinado um protocolo entre a Sociedade Portuguesa de Física e a Direcção Regional de Educação do Centro, visando a realização de Acções de formação para Professores de Física do Ensino Secundário.

No âmbito deste protocolo foram agendadas as seguintes Acções:

- «Ensino Integrado da Cinemática e da Dinâmica», coordenada pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marília Fernandes Thomaz, realizada a 20/2/91;
- «Princípios de Conservação», coordenada pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Helena Caldeira, realizada a 27/2/91;
- «Exploração de Instrumentos», coordenada pelo Prof. Dr. Luiz Alte da Veiga, realizada a 20/3/91;
- Hidrostática e Hidrodinâmica», coordenada pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria José de Almeida, a realizar a 17/4/91.

2. Foram realizadas as seguintes Acções destinadas a alunos e Professores do Ensino Secundário:

- «Dinâmica», pelo Prof. Dr. Luiz Alte da Veiga, na Esc. Sec. n.º 1 de Ovar, no dia 17/1/91;
- «Física Divertida», pelo Prof. Dr. Carlos Fiolhais, na Esc. C+S de Condeixa, no dia 18/3/91 e na Esc. C+S de Silva Gaio, Coimbra, no dia 21/3/91;
- «Mecânica Quântica: o que é?», pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Helena Caldeira, na Esc. Sec. Adolfo Portela, Águeda, no dia 9/1/91 e na Esc. Sec. n.º 3 da Figueira da Foz, no dia 21/3/91;
- «O Núcleo Atómico: estabilidade e desintegração», pelo Prof. Dr. Adriano Pedroso Lima, na Esc. Sec. n.º 1 da Marinha Grande, no dia 6/3/91;
- «O Universo Primitivo», pelo Prof. Dr. Manuel Fiolhais, na Esc. C+S de Ansião, no dia 10/1/91 e na Esc. Sec. Domingos Sequeira de Leiria, no dia 10/1/91;
- «Por que é que a Lua não cai?», pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lourdes Andrade, na Esc. Sec. Bernardino Machado, na Figueira da Foz, no dia 7/3/91;
- «Relatividade Restrita», pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Estela Pereira, na Esc. Sec. Dr. Joaquim Carvalho, na Figueira da Foz, no dia 7/2/91;
- «Teoria da Relatividade para os mais novos», pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Helena Caldeira, no Dep. de Física da FCTUC destinada a alunos da Esc. Sec. de S. Pedro do Sul, no dia 18/2/91; na Esc. C+S de Condeixa, no dia 11/3/91 e na Esc. Sec. n.º 1 de Abrantes.

### 4. European Physical Society

4.1. 1st EPS Southern European School on Physics  
«Dynamical Processes in Molecular Physics»  
1-14 September 1991, Avila (SPAIN)

#### Purpose

The EPS Southern European School of Physics aims to provide the young physicists from Southern Europe with opportunities for interacting with senior research physicists and young physicists from other European countries.

#### Objectives

To provide high-level, supplementary training for graduate students in Physics and

young postdoctoral physicists and chemists from European countries, mainly from the Southern areas.

To promote North-South and South-South research collaboration within Europe.

Plenary lectures will provide a general introduction and broad overview of the topics of the School.

A substantial part of the School will be devoted to tutorials, practical seminars and numerical applications using small computers.

Appropriate time will be available for informal discussions and questions.

## Participants

Participation in the School is limited to 40 students, with at least a M.Sc. degree, interested in Molecular Physics.

Participants are expected to be actively involved in the work of the School.

Full board, lodging and some travel support will be provided by the Programme Committee to selected participants from Southern European of the School:

Interested candidates should fill in the corresponding application form and send it, *BEFORE the FIRST of MAY of 1991* to the Secretary of the School:

Ms. M. J. Vallejo Benito;  
C/ Serrano, 123;  
Instituto de Estructura de la Materia, CSIC  
28006 Madrid, SPAIN  
FAX: (34-1) 5642431  
PHONE: (34-1) 4112962;  
E. Mail: IFFMJVOIFF.CSIC.ES

## Topics and Lecturers

- Potential Energy Surfaces from Quantum Chemistry Calculations.  
Prof. A. J. C. VARANDAS, Coimbra.
- Potential Energy Surfaces from Dynamical Properties.  
Prof. F. A. GIANTURCO, Roma.

- Elementary Atomic and Molecular Processes in Gases.  
Prof. E. E. NIKITIN, Moscow (to be confirmed).
- Charge Transfer in Molecular Processes: Experiment.  
Prof. M. BARAT, Orsay.
- Theoretical and Computational Aspects of Ion-Molecule Collisions.  
Prof. V. SIDIS, Orsay.
- Molecular Beam Experiments in Reactive Scattering.  
Prof. A. GONZALEZ-UREÑA, Madrid.
- Reactive  $A+BC$  Scattering: Theory.  
Prof. J. M. LAUNAY, Meudon.
- Molecular Photodissociation: Experiment.  
Prof. I. POWIS, Nottingham (to be confirmed).
- Molecular Photodissociation: Theory.  
Prof. J. A. BESWICK, Orsay.
- Predissociation Processes in Weakly Bound Molecular Systems.  
Prof. G. DELGADO-BARRIO, Madrid.
- Photodissociation of Molecular Clusters: Experiment.  
Prof. U. BUCK, Göttingen.
- Size Effects in Molecular Clusters.  
Prof. J. JORTNER, Tel-Aviv.
- Gas-surface Interactions: Experiment.  
Prof. A. W. KLEYN, Amsterdam (to be confirmed).
- Molecular Scattering from Surfaces. Theoretical Methods.  
Prof. R. B. GERBER, Jerusalem.
- Time-Dependent Formalism in Molecular Fragmentation.  
Prof. O. ATABEK, Orsay.

## Location

The School will be held in the Royal Monastery of Santo Tomás in Avila, a small town with about 40.000 inhabitants, at 100 Km from Madrid.

## Local Organizing Committee

- G. Delgado-Barrío (Chairman)
- J. L. Gutierrez Robledo
- P. Villarreal
- S. Miret-Artés
- O. Roncero
- M. J. Vallejo Benito (Secretary)

## *Um pouco de história...*

### **Gazeta de Física**

Prosseguindo com a divulgação dos sumários dos exemplares da Gazeta de Física publicados, iniciada na Gaz. Fís., **13**, fasc. 3, (págs. 150-152, 1990), publicamos neste número os sumários dos artigos do volume III.

### **Volume III (1954-1960)**

#### **Fasc. 1, Abril de 1954**

Transformação por captura electrónica, por *Manuel Valadares*

O núcleo (tradução de uma conferência de Enrico Fermi)

Eliminação da camada limite turbulenta em grandes obras hidráulicas, por *Fernando Manzanares Abecasis*

Química e taxonomia nos líquenes, por *C. N. Tavares*

Pontos de Exames

Noticiário

#### **Fasc. 2, Outubro de 1954**

Sur la densité de force électrique en un point d'une surface électrisée, por *António da Silveira*

Vibrações mecânicas e eléctricas, por *Libano Monteiro*

A situação da Física no Brasil, por *Adel da Silveira*

O tricentenário da experiência dos hemisférios de Magdeburgo (1654)

Pontos de Exames

Noticiário

#### **Fasc. 3, Julho de 1955**

Enrico Fermi, por *Jayme Xavier de Brito*

Acerca da possível produção de elementos de número atómico superior a 92 (*Memória de Enrico Fermi*)

Essai sur la possibilité d'employer Ag 110 dans l'étude du transport du sable par la mer, por *A. Gibert*

Técnica aplicada ao estudo do funcionamento da glândula tiroideia com iodo 131 ( $I^{131}$ ), por *Maria Augusta Pérez Fernández*

Pontos de Exames

Noticiário

#### **Fasc. 4, Março de 1956**

Albert Einstein (1879-1955), por *Rómulo de Carvalho*

O que devemos a Einstein, por *A. Proca*

Cinémática dos Corpos Rígidos em Relatividade, por *Ruy Luís Gomes*

Dr. Rui Gustavo Couceiro da Costa, por *J. R. de Almeida Santos*

Pontos de Exames

Noticiário

#### **Fasc. 5, Junho de 1957**

Irene Curie (1897-1956)

Sobre as possibilidades de utilização de uma central de energia a carvão

Experiências escolares sobre tensão superficial dos líquidos e sobre lâminas de soluções de sabão, por *Rómulo de Carvalho*

Pontos de Exames

Noticiário

#### **Fasc. 6, Março de 1958**

Propriétés nucléaires et chimiques de l'astate (élément 85), por *Maria do Carmo Anta*

The origin and implications of the cosmic radiation, por *Serge A. Korff*

Prof. D. Miguel A. Catalán, por *Manuel Telles Antunes*

Pontos de Exames

Noticiário

#### **Fasc. 7, Março de 1959**

O ensino da Física nas nossas Faculdades de Ciências, por *José Sarmiento*

A obra científica de Frederico Joliot, por *Manuel Valadares*

Acerca do número de imagens dadas pelos espelhos planos inclinados entre si, por *Rómulo de Carvalho*

Algumas utilizações científicas dos satélites artificiais, por *R. O. Vicente*

Pontos de Exames

Noticiário

#### **Fasc. 8, Julho de 1960.**

O aperfeiçoamento do processo fotográfico para o registo do rasto de partículas nucleares, por *C. F. Powell*

Considerações sobre o Princípio de Arquimedes, por *Rómulo de Carvalho*

Interaction nucleon-nucleon, por *Georges Yves Petit Salomon Rosenblum*, por *J. Sant'Ana Dionísio* (Conclusão)

Dispositivo contador de raios beta de baixo nível, por *B. Schotanus*

Noticiário

# MESTRADO EM FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO E CIÊNCIA DOS MATERIAIS 1991-92

Lab. Física Fac. Ciências U. Porto

## Objectivos

O Mestrado em Física do Estado Sólido e Ciência dos Materiais, criado em 1982, tem como objectivo fundamental proporcionar formação avançada de investigadores numa área de grande interesse científico e tecnológico, considerada prioritária no âmbito do programa *Ciência*.

## Laboratório de Física

Existem actualmente no Laboratório de Física quatro grupos de investigação em Física do Estado Sólido experimental (com 11 doutorados), com interesses em Fenómenos de Transporte, Propriedades Magnéticas, Calores Específicos, Supercondutividade, Propriedades Dielétricas, e um grupo de Física Teórica (com 7 doutorados) que trabalha também em temas de Matéria Condensada como Transições de Fase, Fenómenos fora do Equilíbrio, Percolação, Hidrodinâmica, Sistemas Electrónicos, etc. Existem ainda dois grupos nas áreas de Lasers, Óptica e Electrónica (com 5 doutorados). O Laboratório mantém programas de colaboração variados com grupos estrangeiros e oferece boas condições para a realização de teses de Mestrado e Doutoramento. Actualmente encontra-se empenhado num reforço da sua actividade na área de Física dos Novos Materiais no âmbito do programa *CIÊNCIA*.

## Áreas de Especialização

Física do Estado Sólido e Ciência dos Materiais.

## Organização do Curso

No primeiro ano do curso correspondente a uma parte escolar, o aluno deverá obter aprovação num conjunto de disciplinas totalizando 15 unidades de crédito. No segundo ano será elaborada uma tese de investigação sob orientação de um supervisor.

## Plano de Estudos

### 1.º Semestre

	U. C.
Física do Estado Sólido Avançada	3
Transições de Fase	3
Classe de Problemas (op.)	2

### 2.º Semestre

Física dos Novos Materiais	3
Computação Avançada em Física (op.)	3
Técnicas de Física Teórica (op.)	3
Estágio	2 a 4

O estágio funciona por módulos. Um módulo poderá consistir num curso intensivo (3 a 4 semanas), num trabalho experimental num grupo de investigação do Laboratório (4 semanas), ou ainda na frequência de cursos de Verão.

## Condições de Admissão

Licenciatura em Física, Física Tecnológica, ou em áreas afins (Química, Engenharia, Matemática). É exigida a classificação mínima de 14 valores ou curriculum equivalente. O Numerus Clausus é de 15.

## Bolsas

A JNICT e o INIC oferecem bolsas de mestrado a candidatos em tempo integral. A JNICT aceita candidaturas em Março, Junho, Setembro e Dezembro (de 1 a 20 de cada mês). É previsível a possibilidade de obtenção de bolsas no âmbito de projectos do programa *Ciência*.

## Datas e Prazos

<i>Candidaturas:</i>	16 de Setembro a 14 de Outubro
<i>Inscrições:</i>	21 de Outubro a 8 de Novembro
<i>Início do Curso:</i>	11 de Novembro

## Informações

Mestrado em Física do Estado Sólido  
e Ciências dos Materiais  
Laboratório de Física, Universidade do Porto  
Praça Gomes Teixeira — 4000 PORTO  
Telef.: 02 - 310290 — Ext. 234 — Fax: 02 - 319267

# THIRD INTERNATIONAL WORKSHOP ON NON-CRYSTALLINE SOLIDS

November 5-8, 1991, Matalascañas, Spain

The Third International Workshop on Non-Crystalline Solids will be held in a hotel of Matalascañas, a seaside place of the «Costa de la Luz» (the Atlantic South-West Spanish Coast), close to the National Park of Doñana, 80 Km far from Sevilla, organized by the Department of Condensed Matter Physics and the Institut of Materials Science (CSIC) of the University of Sevilla. The first workshop in this series was held in San Feliú de Guixols (Costa Brava, Spain) in 1986 and the second one in San Sebastián (Basque Country, Spain) in 1989. The latter was attended by about 100 scientists from 10 countries.

## Scope

The scientific program will cover all aspects of fundamental and technological properties of non-crystalline materials (metallic glasses, nano-crystalline alloys, polymers, semiconductors, optical glasses,...). Different sessions will deal with:

- Processing techniques and structure.
- Physical and chemical properties.
- Relaxation processes and kinetics.
- Technological aspects.

The aim of this inherently interdisciplinary workshop is to provide a forum of discussion among scientists working on different fields of non-crystalline materials.

The structure of each session will be: one or more main lectures of general character and several other shorter oral contributions and posters of a more specific type. Invited and contributed papers will be published as a Volume by World Scientific Publishing Co.

The following scientists have already agreed to present a main lecture:

- F. J. Baltá (C.S.I.C., Madrid, Spain).
- R. W. Cahn (University of Cambridge, U.K.).
- J. M. Dubois (Université de Nancy, France).
- G. Herzer (Vacuumschmelze GmbH, Hanau, Germany).
- M. D. Ingram (University of Aberdeen, U.K.).
- H. T. Savage (Naval Surface Weapons Center, Silver Spring, USA).
- G. Strobl (Universität Freiburg, Germany).
- A. van den Beukel (Delft University of Technology, The Netherlands).
- H. G. Zachmann (Universität Hamburg, Germany).
- J. Zarzkyi (Université de Montpellier II, France).

## Pre-registration

Third International Workshop on non-crystalline Solids  
Prof. A. Conde (Chairman)  
Departamento de Física de la Materia Condensada  
Apartado 1065, E-41080 SEVILLA (Spain)

Or send by Fax: 34-5-4612097

Not later than May 15, 1991

## Registration Fee

The registration fee will be 30,000 pesetas. This fee includes one copy of the Abstracts Booklet, one copy of the Workshop Proceedings, coffee breaks throughout the Workshop, the Conference dinner and an excursion of a half day.



**VOL. 14 • FASC. 1 • MARÇO 1991**

**SUMÁRIO**

<b>A SPF e a Física em Portugal nos anos 90 . . . . .</b>	<b>1</b>
<i>Carlos Matos Ferreira</i>	
<b>Os revestimentos de diamante e o futuro . . . . .</b>	<b>6</b>
<i>José Francisco de Martins de Azevedo e Silva</i>	
<b>Inovações na Educação Científica e Tecnológica. I. Modelos Curri- culares para um Curso de Tecnologia . . . . .</b>	<b>14</b>
<i>Anabela Martins</i>	
<b>Ideias dos alunos sobre o conceito de som . . . . .</b>	<b>22</b>
<i>M. H. Caldeira, M. E. Costa, M. A. Patrício, A. Pinto, E. M. Prata Pina, M. C. Ruivo e Marília F. Thomaz</i>	
<b>Curiosidades e Imagens da Física . . . . .</b>	<b>33</b>
<b>Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>Um pouco de história... . . . .</b>	<b>39</b>