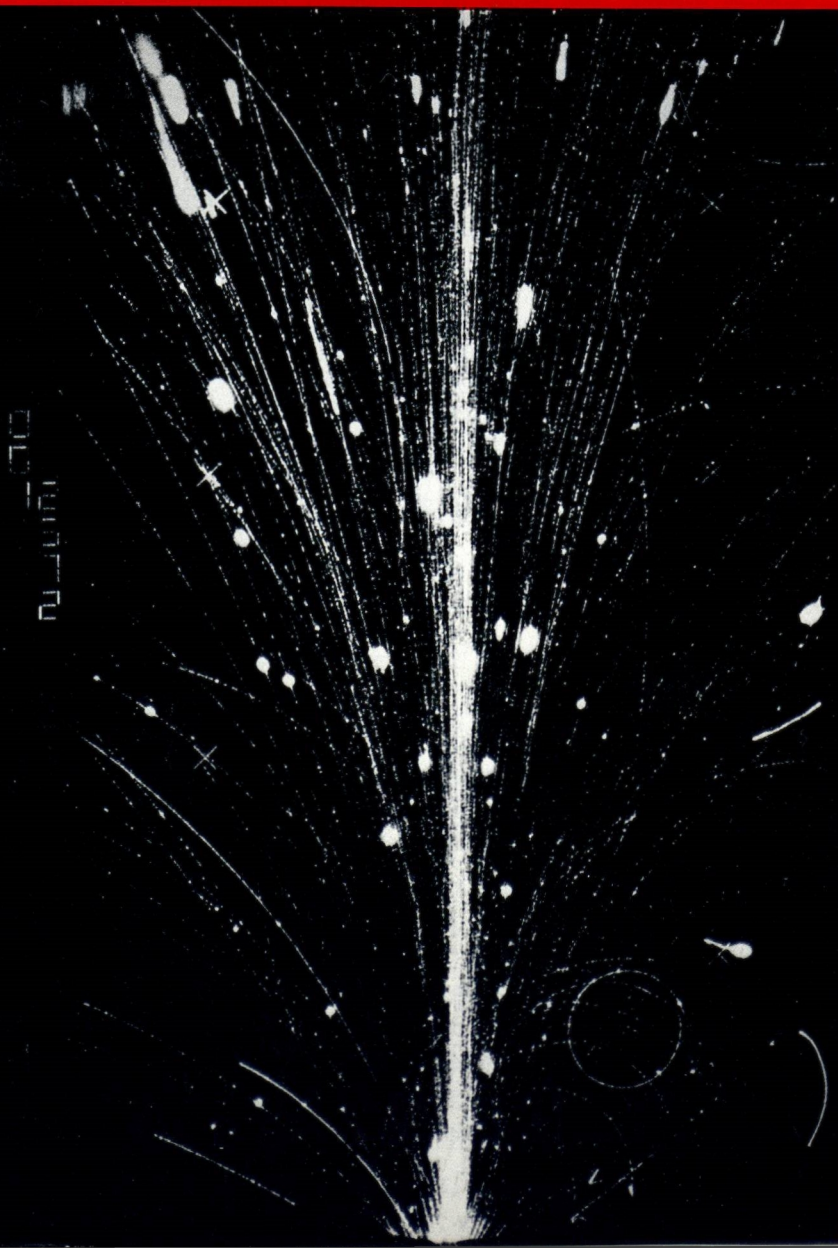


# GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA

NA 35  $^{16}\text{O} + \text{Pb}$  SEPTEMBER 1986



VOL. 10, FASC. 1

Publicação Trimestral

Janeiro a Março 1987

200 GeV por nucleão •  
Fotografia da experiência  
NA 35 no CERN: colisão de  
íões oxigénio de 3200 GeV  
com um alvo de chumbo

# GAZETA DE FÍSICA

Fundada em 1946 por A. Gibert

Propriedade e Edição: Sociedade Portuguesa de Física

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

## *Comissão de Redacção e Administração*

Conselho Directivo da S.P.F.: J. Moreira Araújo, F. Duarte Santos, E. Ducla Soares, J. Bessa Sousa, Rui J. Agostinho, J. Carvalho Soares, M. Amaral Fortes, Margarida R. Costa, Maria José Almeida, M. Pereira de Barros, J. Brochado Oliveira.

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 1000\$00 ; estrangeiro US\$20.**

**Preço do fascículo avulso (sede e delegações da SPF) : 200\$00.**

---

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

## O Ensino da Física em Portugal: Problemas e Perspectivas (\*)

J. N. URBANO

Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

1. Não será por acaso que a primeira sessão desta Conferência é dedicada ao ensino da Física em Portugal. Nem será necessário um grande esforço para imaginar início idêntico para a Conferência Nacional de qualquer outra disciplina que se realizasse nesta altura em Portugal.

Com efeito, o sistema educativo português, nunca tendo atingido o grau de perfeição dos sistemas de outros países culturalmente mais desenvolvidos que o nosso, viu-se recentemente a braços com dificuldades extraordinárias devido ao súbito aumento das populações escolares, numa altura em que o País sofria profundas transformações das suas estruturas políticas, económicas e sociais.

Mas as dificuldades que afligem o ensino da nossa disciplina atingiram uma expressão tal, que dificilmente se poderão considerar normais, mesmo que se tenha em conta o quadro desfavorável acima referido. Os professores e alunos envolvidos no ensino de Física passam provas que ultrapassam bastante o legitimamente admissível. Os elevadíssimos índices de insucesso escolar nas cadeiras de Física e o lugar, bem na cauda, que as licenciaturas nessa disciplina ocupam nas listas de prioridades dos candidatos ao ingresso no ensino superior são apenas dois dos muitos sintomas de que a situação se tornou insustentável.

Os professores estão bem conscientes de que é necessário agir sem delongas. As recomendações do último Encontro Nacional de Física são disso prova insofismável. Mas instalou-se entre eles um clima de pessimismo

difícil de ultrapassar. Enraizou-se no seio da classe a descrença total em que alguma vez as suas preocupações encontrem eco junto dos órgãos do poder. Este cepticismo é justificado pela recepção com que têm sido acolhidas as suas respectivas propostas. Será que as interpretam como a esperada reacção duma classe que vê o seu mester perder gradualmente relevância social? Isto seria um erro com consequências tão graves que me recuso a admiti-lo. Julgo antes que se trata da nossa nacional maneira de encarar os problemas: ou se ignoram ou se disfarçam com remendos. Ora, no estágio actual de desenvolvimento da sociedade portuguesa, ignorá-los poderá custar muito caro e no tecido do nosso sistema educativo já não se vislumbra a teia que suporte mais remendos.

Chegou pois a hora de começar a edificar de raiz, assentando os alicerces nas bases sólidas do estudo e da reflexão. Hora esta que não poderá ser por muito mais tempo adiada, pese embora o nosso tradicional marasmo. É esta nota de optimismo que gostaria, caros colegas, compartilhassem comigo no final desta sessão.

2. Permitam-me que utilize uma analogia bem simples. Quando pretende atalhar o mal que aflige o paciente, o médico começa por estabelecer, com o rigor possível, a sintomatologia da doença. Recorrendo depois a todo o seu saber e experiência, ponderará os vários sintomas, para determinar a sua causa. Só

---

(\*) Sessão plenária da 5.ª Conferência Nacional de Física, realizada em Braga de 30 de Setembro a 3 de Outubro de 1986.

então receita a terapêutica adequada. Adequada à causa da doença, evidentemente, e não aos seus sintomas.

No caso que nos interessa — o ensino da Física em Portugal — a sintomatologia é tão variada que não tenho dúvidas de estarmos perante um conjunto de várias causas con-  
correntes. Sendo assim, é necessário recorrer simultaneamente a vários especialistas! Esta conclusão, duma simplicidade desarmante, nunca foi, no entanto, explorada em todas as suas consequências.

Os professores de Física sentem-se na pele daquele doente que está farto de expor os seus padecimentos sem que para eles tenha conseguido qualquer alívio. É portanto natural que se sintam cansados e se interroguem seriamente se vale a pena continuar com tal porfia. Julgo que sim! E posso avançar duas razões para suportar esta afirmação. A primeira é que é possível, nos condicionalismos actuais, senão curar, pelo menos aliviar consideravelmente a situação presente. A segunda tem a ver com a nossa obrigação de cidadãos a quem foram facultadas oportunidades de instrução negadas à maioria dos portugueses. O ensino da Física em Portugal, por muito que nos toque e diga respeito, é assunto que largamente nos transcende. É por demais evidente que a não resolução em devido tempo dos problemas que ora o afectam se vai reflectir muito negativamente no ritmo e grau de desenvolvimento económico, social e cultural do nosso país. Estando conscientes deste facto, é nosso dever alertar para ele, uma e outra vez, os órgãos do poder e a opinião pública, até que a mensagem chegue ao seu destino. Dadas as dificuldades de toda a ordem com que o nosso povo se debate, a História não compreenderia o nosso silêncio.

3. Não me vou alongar na descrição dos problemas que ora nos preocupam. Eles não são, infelizmente, muito diferentes dos que existiam dois anos atrás, quando foram tratados na 4.<sup>a</sup> Conferência Nacional de Física, realizada em Évora. Remeto por conseguinte os colegas para as respectivas publicações<sup>(1)</sup>. Mas não resisto a referir alguns deles, pois nunca é demais chamar a atenção para a situação que

queremos detectar. Por conveniência pessoal, que não afectará as conclusões que procuro tirar, colocar-me-ei na posição de alunos e professores dos ensinos secundário e universitário.

O aluno do ensino secundário sente-se, em geral, pouco atraído pelo estudo da Física. Acha as aulas fastidiosas, as matérias difíceis, a exigência dos professores injustificada. Quando lhe é dado optar entre duas cadeiras, e uma delas é de Física, escolhe a outra, nem que esta seja de geografia e ele pretenda mais tarde ingressar num curso universitário de Ciências ou Engenharia. Sente, talvez de forma pouco consciente, mas nem por isso menos profunda, que os conhecimentos de Física que o obrigam a adquirir pouco têm a ver com o mundo actual e não o tornarão mais apto para enfrentar as dificuldades que o aguardam na vida activa.

O professor do ensino secundário entende que o estudo de Física começa demasiadamente tarde, não havendo tempo para a exposição apropriada dos conceitos mais importantes dos vários ramos da disciplina. Entende, por outro lado, que as matérias curriculares estão desinseridas da realidade do mundo actual, o que desmotiva os alunos e torna a leccionação bastante penosa. Não se sente habilitado, devido à formação que lhe foi proporcionada, para satisfazer a natural curiosidade dos alunos sobre as últimas descobertas da Física e as bases físicas das constantes e fascinantes inovações tecnológicas. Sabe que não se deve confundir o conhecimento das leis que regem os fenómenos naturais com o das diversas manifestações dessas mesmas leis. Percebe que são tipos de conhecimento diferentes que exigem graus de abstracção muito diversos e aceita que o ensino da Física deve incidir sobretudo sobre o primeiro. Mas vê por experiência vivida, que não é fácil convencer os alunos a fazerem o esforço necessário para aprenderem os conceitos mais abstractos sem que sejam primeiramente motivados para esse esforço

---

(1) Vide Gazeta de Física, 7, 70 (Outubro 84).

com aplicações desses conceitos nas quais reconheçam utilidade prática. Acha que os currícula actuais não põem ênfase suficiente nesta metodologia.

Julga também que foi um erro acabar com as aulas teórico-experimentais. E não compreende que os currícula dos alunos dos ensinamentos técnico-profissional, profissional e dos que pretendem ingressar em cursos superiores sejam perfeitamente idênticos. Pensa ainda que é incorrecto negar saídas de emprego aos alunos dos cursos profissionalizantes ao mesmo tempo que se gastam rios de dinheiro com cursos para a inserção de jovens na vida activa organizados à margem das escolas do sistema educativo nacional. Não compreende que se neguem salários condignos aos professores devidamente habilitados quando se pagam 7.000\$00 à hora a monitores arrançados ad hoc. Não entende também como continua a haver tanto desentendimento entre duas Secretarias de Estado do Ministério da Educação. Julga que o ensino de Física deveria estar separado do de Química. Não tem recebido da Universidade todo o apoio que esta instituição poderia prestar, nomeadamente através da utilização de laboratórios de demonstrações especiais que poderiam ser visitados periodicamente por professores e alunos.

Finalmente, lamenta que não estejam previstos no seu estatuto mecanismos que incentivem os professores a actualizarem os métodos de ensino e os conhecimentos científicos.

Quanto aos alunos do ensino superior, o primeiro facto marcante é que a maioria dos que frequentam cursos de licenciatura em Física gostaria de frequentar outro curso. Dos restantes alunos dos cursos de Física, os que seguem o ramo científico possuem em geral uma vocação forte e, para eles, qualquer tipo de ensino serve, desde que cientificamente válido. Mas o mesmo já se não pode dizer dos que optaram pelo ramo educacional, que se queixam de currícula inapropriados, e de serem tratados como alunos de segunda escolha.

Para os alunos dos cursos de licenciatura em Ciências e Engenharia, a Física é uma disciplina que se tem que fazer porque a Universidade não lhes passa a certidão de licenciatura sem documento comprovativo de

aproveitamento em todas as cadeiras curriculares, as de Física incluídas. Sempre que possível deixam-nas para o fim da licenciatura. Dum modo geral entendem que as cadeiras de Física são demasiadamente difíceis e não têm utilidade.

O professor universitário acha que os alunos que ingressam em cursos de Ciências e Engenharia possuem, dum modo geral, uma preparação em Física muito deficiente. Notam que não mais de 20 % do total frequentaram com aproveitamento a disciplina de Física do 12.º ano de escolaridade. Não compreendem como essa cadeira não é exigida a todos os candidatos a cursos naquelas áreas. Reconhecem que não dão o apoio necessário aos seus colegas do secundário, mas culpam o sistema de progressão na carreira por não valorizar a dedicação pedagógica. Reconhecem também que deveriam dar mais atenção à formação dos professores do ensino secundário, mas que não têm incentivos para tal.

E fico-me por aqui. Mesmo sem me referir aos problemas com que se defronta o ensino da Física nos diversos institutos superiores, nas Escolas Superiores de Educação e nos cursos de pós-graduação, já ficamos com uma caracterização da situação suficientemente boa para se tirarem conclusões.

Mas, antes de prosseguir permitam-me que faça notar que a crise da Física no nosso País não é diferente da de outros países em vias de desenvolvimento. Nalguns destes o número de alunos tem vindo a decrescer a um ritmo muito acelerado e há países onde a Física deixou de ser uma disciplina obrigatória. Pode assistir-se em breve ao crescimento de gerações inteiras de analfabetos científicos numa era saturada de Ciência e Tecnologia. Julgo que isto não vai acontecer no nosso País. Mas temos de nos consciencializar que para fugirmos a essa situação desesperante é necessário começar desde já a inverter o processo a que se assiste presentemente. Trata-se afinal de saber que grau de autonomia científica pretendemos para a nossa cultura e para o nosso sistema produtivo! Trata-se afinal de saber em que medida desejamos preservar a nossa identidade nacional!

4. Podem enfrentar-se os problemas que acabámos de referir de duas formas distintas. A primeira consiste em considerar cada um deles de per si, e tentar corrigi-lo independentemente dos outros.

Exemplo: A Física começa a ensinar-se demasiado tarde nas Escolas do Ensino Secundário. Pois bem, consiga-se que seja publicada legislação que obrigue a começar-se o ensino da Física mais cedo.

Outro exemplo: A articulação entre as Escolas do Ensino Secundário e as Universidades é defeituosa. Devem procurar-se mecanismos, legislativos ou outros, que alterem a situação no sentido pretendido.

Ainda outro exemplo: Os alunos entram na Universidade com deficiente formação em Física. Solução: deve convencer-se o Governo a tornar obrigatório um certo currículo mínimo de Física para os alunos do Ensino Secundário que pretendem frequentar cursos superiores de Ciências ou Engenharia.

Ainda outro exemplo: Os alunos não se sentem atraídos pelas cadeiras de Física, acham-nas difíceis e inúteis. A solução é muito fácil: tornem-se as cadeiras mais atractivas diminuindo a componente quantitativa e aumentando a descritiva. Com certeza que há fenómenos cuja descrição fascinará os alunos. Porquê quantificá-los?

E assim sucessivamente.

Julgo que tornei claro o que pretendo provar. Este método de resolução pontual dos problemas, os remendos que atrás referi, é aquele que será mais facilmente aceite pelos órgãos do poder. E, diga-se de passagem, poderá minimizar muitos dos problemas e aliviar a situação. Mas, aplicado sistematicamente, poderá levar também à completa distorção dos objectivos que se pretendem atingir com o ensino da Física em Portugal.

Na forma globalizante de encarar os problemas começa-se precisamente por definir esses objectivos e só depois se escolhem os meios e os processos de os alcançar. É este, em meu entender, o método que devíamos propor e defender. Não será fácil pô-lo em

prática, pois antevejo obstáculos de vária ordem. Mas se eles forem ultrapassados o País ficará dotado dum sistema de ensino de Física com objectivos bem determinados e na execução do qual estarão comprometidos o Governo, as instituições de ensino, e os professores. Devo lembrar que algo de semelhante já foi tentado, com algum sucesso, na disciplina de Matemática.

A primeira dificuldade que antevejo é a indisponibilidade que os Governos têm mostrado para se comprometerem com projectos a longo prazo. Esta atitude é aliás, de certo modo compreensível, pois eles têm exercido o poder por períodos relativamente curtos e em situações de equilíbrio bastante precário. A acrescentar a isto, o ensino de Física não se encontra nos manuais da CEE como actividade prioritária para ser financiada pelos fundos comunitários. Há pois que contar com algumas dificuldades do lado governamental.

Antevejo também algumas dificuldades iniciais por parte das Instituições, em especial das Universidades, que poderão ver num projecto de plano global do ensino de Física uma ameaça à sua autonomia científica, mas essas, julgo, seriam facilmente ultrapassadas.

Conto, evidentemente, com a comunidade dos físicos portugueses e com os professores.

5. Na prática, ter-se-ia que convencer os órgãos do poder de que é do interesse nacional fazer uma revisão profunda do ensino da Física em Portugal. Para isso ter-se-ia que juntar toda a documentação das agências internacionais e dos investigadores com créditos firmados que relacionam de modo inequívoco o desenvolvimento económico dos países com o estudo da Física.

Dever-se-ia também chamar a atenção para o papel que o estudo da Física pode desempenhar na formação dos jovens, criando-lhes hábitos de rigor e de respeito pela verdade que, difundidos, muito contribuiriam para a boa harmonia das sociedades.

Estes princípios uma vez aceites, deveriam iniciar-se estudos preliminares, que deveriam ficar a cargo de uma comissão de especialistas qualificados abarcando todos os aspectos do

problema e que tivessem em conta os eventuais planos de desenvolvimento económico para o País. Passar-se-ia depois à discussão pública das propostas resultantes desse estudo prévio, finda a qual a comissão elaboraria o relatório final. Este serviria de base para a subsequente legislação.

Não vejo outra forma de encarar seriamente os problemas do ensino da Física em Portugal, e por esta razão apresento-a aqui como sugestão para a S.P.F. Se a aceitar, e se houver vontade necessária para a pôr em prática, julgo que podemos encarar o futuro com algum optimismo.

Mas há ainda outras razões para sermos optimistas. Uma resulta da semente, que em boa hora foi lançada à terra (nas décadas de 50 e 60) por alguns dos nossos colegas mais esclarecidos, ter crescido e multiplicado. Assim, possuímos hoje uma comunidade de físicos que pesam já significativamente no panorama científico e cultural do País.

A outra é que qualquer política de desenvolvimento para o País que pressuponha um mínimo de autonomia científica possuirá forçosamente uma forte interacção com a comunidade dos físicos portugueses.

Finalmente, nota-se por parte dos jovens uma natural avidez de conhecimento, que não pode deixar de funcionar para nós como estímulo aliciante.

Para terminar, quero endereçar uma palavra de apreço para todos os colegas que ao longo dos anos têm sofrido a incompreensão dos alunos e da sociedade por causa do rigor e exigência que têm posto no exercício da sua profissão.

A Física é uma ciência de rigor e de verdade! A Natureza, o Universo todo, é o seu objecto e o seu juiz. As mais bem engendradas e belas teorias têm caído por terra porque falharam no confronto com a realidade. Numa sociedade dilacerada pelas maiores contradições, onde as estratégias de sucesso não respeitam os mais elementares preceitos éticos, é reconfortante saber-se que existe um domínio onde a inverdade não pode sobreviver demasiado tempo!

### **3.º Congresso Ibérico de Energia Solar**

Madrid, 22-24 Abril 1987

A Sociedade Portuguesa de Energia Solar e a sua congénere espanhola realizam de 22 a 24 de Abril de 1987, em Madrid, o 3.º Congresso Ibérico e o 1.º Ibero-Americano de Energia Solar. Informações e inscrições: Secretaria do 3.º Congresso Ibérico, Sociedade Portuguesa de Energia Solar, Edifício AIP, Pr. das Indústrias, 1399 Lisboa Codex.

### **Nuclear Physics Applications on Materials Science**

Viana do Castelo, 6-18 Setembro 1987

A Divisão de Física Nuclear e Partículas da SPF atribui uma bolsa no valor 105.000\$00 para permitir a um doutorando participar nesta Escola de Verão. As candidaturas — curriculum vitae e uma carta de recomendação — deverão ser enviadas para: Sociedade Portuguesa de Física, Divisão FNP, Av. da República, 37-4.º, 1000 Lisboa.

### **II Escola Ibérica de Física da Matéria Condensada**

Figueira da Foz, 14-25 Setembro 1987

Foram já enviados para as Delegações Regionais exemplares da 1.ª circular desta Escola de Verão, cujo tema será «Fenómenos Cooperativos» (vide Gazeta de Física, vol. 9, Out. 1986, p. 125). Para mais informações, os interessados poderão contactar a Sociedade Portuguesa de Física, Av. da República, 37-4.º, 1000 Lisboa, Tel. (01) 773251.

## A SPF e o Ensino da Física a nível secundário

*De acordo com preocupações manifestadas na Conferência Nacional de Física — Física 86, sobre o estado do ensino da Física em Portugal, o Secretário-geral da SPF, Prof. F. D. Santos, e o Coordenador da Divisão de Educação da SPF, Dr. J. Valadares, enviaram ao Ministério da Educação, em Novembro findo, uma carta em que se sintetizam os pontos fundamentais da problemática desse ensino, que a seguir se transcrevem.*

As disciplinas de Física no ano terminal do ensino secundário não constituem actualmente disciplinas obrigatórias para nenhum curso universitário. Significa isto, por exemplo, que para ingressar numa Licenciatura em Física numa Universidade não é indispensável a frequência da disciplina de Física do 12.º ano de escolaridade. É uma situação gravemente anómala que prejudica os alunos na sua formação e gera grandes dificuldades ao ensino da Física nas Universidades. É uma situação única entre os países europeus que é urgente corrigir. *Entendemos que deverá ser obrigatória a frequência de disciplinas de Física nos 3 anos do Curso Complementar do Ensino Secundário para ingresso em vários cursos superiores, designadamente: Licenciaturas em Física e áreas afins, Licenciaturas em Engenharia e Licenciaturas em Química e áreas afins.*

Actualmente a Física que se ensina nas escolas secundárias não é, na maioria dos casos, baseada em actividades experimentais. O ensino é livresco, meramente dedutivo e teorizante sem suporte na observação e na experimentação. Esta situação gera no aluno a ideia de que a Física não é uma ciência experimental e torna o ensino desmotivante e desadequado perante o actual desenvolvimento científico e tecnológico. Nestas circunstâncias, o ensino da Física torna-se, com frequência, ridículo aos olhos de alunos que, hoje em dia, são permanentemente confrontados no quotidiano com um acelerado desenvolvimento tecnológico. Este desajustamento entre o ensino da Física e a

realidade dos nossos dias é especialmente agravado porque é precisamente a Física que baseia e promove aquele acelerado desenvolvimento tecnológico.

Numa perspectiva metodológica o erro não é menor, porque se despreza uma fase prioritária na assimilação dos conceitos que é a fase indutiva, operacional, concreta em que se deve basear a aprendizagem.

*Entendemos que se deveriam introduzir a partir do ano lectivo de 1987/1988 actividades experimentais com carácter de obrigatoriedade e com consequente avaliação no ensino da Física ao nível dos 10.º, 11.º e 12.º anos de escolaridade.* A introdução de actividades experimentais deveria ser suportada por um aumento dos tempos lectivos das disciplinas de Física da ordem de 2 h semanais para cada aluno e 2 h semanais por grupos até 12 alunos para cada professor (para permitir actividades experimentais por grupos). Pensamos que a introdução de actividades experimentais no ensino da Física não requer meios materiais muito elevados. Podem realizar-se variadas experiências como real interesse didático utilizando material muito acessível e fácil de construir. A S.P.F. prontifica-se a demonstrar na prática esta afirmação. Sugere-se também uma redistribuição do equipamento existente pois regista-se excessos em algumas escolas e faltas noutras.

Uma análise dos actuais programas de Matemática, Física e Química no ensino secundário revela claramente a ausência de uma coordenação entre os diferentes programas. O programa de Matemática é feito por um grupo de professores de matemática em obediência exclusiva ao que esse grupo considera necessário o aluno aprender sobre a disciplina e sem atenção à matemática que poderá ser indispensável ao ensino da Física no mesmo ano ou em anos posteriores. A divisão entre matérias a ser ensinadas em Física ou em Química é por vezes extremamente arbitrária e sem qualquer relação com o actual conteúdo e prática destas ciências.



*Entendemos que se impõe a necessidade de ter uma visão coordenada e integrada do ensino da Matemática, Física e Química a todos os níveis do ensino secundário. Tal como em países mais desenvolvidos do que o nosso deveria existir um organismo integrando no mínimo professores de Matemática, Física e Química cuja função seria a da coordenação de programas na área das ciências exactas. Finalmente chamamos a atenção para a disponibilidade da Sociedade Portuguesa de Física colaborar com as Sociedades Portuguesas de Matemática e de Química na execução desta acção de coordenação de programas.*

Consideramos que os três problemas apresentados são graves e estão a prejudicar profundamente a formação de alunos que mais tarde irão exercer profissões importantes para o desenvolvimento social, económico, científico e cultural do país, tais como: medicina, engenharia, biologia, química, física, etc. Urge pois corrigir a situação e encontrar soluções. A Física actualmente é considerada por muitos alunos como enfadonha, sem ligação com a realidade do quotidiano, apenas um obstáculo arbitrário colocado no caminho para a Universidade. São ideias erradas reveladoras de uma situação anómala, gravemente lesiva dos interesses dos alunos e do país.

Para além dos três problemas apontados e das propostas de solução que aqui deixamos existem outros de menor prioridade sobre os quais gostaríamos de transmitir superiormente a opinião da Sociedade Portuguesa de Física.

*Consideramos que o ensino da Física e da Química deveria regressar ao 7.º ano de escolaridade. Há actualmente uma componente*

demasiado pobre e pequena de Física e Química na disciplina de Ciências da Natureza.

*Para atingir uma maior eficácia no ensino a Física e a Química deveriam constituir duas disciplinas separadas ao nível do 10.º e 11.º anos de escolaridade. No sistema actual é extremamente frequente não ser possível leccionar grande parte do programa de Física ou do programa de Química devido a um desajustamento do programa em relação ao tempo disponível ou devido a uma deficiente programação do ensino da matéria ao longo do ano ou devida ao facto de muitos professores só possuírem uma preparação sólida numa dessas áreas. A criação de duas disciplinas distintas permitiria a elaboração de um programa mais equilibrado e capaz de ser cumprido no tempo disponível.*

*Consideramos que é necessário um maior investimento na reciclagem e formação contínua de professores de Física do ensino secundário.*

Este é um dos meios mais importantes para melhorar a qualidade do ensino na área das ciências exactas e de garantir que esse ensino acompanhe o desenvolvimento científico e tecnológico e seja capaz de formar pessoas capazes de o promover. Importa referir aqui a disponibilidade da S.P.F. em colaborar nestas tarefas bem como salientar os cursos de actualização e reciclagem que realiza periodicamente.

*O assunto foi já superiormente encaminhado para a Direcção-Geral do Ensino Secundário, e submetido também à Comissão Nacional para a reestruturação dos programas do Ensino Secundário, recentemente criada.*

**Todo o equipamento :**

**nucleon**

EQUIPAMENTOS DE PRECISÃO LDA

DIDÁCTICO • TÉCNICO • CIENTÍFICO • DESENHO  
PAPELARIA TÉCNICA • TOPOGRAFIA E GEODESIA

Para: ESCOLAS • UNIVERSIDADES • INVESTIGAÇÃO • INDÚSTRIA

Av. Columbano Bordalo Pinheiro, 57-A — Telef. 724748/722039 — 1000 LISBOA  
Telex MUNTER 16691 COIMBRA E PORTO — Av. Sá da Bandeira, 62, Telef. 33778, 3000 COIMBRA

# Apontamento sobre a Física em Portugal no século XVIII. Um instrumento notável do Museu de Física do Departamento de Física da Universidade de Coimbra (\*)

LUIZ ALTE DA VEIGA

Departamento de Física, Universidade de Coimbra

O Museu de Física do Departamento de Física da Universidade de Coimbra possui na sua excelente colecção de instrumentos do século XVIII uma máquina de Atwood que é uma peça verdadeiramente notável. Para bem o realçar começaremos por focar alguns aspectos relacionados com a Física e os cientistas dessa época.

Foi no reinado de D. João V (1706-1750) que surgiu a preocupação pelas novas correntes da física e da matemática; este monarca mandou para o estrangeiro Bento de Moura Portugal que esteve na Hungria, Alemanha e Inglaterra; a maioria dos seus inventos pertencem à hidráulica, e segundo o que escreveu o alemão H. Osterrieder «depois do grande Newton em Inglaterra, só Bento de Moura em Portugal». Durante a sua estadia em Londres apresentou à Royal Society, de que foi sócio, o seu trabalho sobre a elevação da água por meio do fogo; este trabalho mereceu também a aprovação da Academia das Ciências de Paris.

Quando o astrónomo francês Gabriel de Bory se deslocou a Portugal para observar o eclipse solar de 26 de Outubro de 1758, visitou Coimbra e aí criou amizade com João Jacinto de Magalhães que então pertencia à congregação dos cônegos regrantes de Santo Agostinho do Mosteiro de Santa Cruz de Coimbra. Nos escritos de Bory, a Universidade aparece em segundo plano, enquanto que aquele astrónomo se refere aos cônegos de Santa Cruz nestes termos: «cultivam as ciências com sucesso, lêem as obras de Newton».

Durante o reinado de D. José I (1750-1777) foi seu ministro o Marquês de Pombal que com a morte do rei caiu em desgraça, tendo sido

julgado e exilado em 1779, vindo a falecer em 1782.

O período 1759-1777 do governo do Marquês de Pombal foi de terror, não escapando à perseguição cientistas ilustres como Bento de Moura Portugal que, encarcerado no Forte da Junqueira em 1760, aí faleceu em 1776. Durante a sua prisão escreveu a obra *Inventos e vários planos de melhoramentos para este Reino*. No seguimento de uma política de orientação estatal no ensino, o Marquês de Pombal fundou em 1761 o Real Colégio dos Nobres, em 1767 acabou com a actividade cultural do Mosteiro de Santa Cruz de Coimbra e em 1772 reformou a Universidade de Coimbra. Foram contratados professores estrangeiros, enquanto portugueses ilustres estavam na prisão ou exilados. João Jacinto de Magalhães saiu de Portugal entre 1756 e 1758 «resolvido a não viver senão sob um governo onde a liberdade pessoal esteja ao abrigo do despotismo ministerial». Começou por se dirigir para Paris, mas não tendo conseguido ali os recursos de que necessitava e tendo resolvido não regressar a Portugal, foi para Londres em 1764, cidade onde se notabilizou mercê dos seus inventos e interesses científicos. Foi na capital de Inglaterra que a mecânica de precisão atingiu nessa época o seu maior expoente com construtores de renome tais como Dollond, Adams e Jesse Ransden. A construção inventada por Magalhães para os octantes e sextantes foi executada em 1773 por Jesse Ransden.

---

(\*) Trabalho apresentado na I Reunión de Historia de las Ciencias y de la Técnica de los Países Ibéricos y Iberoamericanos (Madrid, Setembro 1984).

Sendo sócio correspondente da Academia das Ciências de Paris desde 1771, a sua capacidade intelectual e dotes inventivos foram reconhecidos em 1774 de maneira extraordinariamente brilhante: foi admitido como sócio da famosa sociedade científica inglesa, a Royal

Society, por proposta assinada por Joseph Priestley, Benjamin Franklin, William Jones, Josiah Banks, William Hunter e Mathieu Maty. Este notável certificado do seu valor abriu-lhe as portas das mais reputadas agremiações científicas da época: Academias das Ciências de Bruxelas, Lisboa, Madrid e Berlim, Academia Imperial das Ciências de S. Petersburgo, Sociedades Filosóficas de Filadélfia, Harlem e Manchester.

Após a sua admissão na Royal Society passou a corresponder-se com numerosos sábios entre os quais Herschel, Volta, Lavoisier, Banks, Nairne, Watt, Priestley.

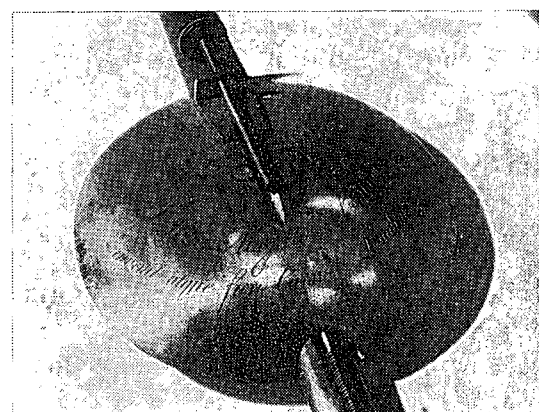
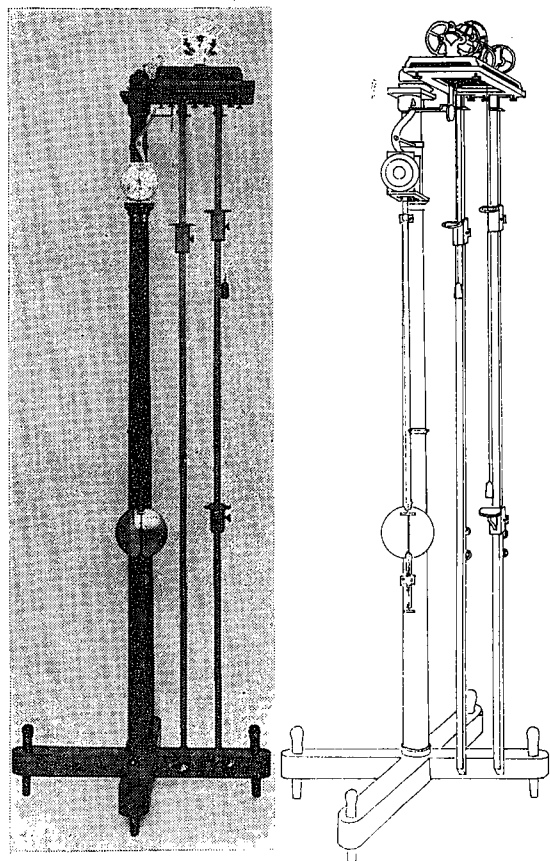
João Jacinto de Magalhães prestava informações sobre as novidades científicas e progressos técnicos, e alguns correspondentes a ele recorriam para encomendarem instrumentos de precisão ou para darem a conhecer à Royal Society os seus inventos e publicações.

Foram precisamente os instrumentos de precisão que constituíram uma faceta em que se notabilizou, pois supervisionava a sua construção, que garantia, e na qual eram, por vezes, incluídos inventos seus. Assim vários laboratórios da Europa foram reequipados com instrumentos obtidos por intermédio de Magalhães e foi também com instrumentos fornecidos por Magalhães que se fizeram as observações nas viagens de Cook e José Espinosa y Tello.

A Academia das Ciências de Lisboa foi fundada em 1779, dois anos após a demissão do Marquês de Pombal, e em 1780 João Jacinto de Magalhães foi eleito seu sócio correspondente. É de salientar o facto de Magalhães se haver oferecido como informador científico porque «tendo a honra de ser solicitado frequentemente por membros de várias Sociedades Literárias da Europa para a comunicação do que ocorre à minha notícia que seja útil ao progresso das Ciências e Artes, não quisera ter o desgosto de suspeitar que um tal zelo se acha dormente na minha Pátria».

Foi Magalhães que informou Volta, em 1780, do invento de Atwood.

O Gabinete de Física Experimental da Universidade de Coimbra adquiriu por intermédio de Magalhães, em 1782, uma máquina



Fotografia e esquema da máquina de Atwood referida no texto; a ampliação da pêndula mostra a inscrição *J. H. Magellan Lusitanus invenit atque fieri Curavit Londini.*

de Atwood que custou 26 guinéus (97\$240 réis). O modelo de Coimbra possui uma pêndula, da invenção de Magalhães, destinada a medir certos intervalos de tempo e que tem gravada a seguinte inscrição: J. H. Magellan Lusitanus invenit atque fieri Curavit Londini (J. J. Magalhães, Lusitano inventou e supervisionou o fabrico em Londres).

## REFERÊNCIAS

- JOAQUIM DE CARVALHO — Correspondência Científica dirigida a João Jacinto de Magalhães, Revista da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, vol. XX, Coimbra, 1952.
- RÓMULO DE CARVALHO — História do Gabinete de Física da Universidade de Coimbra, Biblioteca Geral, Universidade de Coimbra, 1978.
- Enciclopédia Verbo.

# Laboratório de Mecânica assistido por computador

## Uma experiência de Ensino ao alcance de todos (\*)

A. A. MELO, A. M. GONÇALVES e M. M. MARTINS

Departamento de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa  
R. Ernesto de Vasconcelos, Edifício C1, 1700 LISBOA

*Descreve-se neste trabalho uma realização experimental de um processo de medida de tempo baseado em micro-computador ZX-Spectrum. Mostra-se a sua utilização em experiências didácticas de mecânica, utilizadas em aulas introdutórias a nível universitário, e sugere-se a sua fácil adaptação para uso a nível do ensino secundário.*

### 1. INTRODUÇÃO

Em artigo anterior [1] enunciaram-se as diversas áreas de aplicação do computador no ensino, nomeadamente no que se refere à simulação de experiências e à medição assistida por computador. Aí se pôs em relevo a importância desta segunda aplicação nomeadamente em matérias em que a observação experimental não deve ser substituída pela simples manipulação de modelos matemáticos. Esta situação é particularmente relevante no ensino da Física (como ciência eminentemente experimental), pelo que se torna extraordinariamente atractiva a utilização de medição assistida por computador em aulas laboratoriais. É neste domínio que pode o computador ser utilizado em toda a sua potencialidade como auxiliar do processo de observação, em contraponto com o que ocorre em outros usos em que é estritamente utilizado para simular a experimentação. Para ilustrar este princípio, descreve-se neste artigo uma implementação

de um laboratório didáctico de mecânica assistido por computador.

Num laboratório de mecânica as grandezas a medir directamente são essencialmente tempos e distâncias. A gama de valores de interesse para a grandeza tempo situa-se normalmente entre os centésimos e as dezenas de segundo. É a medição deste que determina fundamentalmente o erro final cometido na medição das outras grandezas dele derivadas. A precisão obtida na medição dos tempos por utilização de cronómetros manuais compromete no geral a qualidade da observação experimental, e consequentemente, o objectivo pedagógico a atingir. É pois necessário melhorar a precisão do cronómetro utilizado. A introdução da electrónica veio parcialmente resolver este problema, permitindo uma melhor precisão na medição do tempo, por recurso a contadores

---

(\*) Trabalho apresentado na 5.<sup>a</sup> Conferência Nacional de Física, realizada em Braga de 30 de Setembro a 3 de Outubro de 1986.

comandados automaticamente por detectores electro-mecânicos ou electro-ópticos. Estes sistemas não apresentam, no entanto, grande flexibilidade, por as condições de controlo serem impostas por cada uma das situações físicas em que são utilizados. A possibilidade de programar um instrumento de medida é apenas possível recorrendo a um computador (ou em última análise a um microprocessador dedicado). Um microcomputador permitiu-nos assim realizar um tal instrumento, com a vantagem adicional, de ao efectuar a aquisição directa de dados proporcionar de imediato o desenvolvimento de outras estratégias de ensino assistido.

Nos parágrafos seguintes descreve-se o instrumento utilizado nas suas componentes físicas e de suporte lógico (programação), assim como a descrição particular de experiências com um pêndulo, discutindo-se aí a qualidade e flexibilidade de utilização. Referir-se-ão igualmente outros dispositivos experimentais já testados, que serão descritos em próximos trabalhos. Em paralelo, mostra-se como o mesmo pode ser utilizado em aulas do ensino secundário, quer de demonstração pelo professor, quer para utilização directa pelo aluno.

## II. DESCRIÇÃO DO APARELHO

### II.1. Estrutura global

Com base em sugestões feitas por R. A. Sparkes [2], escolhemos como elementos de trabalho o microcomputador Sinclair ZX Spectrum 48K, dotado de uma interface comercial para «joystick» (Timex Joystick Sound Unit). Esta última liga-se a um detector de passagem de objectos, construído no laboratório. A principal preocupação da escolha foi a de utilizar o maior número possível de elementos disponíveis no mercado português.

### II.2. Detector de passagem de objectos

A detecção da passagem de um objecto por uma dada posição espacial pode ser efectuada muito simplesmente por interrupção mecânica de um circuito eléctrico. De modo a não alterar

sensivelmente as características do movimento, dever-se-á utilizar uma ligação eléctrica de baixa resistência mecânica ao choque, o que pode ser materializado através de um elemento do circuito constituído por uma tira estreita de folha de alumínio (daquela normalmente utilizada para usos domésticos).

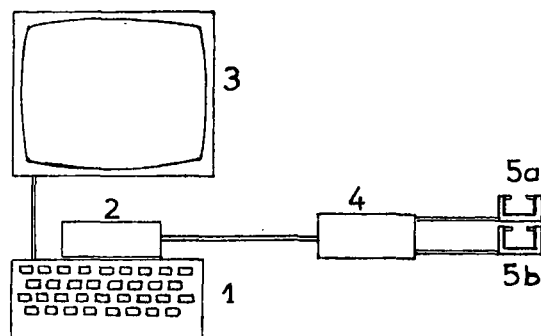


Fig. 1 — Esquema geral do instrumento: (1) microcomputador ZX Spectrum (2) Interface Timex Sound Unit Joystick (3) Monitor ou televisor (4-5) detectores de passagem de objectos (5) sensores.

Este sistema, apesar de fácil construção, não é prático de utilizar em medidas repetitivas, pois obriga à reconstrução sucessiva do circuito original. Uma melhor aproximação é obtida através da interrupção de um feixe luminoso pela interposição do objecto. Neste segundo caso será necessário detectar electronicamente a interrupção do feixe luminoso. É este o princípio em que assenta o nosso detector de passagem de objectos.

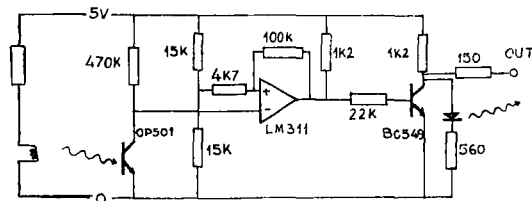


Fig. 2 — Esquema do detector de passagem de objectos.

O esquema electrónico simplificado encontra-se esquematizado na Fig. 2. O sensor utilizado é constituído por uma pequena lâmpada de lanterna de mão (alimentada por corrente contínua), e por um fototransistor (sensível à

radiação visível). A passagem de um objecto entre a lâmpada e o fototransistor permite a sua detecção no tempo.

O circuito de acoplamento entre o sensor e a interface consiste essencialmente num comparador de tensão (com malha de realimentação positiva) (ver [2], pág. 99), dando um sinal digital de presença do objecto (interrupção de feixe luminoso — nível 0) ou da não presença do objecto em frente do sensor (não interrupção do feixe luminoso — nível 1). O diagrama temporal da saída do detector encontra-se esquematizado na Fig. 3.

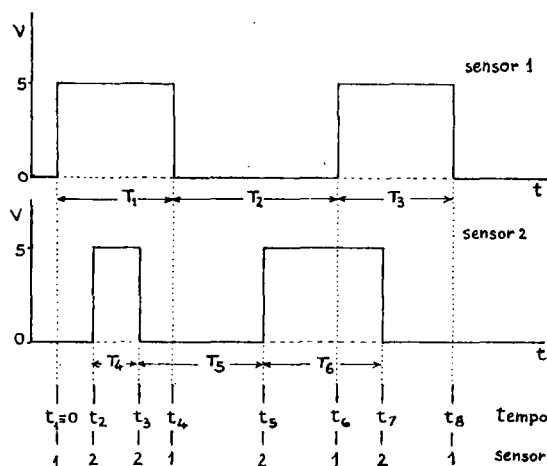


Fig. 3 — Diagrama temporal dos sinais à saída do detector de passagem de objectos. Os instantes  $t(i)$  representam os tempos de ocorrência de transições (eventos elementares). Os  $T(i)$  representam os intervalos de tempo correspondentes a ocorrências consecutivas para um determinado detector.

A saída digital do detector é ligada directamente a uma das cinco linhas de entrada disponíveis na interface Timex Joystick. Como normalmente são necessárias medidas de tempo em duas zonas espaciais distintas, o nosso detector suporta dois sensores em simultâneo. No entanto, é possível aumentar o número de sensores até ao máximo de 5 admitido pela interface comercial de leitura utilizada.

A interface possui duas fichas de entrada de 9 pinos, ligadas em paralelo entre si. As cinco linhas de entrada atrás referidas encontram-se ligadas aos pinos 2, 3, 4, 5 e 6. Normalmente todas estas linhas encontram-se

no nível lógico zero. A única modificação a introduzir na interface para que funcione correctamente consiste em ligar à massa os pinos das fichas de entradas não utilizados, especificamente o 1 e o 9. Por outro lado, o endereço só parcialmente se encontra descodificado. Obrigatoriamente apenas a linha 6 de endereço tem de estar a zero. Nestas condições optámos pelo endereço mais elevado que selecciona a interface: o 223.

### 11.3. Programas de base

A forma mais simplificada de utilizar o instrumento descrito consiste muito simplesmente em utilizar o interpretador de BASIC residente na ROM do Spectrum, tirando partido do relógio de 50Hz, localizado nas posições de memória 23672 a 23674 (variável de sistema FRAMES — ver [3] capítulo 25). O conteúdo destas posições é automaticamente actualizado por uma rotina interna do sistema. No apêndice I encontra-se um pequeno programa que utiliza a técnica descrita. De notar que nesse programa se faz uso de uma leitura dupla dessas posições de memória, pelas razões descritas em [3] capítulo 18.

Esta técnica apresenta no entanto algumas desvantagens: é imprecisa, podendo apenas tratar capazmente um único canal. Uma experiência que exija dois canais (como por exemplo a determinação da aceleração de um objecto) está totalmente fora do seu alcance.

### 11.4. Rotina de medida de tempo em linguagem máquina

De modo a obviar os problemas anteriores é necessário recorrer a uma rotina, executável directamente pelo processador, e chamada pelo programa em BASIC. Tal rotina, escrita em linguagem simbólica (ASSEMBLY), permite a passagem de vários parâmetros que caracterizam a leitura a efectuar:

a) O estado inicial dos sensores, ou seja, qual a situação a partir da qual se pode iniciar a experiência, descrita pela variável MASK;

por exemplo, se  $MASK=2$ , isto significa que o sensor 2 deverá estar no estado lógico 1 (detectando passagem de luz) e todos os outros no estado lógico 0 (ver apêndice II);

b) Os canais (sensores) activos na medida, descrita pela variável  $INIT$ . Por exemplo, se  $INIT=3$ , isto significa que apenas os sensores 1 e 2 deverão ser considerados nessa experiência (ver igualmente o apêndice II);

c) Posição de memória inicial onde se vão registar os resultados primários da medida, descrita pela variável  $BUFFER$  (ver o apêndice III);

d) O número de transições esperadas na experiência ou eventos (variações no estado dos sensores), na versão actual não superior a 1024, manifestamente superior às necessidades correntes.

Esta rotina é constituída por diversas outras, com fins específicos. Em particular, existe uma rotina, muito curta, constituída essencialmente por um ciclo, que incrementa um contador e lê o porto. A condição de rotura de ciclo consiste exactamente na alteração no estado do porto que se pode verificar em qualquer dos canais seleccionados pela variável  $MASK$ . Adicionalmente, esta rotina lê o teclado para verificar se o utilizador pretende interromper a medida, mesmo antes de esta ter terminado normalmente. A resolução desta rotina, ou seja, o tempo mínimo que a mesma é capaz de medir, é de 20  $\mu s$  (correspondente a 70 ciclos do relógio de 3,5 MHz do Spectrum), igualmente muito inferior às necessidades correntes.

De acordo com a sugestão dada por T. Baker (ver [4] capítulo 9) a utilização de rotinas escritas em linguagem máquina a partir de programas escritos em BASIC pode tornar-se extremamente simples. Para o caso particular da rotina de medida de tempo, usamos a seguinte definição para uma função de utilizador de acordo com

```
DEF FN X (INIT, MASK, BUFFER,  
          NEVENTS)=USR (40000)
```

sendo o valor de 40000 o endereço da rotina máquina (podendo este ser modificado de

acordo com o respectivo código mas sempre para um valor superior a 32768, de modo a que o processo de medida de tempo não seja perturbado pelo refrescamento da imagem do Spectrum controlado pela ULA). Cada vez que pretendermos efectuar uma medida de tempos, basta inicializar as variáveis atrás definidas, e utilizar a instrução

```
LET Z=FN X (INIT, MASK, BUFFER,  
           NEVENTS)
```

A variável  $Z$  retornará o número de eventos efectivamente detectados, mesmo que tenha ocorrido uma interrupção a partir do teclado.

Os resultados escritos em memória, e que podem posteriormente ser lidos e trabalhados por um programa em BASIC, têm, por cada um dos eventos detectados, uma estrutura de 5 bytes, sendo o primeiro numericamente igual à variável  $ORG$ , que define o canal que deu origem ao evento (ver apêndice 2), sendo os restantes 4 o respectivo contador de ciclos de 20  $\mu s$ . Definindo as seguintes duas funções em BASIC,

```
DEF FN O(I)=PEEK(BUFFER+5*(I-1))  
DEF FN T(I)=PEEK(BUFFER+5*I-4)  
           +256*(PEEK(BUFFER+5*I-3))  
           +256*(PEEK(BUFFER+5*I-2))  
           +256*(PEEK(BUFFER+5*I-1)))*2.OE-2
```

lendo a primeira o canal origem do evento de ordem  $I$ , e a segunda o tempo em  $\mu s$  correspondente, teremos acesso a todas as variáveis através do ciclo

```
FOR I=1 TO Z  
  ORG(I)=FN O(I)  
  TIME(I)=FN T(I)  
NEXT I
```

A utilização de um contador de 4 bytes permite seguir uma experiência durante quase 24 horas, embora nas aplicações mais correntes 3 bytes fossem suficientes.

## 11.5. Outras rotinas máquina

Tratámos de modo análogo ao descrito na secção anterior, outras rotinas máquina apre-

sentadas por Sparkes [2], e que permitem a apresentação de resultados em caracteres de grandes dimensões. Tais rotinas permitem utilizar o computador em aulas de exposição, facilitando a realização de experiências de demonstração, com determinação de valores numéricos.

Uma outra rotina máquina desactiva a possibilidade de interrupção do programa BASIC através do teclado, por pressão da tecla BREAK. Esta rotina tem por objectivo evitar erros de manipulação do computador, por parte do utilizador, interrompendo o programa em curso, e assim o normal desenrolar da experiência. Como atrás se referiu, o controlo do processo de medida, e a sua eventual interrupção, é totalmente controlado pela rotina máquina acima descrita, independentemente do processo normalmente utilizado no Spectrum.

## II.6. Rotinas em BASIC

As diversas rotinas acima referidas permitem a realização de tarefas específicas, e como se mostrou, são de fácil utilização e a partir de programas escritos em BASIC. Por outro lado, é possível identificar diversas acções características a desenvolver em qualquer programa de ensino assistido, pelo que se procurou igualmente desenvolver um conjunto de sub-rotinas BASIC para tarefas rotineiras, como sejam:

a) gestão de um esquema de menus, programável através de simples definição de valores de variáveis literais em instruções DATA, e permitindo o acesso quer à apresentação de textos explicativos, quer à execução de rotinas de aquisição ou de tratamento de dados;

b) gestão de painéis de textos explicativos, igualmente definidos através de textos introduzidos em instruções DATA;

c) gestão dos processos de aquisição e de tratamento dos dados.

Muitas outras rotinas poderão igualmente ser desenvolvidas nesta perspectiva de utilização geral. A característica fundamental de

todas elas é a de poderem ser parametrizáveis através dos programas de chamada, de modo ao seu comportamento ser adaptável aos diversos casos em que são utilizadas.

## III. APLICAÇÕES E TESTE DO INSTRUMENTO

O instrumento básico desenvolvido, quer nos seus aspectos físicos, quer nos diversos programas desenvolvidos para o explorar, foi testado em diversas montagens. Em particular, a adaptação a cada caso é feita, como atrás enunciado na secção II.4, através da definição dos parâmetros aí indicados, definindo o número de canais, o estado inicial para cada um, e o número total de eventos a medir.

A aplicação mais simples em que se efectuou o teste foi no estudo do pêndulo, e é esse que se descreverá mais promenorizadamente.

### III.1. Estudo do pêndulo

Um pêndulo constituído por uma esfera metálica suspensa por um fio representa o sistema mecânico mais simples para estudo de movimentos sem grande atrito. Foi este sistema utilizado para implementar a primeira utilização laboratorial do nosso instrumento. Utilizando apenas um detector e iniciando a medição a partir de uma situação de iluminação (MASK=1 e INIT=0), é possível medir tempos que permitem determinar entre outras grandezas o período (por exemplo NEVENTS=5) e o tempo de passagem do pêndulo pelo detector (NEVENTS=2). A Fig. 4 permite determinar, para este caso particular, os diversos valores relevantes da variável NEVENTS.

A determinação do tempo de passagem uma vez conhecida a dimensão do corpo oscilante, permite inferir a velocidade deste, e daí, estudar o comportamento energético do pêndulo ao longo do tempo. Em última análise, os dados experimentais obtidos permitem ainda inferir as leis do pêndulo.



Nas Figs. 5 a 8 apresentam-se cópias de écrans contendo resultados experimentais obtidos com um pêndulo de construção elementar, constituído por uma esfera metálica com 20 mm de diâmetro suspensa por um fio de nylon.

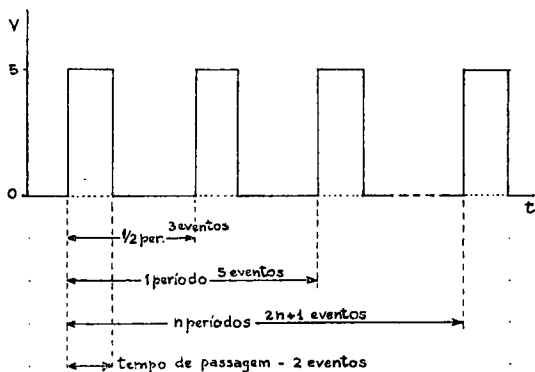


Fig. 4 — Diagrama temporal do sinal à saída do detector de passagem de objectos no caso do pêndulo. O tempo  $T_1$  representa um meio período (3 eventos), o tempo  $T_2$  representa um período completo (5 eventos), o tempo  $T$  representa  $n$  períodos completos ( $4n + 1$  eventos). O tempo  $T_0$  (2 eventos, iniciado com uma transição 0-1, claro-escuro) permite avaliar a velocidade de passagem do pêndulo em frente do detector, uma vez conhecido o comprimento do objecto que interrompe a passagem da luz.

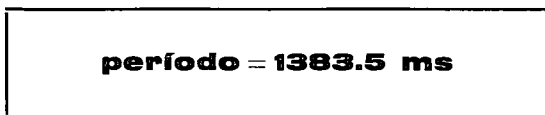


Fig. 5 — Cópia de écran mostrando o valor do período determinado numa medição entre 5 eventos (período completo). O uso de caracteres de grandes dimensões permite o uso do instrumento em sala de aulas para a realização de experiências de demonstração.

A Fig. 6 mostra um écran com os dados referentes a 11 determinações diferentes do período, obtidas por medição de um único período. A segunda coluna apresenta o desvio de cada uma das determinações individuais em relação à média das onze medições. Os resultados apresentados põem em relevo a precisão obtida.

Nas Figs. 5 e 7 mostram-se écrans em que o resultado de uma medição, a média das

diversas medições efectuadas, e o desvio máximo para a média obtida são mostrados em caracteres de grandes dimensões. Pretende-se com os mesmos pôr em relevo a possibi-

RESULTADOS	
PERÍODOS (ms)	DESVIOS (ms)
1383.8	0.1090
1383.7	.00909
1383.6	.09090
1383.8	0.1090
1383.9	0.2090
1383.9	0.2090
1383.6	.09090
1383.6	.09090
1383.7	.00909
1383.5	0.1090
1383.5	0.1090

Fig. 6 — Cópia de écran mostrando 11 determinações sucessivas do período do pêndulo. Na segunda coluna apresentam-se os desvios das diversas medições em relação à média.

lidade atrás enunciada de utilização de um computador para a realização de experiências de demonstração com obtenção de resultados numéricos, de modo que os mesmos sejam visíveis de toda a sala de aula.

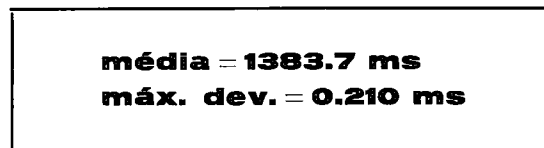


Fig. 7 — Cópia de écrans mostrando a média e o desvio máximo para a média, referente às medições apresentadas na Fig. 6, utilizando o mesmo esquema de apresentação da Fig. 5.

Na Fig. 8 apresentam-se dois écrans em que se mostram os resultados do período e da velocidade máxima do pêndulo, obtidos em sucessão para um mesmo lançamento, segundo um processo automático de aquisição de dados. Ao todo registaram-se um total de 30 medições, obtidas para uma experiência em que se utilizou um pequeno ângulo de abertura. Estes resultados põem em evidência o isocronismo das pequenas oscilações, e simultaneamente a

diminuição progressiva da velocidade (diminuição da energia cinética).

ESTUDO DO ISOCRONISMO	
PERÍODO (ms)	VEL. INST. (m/s)
1382.7	0.1626
1382.7	0.1601
1382.7	0.1607
1382.8	0.1586
1382.9	0.1584
1382.5	0.1563
1382.6	0.1564
1382.7	0.1542
1382.7	0.1531
1382.8	0.1520
1382.7	0.1510
1382.7	0.1500
1382.6	0.1489
1382.5	0.1480
1382.4	0.1470

ESTUDO DO ISOCRONISMO	
PERÍODO (ms)	VEL. INST. (m/s)
1382.4	0.1459
1382.4	0.1449
1382.4	0.1437
1382.4	0.1427
1382.4	0.1417
1382.5	0.4107
1382.6	0.1397
1382.6	0.1387
1382.5	0.1378
1382.3	0.1368
1382.3	0.1360
1382.3	0.1350
1382.2	0.1340
1382.3	0.1329
1382.4	0.1319

Fig. 8 — Cópia de dois écrans sucessivos com 15 medições cada, tomadas em seqüência, mostrando os períodos obtidos por medição de meios-períodos, e as correspondentes velocidades de passagem (ver Fig. 4 para determinar o correspondente diagrama temporal de sinais).

Os resultados apresentados mostram apenas alguns exemplos de experiências programadas, que podem ser acessíveis através de menus de opções, integrados num mesmo programa geral.

A título de exemplo, mostra-se na Fig. 9 um possível esquema de menus, que permitem o acesso a diversas experiências programadas, textos explicativos, ou mesmo imagens exemplificando situações experimentais. Outras experiências poderão ser facilmente incluídas por recurso às rotinas existentes, com um esforço mínimo de programação adicional. Em particular poderão ser realizadas experiências como a determinação da variação do período com o ângulo de abertura, ou com o comprimento do pêndulo.

ESTUDO DO PÊNDULO	
1 Explicação geral	
2 Medição do isocronismo	
4 Med. vel. instantânea	
5 Terminação do programa	
[■] SELECCIONE	
MEDIÇÃO DO PERÍODO	
1 Um só período	
2 Média de períodos	
3 Menu anterior	
[■] SELECCIONE	
ISOCRONISMO	
1 Explicação	
2 Execução	
3 Menu anterior	
[■] SELECCIONE	
DET. VELOCIDADE INST.	
1 Explicação	
2 Execução	
3 Menu anterior	
[■] SELECCIONE	

Fig. 9 — Esquema de menus mostrando o acesso a diversas experiências envolvendo o pêndulo, assim como o acesso a textos explicativos e/ou imagens exemplificando aspectos da instalação experimental.

## III.2. Outras aplicações

O instrumento de medida desenvolvido foi igualmente utilizado e testado noutros instrumentos didácticos de mecânica [5]. Em particular foi aplicado nos seguintes aparelhos:

- a) calha de ar para estudos da conservação do momento linear;
- b) dinamómetro para estudo do movimento oscilatório simples;
- c) sistema especialmente desenvolvido para estudar as oscilações forçadas (ressonância);
- d) sistema especialmente desenvolvido para estudar o movimento circular;
- e) plano inclinado, permitindo efectuar estudos sobre o momento angular e o momento de inércia de objectos em rolamento.

Estas realizações experimentais foram testadas em aulas práticas de cursos introdutórios realizadas a nível universitário. O instrumento de medida acima descrito, baseado em microcomputador, relevou-se fundamental para permitir a total exploração de algumas realizações clássicas (caso da calha de ar), ou para tornar possível o desenvolvimento de outras (como foi o caso do sistema desenvolvido para estudo da ressonância). Para além disso, suscitou por si só um maior interesse dos alunos pelos trabalhos experimentais propostos.

## IV. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de aparelhos de medida didácticos baseados em microcomputadores da gama mais baixa é possível, como mostra o trabalho por nós realizado no domínio da mecânica. Neste caso o microcomputador é utilizado fundamentalmente como instrumento de medição de tempos, uma vez dotado da interface apropriada e respectivos sensores. Além disso, e em sequência com o processo de medida, é possível explorar outras estratégias de ensino assistido, com as vantagens inerentes e reconhecidas a tais métodos pedagógicos. Embora o teste das diversas aplicações desenvolvidas tenha sido efectuado no ambiente de cursos universitários, ainda que de índole introdutória, o mesmo foi já apresentado em

funcionamento laboratorial a nível do ensino secundário, quer a professores, quer a alunos, tendo suscitado um indelével interesse por parte de todos.

A experiência adquirida leva-nos a pensar que o mesmo poderá ocupar um lugar indispensável nos futuros laboratórios didácticos, já que a sua extensão à medição de outras grandezas físicas é igualmente possível, uma vez desenvolvidos sensores adequados para tal.

## APÊNDICE I

### Algoritmo elementar de medida de tempos

'mede o tempo entre duas mudanças de estado no porto 223'

```
porto=223
estado=leitura do porto
enquanto (leitura do porto=estado)
  repete
  (houve alteração do estado do porto)
estado=leitura do porto
relógio=0
enquanto (leitura do porto=estado)
  incrementa relógio
  repete
  repete
  (Houve nova alteração do estado do porto)
  lê relógio
  escreve conteúdo do relógio
fim
```

### Codificação para o BASIC do Spectrum

```
10 REM **** cronómetro em BASIC ****
20 REM mede o tempo entre duas transições
30 REM
40 LET porto=223
50 LET estado=IN porto
60 IF estado=IN porto THEN GOTO 60
70 REM houve alterado do estado do porto
80 LET estado=IN porto
90 REM faz relógio=0
100 POKE 23672,0: POKE 23673,0: POKE 23674,0
110 IF estado=IN porto THEN GOTO 110
120 REM houve nova alteração no estado do porto
130 REM lê relógio
140 LET tempo 1=(256*PEEK(23674)+
  PEEK(23673))*256+PEEK(23672)
150 LET tempo 2=(256*PEEK(23674)+
  PEEK(23673))*256+PEEK(23672)
160 IF tempo 1>tempo 2
  THEN LET tempo 2=tempo 1
170 PRINT «Tempo decorrido=; tempo 2/50; «s»
180 END
```

## APÊNDICE II

As variáveis MASK, INIT e ORG organizam-se de acordo com uma estrutura de «bit-map», em que cada um dos bits corresponde a um canal de leitura. Por exemplo, o valor numérico decimal 7 para qualquer delas, correspondendo à representação binária em 8 bits 00000111, refere-se aos canais 1, 2 e 3 nos estado «on» e aos canais 4, 5, 6, 7 e 8 no estado «off». Esta estrutura, para além de constituir uma forma condensada de representar informação, permite ainda no caso da manipulação da variável ORG, determinar ocorrências simultâneas em mais do que um canal (desde que dentro do tempo de resolução do instrumento).

## APÊNDICE III

A variável BUFFER deverá ser definida de modo a garantir um espaço de memória igual a  $5 \times \text{NEVENTS}$ , ou seja, no máximo a 5 Kbytes.

### REFERÊNCIAS

- [1] A. M. GONÇALVES — *Gazeta de Física*, 8 (2), 65 (1985).
- [2] R. A. SPARKES — *The ZX Spectrum in Science Teaching*, Hutchinson, London (1984).
- [3] STEVEN VICKERS — *Sinclair ZX Spectrum BASIC programming*, Sinclair Research, Cambridge, (1983).
- [4] TONY BAKER — *Mastering Machine Code on your ZX Spectrum*, Interface Publications, London (1984).
- [5] A. A. MELO — *Trabalhos Práticos de Mecânica I*, Departamento de Física, Universidade de Lisboa (1986).

---

## HOMENAGEM A ANASTÁCIO DA CUNHA (1744 - 1787)

Cumpre-se este ano o bicentenário do falecimento de José Anastácio da Cunha. Nascido em Lisboa onde frequentou a escola dos oratorianos, cedo revelou interesse pelo estudo da física e matemática, tendo sido tenente de artilharia em Valença do Minho.

Pombal nomeou-o lente de Geometria na Universidade de Coimbra em 1773. Na «viradeira» antipombalina foi preso pela Inquisição em 1778 «por heterodoxia e leituras perigosas», sujeito a auto da fé e condenado a reclusão na Casa do Oratório, onde redigiu a sua obra-prima «Princípios Matemáticos». Pina Manique aproveitou-o como pedagogo no Colégio de S. Lucas, na recém-criada Real Casa Pia, onde sobreviveu os seis últimos anos da sua vida «nunca mais tendo alegria nem saúde». Leitor e tradutor de autores clássicos e iluministas, foi autor dum «Ensaio sobre os Princípios de Mecânica» e duma notável obra poética, apresentada por Hernâni Cidade como precursora do romantismo.

Não obstante a sua ímpar estatura científica e literária, que o fez ser «um daqueles homens raros que nas nações cultas costumam aparecer», a sua obra caiu hoje no esquecimento, pelo que se torna imperioso reparar esta injustiça histórica, realçando a sua posição de destaque no século das luzes em Portugal e colocando-o na História da Matemática mundial entre os precursores da reforma do cálculo infinitesimal, operada pouco depois da sua morte prematura por Bolzano, Gauss, Cauchy, Abel e outros matemáticos do século XIX.

No âmbito duma homenagem nacional a Anastácio da Cunha, entre outras iniciativas a promover, o Departamento de Matemática da Universidade de Lisboa propõe a realização, na segunda metade de 1987, de um Colóquio com contribuições nacionais e internacionais sobre a sua vida, obra e época, centrando a tónica na componente científica e seu enquadramento histórico-cultural.

Assim as instituições e individualidades interessadas em se associar a esta iniciativa são convidadas a contactar a Comissão de Homenagem a Anastácio da Cunha, Departamento de Matemática da Universidade de Lisboa, Profs. Doutores João Santos Guerreiro, José Francisco Rodrigues, Luís Saraiva pelos telefones 773338 e 774297.

# Conceitos físicos em Metodologias Radiológicas

## I - Introdução

JOÃO JOSÉ PEDROSO DE LIMA

Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

As vantagens oferecidas pelos métodos de diagnóstico pela imagem, nomeadamente aqueles desenvolvidos nas últimas décadas, atingem praticamente todos os sectores da Medicina.

Após um período de mais de meio século em que a radiologia foi, virtualmente, o único método de diagnóstico pela imagem disponível, grandes passos foram dados. Um dos passos mais decisivos foi, talvez, o estabelecimento de uma investigação sistemática dirigida para o desenvolvimento de novas técnicas. Esta investigação traduz-se numa procura incessante de novas formas de evidenciar alterações topográficas, morfológicas, estruturais e funcionais através do estudo das propriedades físicas, químicas e biológicas de células, tecidos e órgãos, através da descoberta de novos agentes de interacção com a matéria viva, através da sofisticação dos meios de apresentação da informação obtida, etc., etc..

A informação final é tornada disponível na forma de projecções, cortes, sombras, imagens funcionais, reconstruções tridimensionais, e quantificada através de curvas, histogramas, ábacos, etc.. Muitas vezes, o significado desta informação é específico, inteligível unicamente em espaços diferentes do nosso espaço tridimensional.

Dentre os modernos métodos de diagnóstico pela imagem, a tomografia axial computadorizada, viabilizada por Hounsfield em 1972 é, indiscutivelmente, aquele que, pela sua implantação, crescente expansão e reconhecida utilidade, merece o nosso destaque. Este artigo destina-se a provar o interesse desta técnica em situações especiais em que, de uma forma teórica, tentamos prever os seus resultados e os comparamos com os de outras metodologias.

Partimos do princípio que são conhecidas as bases mais elementares da física da radiologia. Mesmo assim, tentamos explicar, sempre que possível, os conceitos físicos introduzidos.

### CONTRASTE

Consideremos o caso teórico de um indivíduo portador de um tumor cerebral, de forma cúbica, com 2 cm de lado e coeficiente de atenuação superior em cerca de 2% ao do tecido circundante suposto homogéneo (Fig. 1).

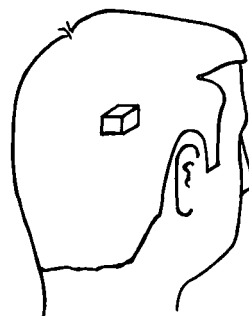


Fig. 1 — Doente imaginário portador de um tumor de forma cúbica, com 2 cm de lado e coeficiente de atenuação superior em cerca de 2% ao do tecido circundante.

Analisemos as possibilidades de duas técnicas radiológicas actuais para a sua detecção, sem utilização de meios de contraste, ou melhor, tentemos prever as respostas da radiologia convencional e tomografia axial computadorizada e comparemos essas respostas.

Consideremos, em primeiro lugar, as possibilidades da radiologia convencional. Na Fig. 2 observamos, em corte, o feixe incidente que supomos de raios paralelos, monoenergético com energia de 65 KeV e de intensidade  $I_0$ ,

o contorno da caixa craneana (3), o tecido cerebral (1), a região do tumor (2) e os raios emergentes de intensidades  $I'$  e  $I$ .

Ignoremos, numa primeira fase, a radiação dispersa. Admitindo que os coeficientes de atenuação para o tecido mole, tumor e osso, são respectivamente

$$\begin{aligned}\mu_{\text{tec}} &= 0,19 \text{ cm}^{-1} \\ \mu_{\text{tum}} &= 0,1938 \text{ cm}^{-1} \text{ (2\% superior a } \mu_{\text{tec}}) \\ \mu_{\text{os}} &= 0,56 \text{ cm}^{-1}\end{aligned}$$

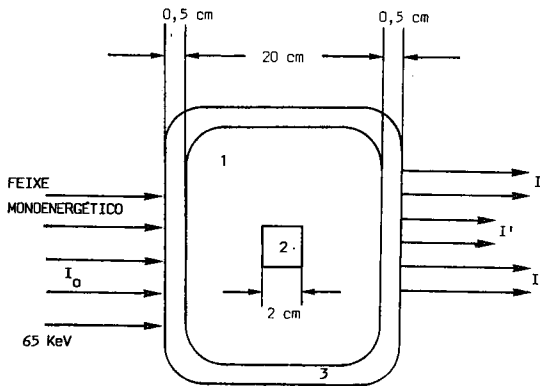


Fig. 2—Esquema do corte axial da cabeça mostrando o tumor, o feixe incidente e o feixe emergente. A radiação dispersa é ignorada.

e, aplicando a lei da atenuação da radiação quando existe um absorvente com «n» camadas de espessura  $x$  e coeficiente de atenuação

linear  $\mu_i$ ,  $I = I_0 \sum_{i=1}^n e^{-\mu_i x_i}$  vem

$$I = I_0 e^{-(1 \times 0,56 + 20 \times 0,19)} = 0,01278 I_0$$

$$I' = I_0 e^{-(1 \times 0,56 + 18 \times 0,19 + 2 \times 0,1938)} = 0,01268 I_0$$

Usando a definição de contraste  $C = (I - I') / (I + I')$  vem, para contraste no feixe emergente

$$C_E = \frac{0,01278 - 0,01268}{0,01278 + 0,01268} = 0,003943$$

Podemos, antes de mais, determinar o verdadeiro contraste no objecto, ou seja,

$$C_{\text{obj}} = \frac{\mu_{\text{tum}} - \mu_{\text{tec}}}{\mu_{\text{tum}} + \mu_{\text{tec}}} = \frac{0,1938 - 0,19}{0,1938 + 0,19} = 0,00990$$

O contraste no feixe de raios X emergente do paciente é consideravelmente inferior ao contraste do objecto, mesmo na situação ideal de não existir radiação dispersa. Aliás, a situação que consideramos não é ideal exclusivamente devido a termos ignorado a radiação dispersa. Também é teórico o feixe incidente monoenergético de raios paralelos, pelo menos nas situações práticas, sendo igualmente teóricos os valores fixos de  $I$  e  $I'$ , pois as flutuações associadas à absorção nos tecidos, assim como variações de natureza estatística no número de fótons, tornariam bem difícil a expressão de tais valores por um só número.

Comecemos por tomar em consideração a radiação dispersa. Para fótons de 65 KeV a incidir sobre tecido mole, a probabilidade de ocorrência de efeito Compton é mais de dez vezes superior à probabilidade de ocorrência de efeito fotoeléctrico. Contudo, para a degradação de contraste produzida pela radiação dispersa só contribui uma fracção de fótons difundidos correspondente àqueles que são emitidos dentro de ângulos sólidos que enquadram a imagem. Por outro lado, sendo os fótons dispersos de menor energia que os primários, são mais facilmente absorvidos no tecido. O campo da radiação dispersa emergente é, praticamente, uniforme e vai sobrepôr-se, como se observa na Fig. 3, às intensidades primárias

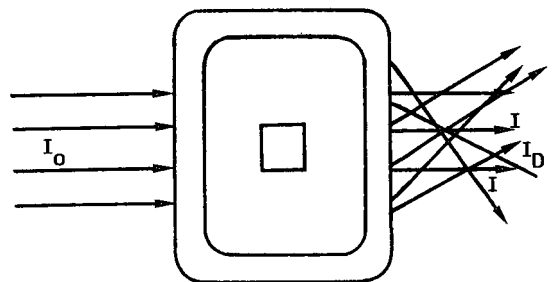


Fig. 3—Esquema de corte axial da cabeça mostrando a radiação dispersa.

emergentes. A intensidade da radiação dispersa é, no caso presente, da ordem de três vezes as intensidades primárias  $I$  e  $I'$ , ou seja:

$$I_D = 3 \times 0,0013 \times I_0 = 0,0039 I_0$$

As intensidades emergentes correspondentes às duas direcções, não incluindo e incluindo o tumor, são, respectivamente,

$$I_1 = I + I_D = 0,001278 I_0 + 0,0039 I_0 = 0,005178 I_0$$

e

$$I'_1 = I' + I_D = 0,01278 I_0 + 0,0039 I_0 = 0,005168 I_0$$

O contraste é, então,

$$C_1 = \frac{0,005178 - 0,005168}{0,010346} = 0,0010$$

O contraste no objecto era de 0,0099 e está reduzido a cerca de um décimo. O efeito da degradação do contraste pela radiação difusa pode ser diminuído usando-se grelhas antidifusoras, à custa de um aumento de dose no paciente.

Evidentemente, não é o contraste no feixe emergente que nos interessa directamente, mas sim o contraste da imagem no filme, no intensificador de imagem ou no suporte final sobre o qual analisamos as imagens. Interessa-nos, de um modo especial, o filme.

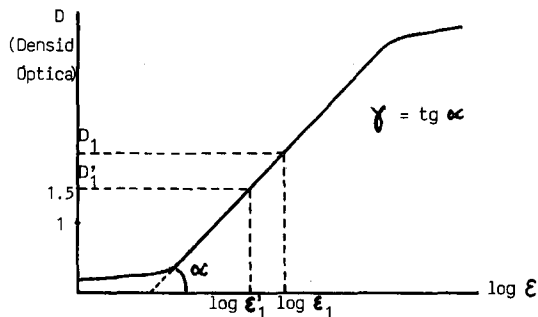


Fig. 4—Curva característica de um filme radiológico.

A resposta de um filme radiológico pode prever-se a partir da sua curva característica (Densidade Óptica v. Logaritmo da exposição) <sup>(1)</sup>, Fig. 4.

<sup>(1)</sup> Densidade Óptica de um filme é o logaritmo da relação entre a intensidade (ou luminância) da luz incidente no filme e a intensidade (ou luminância) da luz emergente. Exposição (ou velocidade de exposição) é o produto da intensidade pelo tempo de exposição. Em geral, nas curvas características, a exposição vem expressa em «mr» (miliroentgens).

Para as intensidades do feixe de raios X emergente  $I_1$  e  $I'_1$ , calculemos o  $\Delta \log \epsilon$  e o  $\Delta D$  correspondentes ao filme da Fig. 4. Supondo um tempo de exposição  $t$ , as exposições serão

$$\epsilon_1 = I_1 t \quad \epsilon'_1 = I'_1 t$$

Então:

$$\Delta \log \epsilon = \log (\epsilon_1 / \epsilon'_1) = \log (I_1 / I'_1)$$

$$\log (I_1 / I'_1) = \log \frac{0,005178}{0,005168} = 0,00084$$

Para  $\gamma = 3$ ,  $\Delta D = 3 (\Delta \log \epsilon) = 0,00252$ .

Esta diferença de densidade óptica corresponde à diferença entre as exposições resultantes das intensidades no feixe emergente, que correspondem aos raios que atravessam, ou não, a região do tumor. Para valores constantes de  $I$  e  $I'$  o valor  $\Delta D = D_1 - D'_1$  é independente do tempo de exposição na parte linear da curva característica. Vamos supor que  $D'_1$ , correspondente a  $\log \epsilon'_1 = \log (I'_1 t)$ , tem o valor  $D'_1 = 1,5$ . Sendo  $\Delta D = 0,00252$ ,  $D_1 = 1,50252$ .

O contraste das densidades ópticas do filme resultantes da exposição ao feixe emergente com a radiação dispersa é

$$C_d = (D_1 - D'_1) / (D_1 + D'_1) = 0,0008$$

Já referimos que, utilizando grelhas antidifusoras, podemos melhorar o contraste, à custa de um aumento de dose no paciente. Se utilizarmos uma grelha com um factor de melhoria de contraste 2,6 (valor típico), a eliminação da radiação dispersa originará o contraste  $C_d = 2,6 C_d$ , ou seja

$$C_d = 0,0008 \times 2,6 = 0,00208$$

Para este contraste as densidades ópticas no filme são:

$$D'_1 = 1,5 \quad \text{e} \quad D_1 = 1,50625$$

pois  $C' = (1,50625 - 1,5) / 3,0625 = 0,00208$ .

Interessa perguntar se a visão humana detectaria esta diferença de densidade óptica.

De facto, o que nós detectamos são diferenças de luminância e estamos sujeitos a limitações fisiológicas (ver apêndice 1).

Mas, vejamos o que se vai observar num filme radiológico quando este é colocado no negatoscópio.

Um bom negatoscópio emite luminâncias da ordem de 100 nit. Um filme com densidade 1, colocado sobre um negatoscópio com luminância 1000 nit, deixa passar a luminância 100 nit, pois para  $D = \log B_0/B = 1$  é  $B_0/B = 10$  e  $B = 100$  nit para  $B_0 = 1000$  nit.

Pelo mesmo raciocínio, filmes com  $D = 2$  e  $D = 3$  originam luminâncias, respectivamente, de 10 nit e 1 nit. De um modo geral, podemos escrever

$$B = 1000/10^D$$

sendo  $B$  a luminância emergente e  $D$  a densidade óptica do filme. A partir desta equação obtém-se

$$\Delta B = -2303 \times 10^{-D} \times \Delta D$$

Para o caso em que se considerou a radiação dispersa sem grelha antidifusora, onde  $D = 1,5$  e  $\Delta D = 0,00252$ , substituindo na expressão anterior virá  $\Delta B = -0,184$  nit.

Para o caso de se usar a grelha antidifusora com factor de amplificação de contraste 2,6 virá  $D = 1,5$  e  $\Delta D = 0,00625$ , sendo  $\Delta B = 0,455$  nit.

A variação de luminância detectável pelo olho humano depende da luminância de base, em relação à qual ocorre a variação. Define-se como sensibilidade de contraste a relação  $\delta = \Delta B_{\min}/B$ , onde  $\Delta B_{\min}$  é a variação mínima de luminância detectável em torno da luminância de base  $B$ .

É sabido que, para o caso do filme de raios X observado num negatoscópio com luminância de 1000 nit, o valor de  $\delta$  varia de 2 a 5 %.

Nos casos que consideramos, incluindo a radiação dispersa, sem grelha e com grelha, a luminância de base, correspondente a  $D = 1,5$  é

$$B = \frac{1000}{10^{1,5}} = 31,623 \text{ nit}$$

Então, as relações  $\Delta B/B$  para estes casos são, em módulo:

$$\frac{\Delta B}{B} = \frac{0,184}{31,623} = 0,0058 \text{ (s/ grelha antidifusora)}$$

$$\frac{\Delta B}{B} = \frac{0,455}{31,623} = 0,014 \text{ (c/ grelha antidifusora)}$$

Como estes valores de  $\Delta B/B$  são inferiores à sensibilidade do contraste, não seria possível detectar o tumor. Mesmo assim, é importante acrescentar que os valores de  $\Delta B/B$  calculados são ainda optimistas, pois ignoramos um conjunto de outros factores de degradação de imagem.

Mas já que falámos em contraste, calculemos o contraste das luminâncias correspondentes ao caso teórico da imagem obtida com grelha antidifusora. A luminância de base é  $B = 31,623$  nit, a luminância na zona do tumor é

$$B' = 31,623 + 0,455 = 32,078 \text{ nit}$$

então, o contraste das luminâncias é

$$C_L = \frac{32,078 + 31,623}{32,078 - 31,623} = 0,007$$

Como se vê, ocorre um considerável aumento de contraste em relação ao cálculo para as intensidades do feixe de raios X emergente do paciente.

O contraste teórico das luminâncias aproxima-se do contraste do objecto mas, mesmo assim, como demonstrámos, a nossa vista não o detectaria no filme radiológico, pois este corresponderia a uma relação  $\Delta B/B$  inferior a  $\delta$ .

Porém, se numa imagem radiológica o único obstáculo para a detecção de pequenos contrastes fosse a nossa visão, poder-se-iam desenvolver métodos de melhorar o contraste por simples amplificação, semelhantes aos que se usam num osciloscópio (caso de uma dimensão), como, aliás, se mostra na Fig. 5:

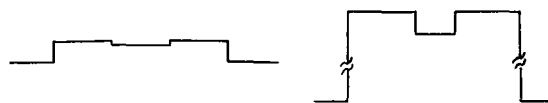


Fig. 5—Efeito da amplificação de contraste na ausência de ruído.



O problema é que, como já dissemos, existe ruído associado à imagem.

A primeira causa de ruído resulta da ocorrência de variações na atenuação do feixe nas regiões projectadas lateralmente em relação ao tumor e também nos tecidos situados antes e depois do tumor, no trajecto dos raios X. Disto resulta que as intensidades variam de ponto para ponto, em torno de valores médios. Os valores de  $I_1$  e  $I_1'$  deverão pois ser entendidos como valores médios. Devido a estas flutuações, pequenos contrastes passam despercebidos, mesmo com ampliação. Assim, a figura anterior, com ruído associado, passaria a ter o aspecto representado na Fig. 6:



Fig. 6—Efeito da ampliação de contraste na presença de ruído.

Da ampliação não resultaria qualquer melhoria na detecção de pequenos contrastes.

Estes resultados mostram o interesse de se desenvolverem técnicas que nos permitam detectar pequenas diferenças de atenuação resultantes de tumores de pequenas dimensões. Pelo que já vimos, tais técnicas terão de eliminar as principais causas de ruído e permitir um aproveitamento completo da informação contida no feixe emergente.

Em tomografia axial computadorizada estes objectivos são, pelo menos em parte, conseguidos. A T.A.C. fornece a distribuição dos coeficiente de atenuação em finos cortes do corpo. As variações resultantes de espessuras de tecido situadas anterior e posteriormente ao corte são evitadas.

Sendo a espessura do corte finita, ainda haverá algum ruído mas, em grande parte, a principal causa de ruído da radiologia convencional é eliminada.

Para satisfazer o outro requisito, ou seja, permitir o aproveitamento de toda a informação contida no feixe emergente, agora com menor ruído, poderá perguntar-se se o filme radiológico terá algum interesse.

Mostraremos que, para as capacidades da visão humana, o filme de raios X não poderá, de um modo geral, satisfazer como suporte directo da informação total que irá obter-se com tais métodos. Isto deve-se à fraca sensibilidade de contraste do olho humano e à reduzida latitude dos filmes radiológicos.

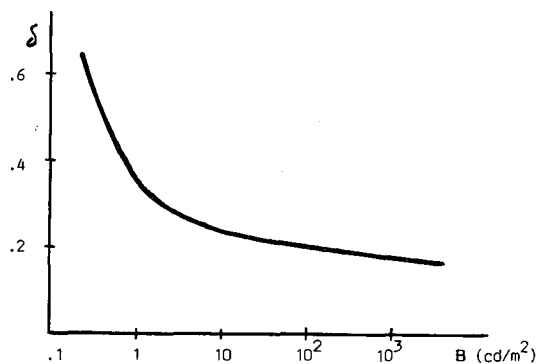


Fig. 7—Curva de variação da sensibilidade de contraste em função da luminância de base.

Nas considerações que se seguem vamos supor a sensibilidade de contraste  $\delta$  como sensivelmente constante para as luminâncias com interesse na observação do filme radiológico. De facto, a curva  $\delta$  v.  $B$  mostra que  $\delta=0,03$  para as luminâncias que ocorrem na observação do filme radiológico com um negatoscópio de 1000 nit.

Para  $\delta=0,03$  e para um filme de raios X com um intervalo de densidade óptica utilizável de 0,6 a 2,5, o número máximo de níveis de cinzento susceptíveis de serem diferenciados pela visão humana é, como se pode ver no apêndice 1, da ordem de 100 a 150. O intervalo de exposição a que correspondem estes níveis de cinzento depende, obviamente, da latitude e do contraste do filme.

Não sendo este número de níveis de cinzento suficiente, poderá perguntar-se qual é o número de «níveis», ou melhor, o número de variações de atenuação do feixe de raios X que é desejável distinguirem-se. A resposta é simples: o máximo possível.

Só é conhecido um processo de se aproveitarem até ao limite as variações de atenuação presentes numa imagem: consiste na digitalização da informação contida no feixe emer-

gente e na observação de pequenos intervalos dos valores digitalizados (janelas), por exemplo num monitor de TV, aproveitando o intervalo de níveis de cinzento que se poderão distinguir neste (cujo máximo é de 90-100, apêndice 1), de modo ao  $\Delta B/B$  dos pequenos contrastes ultrapassar a sensibilidade de contraste  $\delta$ .

A janela poderá ser suficientemente estreita de modo a acentuar consideravelmente mínimas diferenças na intensidade do feixe emergente.

A informação inicial, que se pretende digitalizar, não pode, obviamente, ser obtida em filme. Esta informação obtém-se ou por acção directa da radiação X sobre os detectores ou indirectamente, por acção de fotoelectrões acelerados em tubos intensificadores de imagem especiais. Os fotoelectrões resultam da acção num fotocátodo de luz de fluorescência produzida pelos raios X. A imagem correspondente a uma dada janela de valores, obtida num monitor de boa resolução ou num osciloscópio de raios catódicos, é, em geral, transposta para filme, agora sem as limitações atrás apontadas, ou seja, os níveis de cinzento que se poderão distinguir no filme são suficientes para distinguir as variações com interesse no feixe emergente.

Em tomografia axial computadorizada (T.A.C.) valores proporcionais ao coeficiente de atenuação linear são armazenados em forma digital, na memória do computador, desde os menores aos maiores, em endereços correspondentes a posições bem determinadas no corte.

A grande variedade de valores de coeficiente de atenuação, susceptíveis de ocorrer nas imagens da T.A.C., pode imaginar-se a partir do gráfico da Fig. 8. Neste representam-se os valores dos coeficientes de atenuação de todas as substâncias que absorvem raios X no corpo humano, em percentagem, atribuindo-se à água o valor 0 e o valor -100 ao ar.

Verificamos que a gordura absorve cerca de 10 % menos do que a água, o tecido mole pode absorver até cerca de 4 % mais do que a água e que os ossos podem ultrapassar os 100 % em relação à água. Usualmente não é em percentagem que nos T.A.C. se exprimem as atenuações, mas em unidades TAC, UTAC,

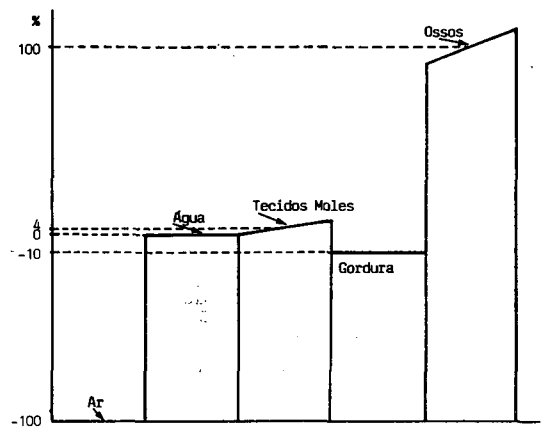


Fig. 8—Valores dos coeficientes de atenuação de meios com interesse biológico, numa escala onde se tomam a água e o ar com valores percentuais respectivamente de 0 e -100.

ou unidades Hounsfield. Ao ar correspondem -1000 UTAC e à água 0 UTAC.

No quadro que se segue apresentam-se os valores das UTAC e dos correspondentes coeficientes de atenuação linear para duas tensões pico da ordem de grandeza das usadas na prática.

Substância	UTAC	$\mu$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	
		84 KV <sub>p</sub>	122 KV <sub>p</sub>
ar	-1000	0,0003	0,0002
água	0	0,180	0,160
gordura	-100	0,162	0,144
sangue	40	0,182	0,163
osso compacto	1000	0,460	0,410
massa cinzenta	43	0,184	0,163
massa branca	46	0,187	0,166

Poderemos perguntar qual é a variação de  $\mu$  que corresponde a 1 UTAC, por exemplo, para 84 KV<sub>p</sub>. Resolve-se com uma regra de três simples, usando os valores de UTAC e  $\mu$ , por exemplo, para a água e o ar. De facto, à variação entre 0 e -1000 UTAC, respeitantes à água e ao ar, corresponde a variação do coeficiente de atenuação entre 0,180 e 0,0003  $\text{cm}^{-1}$ . Então, a 1 UTAC corresponde a variação de  $\mu$

$$\frac{0,180 - 0,0003}{1000} = 1,8 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

Facilmente se vê que este valor é aproximadamente 0,1 % do  $\mu$  da água.

De um modo geral, o número de unidades TAC, ou número TAC, de um tecido com coeficiente de atenuação  $\mu_t$  pode obter-se, também, por uma regra de três simples.

Se à diferença  $\mu_{\text{água}} - \mu_{\text{ar}}$  correspondem 1000 UTAC, à diferença  $\mu_t - \mu_a$  corresponde o número TAC do tecido, ou seja

$$\text{n.º TAC} = 1000 \frac{\mu_t - \mu_{\text{água}}}{\mu_{\text{água}}}$$

tendo-se considerado desprezível o  $\mu_{\text{ar}}$ . A expressão anterior é correntemente usada, mas há que não esquecer que o número TAC de um tecido varia com a kilovoltagem utilizada.

Poderá interessar saber a quantas UTAC corresponde a variação de 0,5 % no coeficiente de atenuação devido a um tumor, por exemplo, para 84 KV<sub>p</sub>? Para esta tensão, o coeficiente de atenuação da massa branca é  $\mu = 0,187 \text{ cm}^{-1}$ , então 0,5 % deste valor são  $0,000935 \text{ cm}^{-1}$ . Como, para 84 KV<sub>p</sub>, 1 UTAC corresponde a  $1,8 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ , temos que  $0,000935 / 1,8 \times 10^{-4} = 5,19$  é o número de UTAC correspondentes a 0,5 % de variação no coeficiente de atenuação da massa branca.

Se pretendessemos observar no monitor de TV todos os valores da escala digital de UTAC, desde -1000 a 1000, a diferença de 5,19 UTAC não era, com certeza, possível de observar-se. O olho humano distingue um número limitado de níveis de cinzento num monitor de TV (90 se for um excelente monitor, ver apêndice 1).

Como dissemos já, para se tornarem visíveis as pequenas diferenças de coeficiente de atenuação, torna-se necessário usar uma «janela» correspondente a um pequeno intervalo de valores de UTAC e expande-se esse intervalo de modo a abarcar toda a escala de luminâncias do écran.

A largura da janela assim como o seu limite inferior são ajustáveis, ou seja, podemos escolher qualquer intervalo de valores de UTAC a começar em qualquer valor. Reparar no entanto que, à medida que se usam janelas menores aumenta o ruído estatístico na imagem e, a partir de certo limite, o ruído determina o contraste mínimo detectável.

A utilização óptima da informação registada consiste em expandir a gama de contrastes até se poderem observar todos os níveis estatisticamente separados. Vejamos, no caso que considerámos anteriormente, de uma variação de 0,5 % no coeficiente de atenuação da massa branca, como poderíamos utilizar a expansão da escala de cinzentos.

O coeficiente de atenuação da massa branca é  $\mu_b = 43$  UTAC e, na região do tumor,  $\mu_t = 43 + 5,19 = 48,19$  UTAC. Suponhamos que escolhíamos uma janela de 80 UTAC com base em 12 UTAC e considerávamos simplesmente 10 níveis de cinzento no écran, número cuja diferenciação pela vista humana é sobejamente garantido. Cada nível de cinzento irá corresponder a  $80/10 = 8$  UTAC distribuídos do modo seguinte:

14-22-30-38-46-54-62-70-78-86-94  
| | | |  
 (a) (b)

- (a) nível da massa branca
- (b) nível da massa tumoral

A diferença seria, portanto, detectável no écran. Podemos resumir dizendo que a radiologia convencional não se apresenta como o método ideal para a detecção de massas de tecido de dimensões reduzidas e com pequenas diferenças de coeficiente de atenuação em relação às regiões circundantes.

De facto, mesmo ignorando o ruído, verificámos que a nossa visão não detectaria o contraste de luminâncias correspondente ao caso das Figs. 1, 2 e 3. Aliás, o contraste das luminâncias era próximo do contraste do objecto o que demonstra que as potencialidades intrínsecas do método radiológico são boas. Isto levaria a pensar na possibilidade de desenvolver métodos de ampliar o contraste do filme de modo a permitir a detecção pela nossa vista de pequenas variações de luminância. Contudo, uma amplificação de contraste, para ajudar a nossa visão, não resultaria, pois as flutuações no feixe emergente, derivadas da não homogeneidade dos trajectos no tecido e da estatística do número de fotões, impossibi-

litam a detecção dos pequenos contrastes. Vimos igualmente que a TAC é um método em que as primeiras flutuações são minimizadas. Porém, para a TAC o filme radiológico não oferece condições como suporte directo da informação.

A digitalização da imagem e a utilização de janelas permite fazer uso de praticamente toda a informação à qual corresponde uma amplitude suficientemente superior ao ruído.

De realçar também que no exemplo das Figs. 1, 2 e 3, as dimensões do tumor são de uma a duas ordens de grandeza superiores à distância mínima de separação da vista humana, para as condições de luminância do filme no negatoscópio, evitando assim a consideração de outras limitações da visão.

## RESOLUÇÃO ESPACIAL

Referimos atrás o interesse da digitalização das imagens com vista a permitir a visualização de pequenos contrastes em toda a gama de valores de absorção do feixe emergente. A digitalização da imagem, embora tenha vantagens, introduz limitações. Uma imagem corresponde a um número praticamente infinito de pontos e, por certo, não se espera obter a informação digitalizada correspondente a cada um destes pontos. Há, pois, que limitar o número de pontos de acordo com diversos factores, um dos quais poderá ser a memória disponível do computador.

Uma imagem digitalizada considera-se dividida em elementos de área e o valor correspondente a cada elemento traduz uma propriedade média associada ao elemento.

No caso de um corte tomográfico com uma certa espessura, a cada elemento da imagem corresponde um elemento de volume, prismático, tendo como base o elemento de área e altura a espessura do corte.

A cada elemento da imagem corresponde um valor do coeficiente de atenuação que é o valor médio no elemento de volume.

É corrente designar-se o elemento de área de imagem por pixel (de «picture element») e o elemento de volume do objecto por voxel.

Torna-se claro que as dimensões do pixel correspondem às distâncias mínimas de resolução na imagem. O pixel é, então, o elemento, ou área, de resolução, significando isto que não se poderá saber o coeficiente de atenuação de elementos de área com menores dimensões.

Estas considerações fazem-nos, necessariamente, cair na definição de resolução espacial. À resolução espacial estão associadas as qualidades, por vezes invocadas na apreciação das imagens, como detalhe, definição, pormenor, etc..., mas todas estas e a própria resolução têm a ver com a resposta do sistema radiológico a um absorvente pontual.

Consideremos um cubo de chumbo (muito pequeno, de lado inferior a 0,1 mm) colocado numa fina placa de poliestireno expandido (tipo «esferovit»), como se evidencia na Fig. 9:

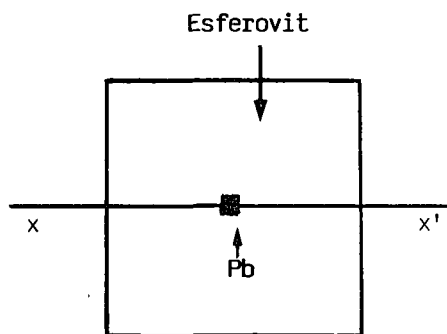


Fig. 9—Aproximação prática de um objecto pontual.

A variação do coeficiente de atenuação linear segundo uma direcção  $XX'$  que inclui o cubo é a que se evidencia através da Fig. 10:

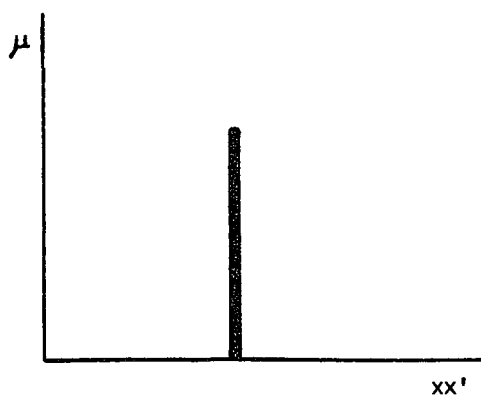


Fig. 10—Variação com a distância  $x$  do coeficiente de atenuação linear do objecto.

Se fizermos uma radiografia da placa e medirmos a luminância através do filme ao longo da direcção correspondente a  $XX'$  obtemos não uma risca mas a curva da Fig. 11.

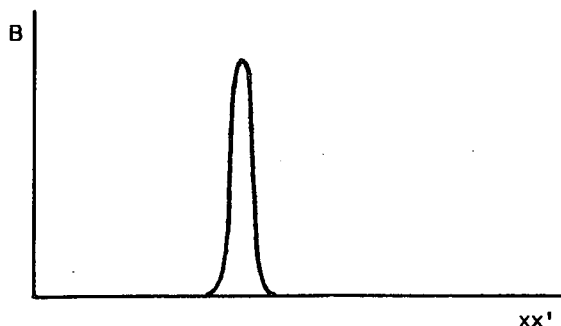


Fig. 11—Variação da luminância de imagem com a distância segundo a direcção  $x$ .

A curva obtida na Fig. 11 é uma aproximação da função que descreve a imagem quando o objecto é um ponto absorvente; é a *função de resposta a um ponto (FRP)*.

A largura a meia altura da FRP é a distância de resolução  $d$  do sistema (Fig. 12).

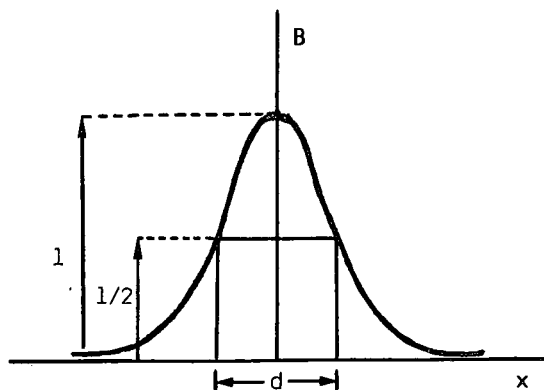


Fig. 12—A distância de resolução  $d$  é a largura a meia-altura da curva  $B(x)$ .

Dois pontos-objecto à distância  $d$  são dificilmente separados na imagem. Pontos a distâncias menores do que  $d$  são vistos como um único ponto. Quanto maior for  $d$  mais difícil será observar o detalhe fino nas imagens.

Ao inverso de  $d$  chama-se, por vezes, a *resolução  $r$*  do sistema, ou seja

$$r = 1/d$$

É frequente utilizar-se em vez da função de resposta a um ponto a função de resposta

a uma linha (FRL), que é a função que descreve a imagem quando o objecto é uma linha absorvente.

Pode demonstrar-se que se a FRP é uma curva de Gauss, a FRL é do mesmo tipo e com idênticas características. A largura a meia altura da FRL é também a distância de resolução  $d$ .

No caso da radiologia convencional, a distância de resolução depende das dimensões do foco, da distância foco-filme e da distância objecto-filme. Os écrans intensificadores degradam a resolução espacial. A distância de resolução para a radiologia sem écran é da ordem de 0,01 mm, enquanto que para o caso da utilização de écran é de cerca de 0,1 mm.

Referimos atrás que a memória disponível do computador poderia ser um factor limitante do número de pixels. Para o caso da TAC a limitação é a dose no paciente.

Quando se detectam os fotões que integram na área de cada elemento de resolução durante um certo tempo, o número de detecções acumulado é um número aleatório. Isto quer dizer que o valor obtido está associado a uma incerteza, que podemos, no entanto, quantificar.

A distribuição estatística em que se enquadriam os sucessivos valores do número de detecções ocorridas num pixel, para condições rigorosamente idênticas, é a estatística de Poisson. Sendo assim, quando se acumulam  $N$  detecções, o desvio padrão associado é  $\sqrt{N}$ , ou seja, só 33 em 100 determinações feitas em idênticas condições estarão fora do intervalo  $N - \sqrt{N}$ ,  $N + \sqrt{N}$ .

O desvio padrão relativo é, então

$$\sigma_r = \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

Facilmente se vê que o desvio padrão relativo diminui com o aumento de  $N$ .

Para um pequeno número de detecções acumuladas, o desvio padrão relativo é grande. Por exemplo, para  $N=100$  é  $\sigma_r=10\%$ . Para um número elevado de detecções o desvio padrão relativo torna-se pequeno. Por exemplo, para  $N=10^6$  é  $\sigma_r=0,1\%$ . Para uma mesma

intensidade de fótons, o desvio padrão relativo duplica quando a área do elemento de resolução se reduz para um quarto.

É fácil prever, para as condições usuais de aplicação de raios X no homem, a área mínima do elemento de resolução. Para fótons de 60 KeV a dose-exposição de 1 R corresponde a cerca de  $10^8$  fótons/mm<sup>2</sup>. Uma espessura de 30 cm de tecido produz um factor de atenuação da ordem de 0,001. Isto significa que o número de fótons no feixe emergente para a dose-exposição incidente de 1 R é da ordem de  $10^5$  fótons/mm<sup>2</sup>.

O desvio padrão para  $10^5$  fótons/mm<sup>2</sup> é aproximadamente  $3 \times 10^2$  fótons/mm<sup>2</sup> e o erro, ou desvio padrão relativo, é então aproximadamente igual a 0,3 %. Se pretendessemos um elemento de resolução de  $0,1 \times 0,1$  mm<sup>2</sup>, o desvio padrão relativo seria de 3 %. Para se ter um erro menor, mantendo a área do elemento, a única saída é aumentar o número de fótons, ou seja a dose no paciente, o que é, obviamente, indesejável.

Isto esclarece-nos devidamente a razão pela qual os métodos radiológicos digitais não poderão nunca ter resoluções espaciais inferiores a décimas de milímetro.

A T.A.C. tem, evidentemente, esta limitação. Para elementos de resolução muito pequenos e para doses aceitáveis nos pacientes, as flutuações estatísticas associadas às observações (ou ruído estatístico, ou ainda, flutuação de contraste) impedem a detecção de pequenos contrastes resultantes de diferenças de atenuação do feixe.

Para um contraste ser detectável numa imagem deve ser algumas vezes superior à flutuação estatística média. Como a flutuação estatística do contraste só pode ser diminuída por aumento da área do elemento de resolução ou por aumento de dose, há um compromisso entre resolução espacial e contraste mínimo detectável, para doses aceitáveis no paciente.

O total da informação contida na função de resposta a um ponto não é facilmente utilizado de maneira directa. É da prática corrente usar outra função, a função de transferência de modulação.

Para entendermos esta função suponhamos que fazíamos radiografias de peças de plástico com a forma descrita na Fig. 13:

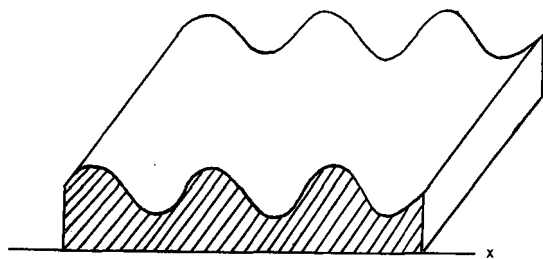


Fig. 13—Objecto cuja espessura segundo  $x$  é a soma de uma constante com uma função sinusoidal.

Vamos supor que a equação do contorno superior da peça em relação ao eixo dos  $x$ 's é

$$y_1(x) = y_0 \sin(Kx)$$

isto é, uma função sinusoidal da distância.

Podemos dizer que a espessura da peça é a soma da espessura constante  $\bar{y}$  mais a função  $y_1(x)$ , ou seja, a espessura  $y(x)$  é

$$y(x) = \bar{y} + y_0 \sin(Kx)$$

Fazendo a radiografia da peça, o filme depois de processado apresentará uma modulação (sinónimo de contraste) de densidade óptica constituída por zonas, normais à direcção dos  $x$ 's, alternadamente mais densas e menos densas.

Colocado no negatoscópio o filme apresenta, segundo o eixo dos  $x$ 's, a seguinte variação de luminância (Fig. 14):

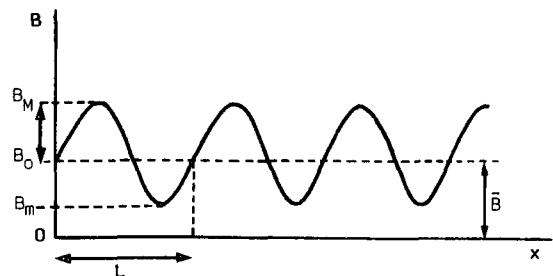


Fig. 14—Variação segundo os  $xx$  da luminância na imagem do objecto da Fig. 13.

A função obtida pode considerar-se como a soma do valor médio  $\bar{B}$  com a variação sinusoidal da luminância  $B_1(x) = B_0 \sin Kx$ .

A luminância do filme segundo o eixo dos  $x$ 's é então dada por

$$B(x) = \bar{B} + B_0 \sin(Kx)$$

Na função  $B_1(x)$ ,  $B_0$  é a amplitude ou valor máximo e  $K = 2\pi/L$  onde  $L$  é o período espacial. O valor  $\bar{B}$  é a luminância média. Como a luminância não pode ser negativa,  $\bar{B}$  é sempre maior ou igual que  $B_0$ .

A função  $B_1(x)$  pode, por outro lado, estar deslocada em relação à origem de modo a ter de representar-se pela equação  $B_1(x) = B_0 \sin(Kx + \alpha)$ , onde  $\alpha$  é a fase na origem. Isto significa que a função  $B_1(x)$  não se anula na origem mas sim à distância  $\alpha/K$  da origem.

Para caracterizarmos por completo a função  $B(x)$  teremos também de saber a orientação de  $x$ .

O interesse das modulações sinusoidais reside no facto de qualquer imagem ser susceptível de ser obtida à custa de uma soma de componentes sinusoidais com amplitudes, frequências espaciais, fase e orientações apropriadas, somadas a um termo constante (síntese de Fourier).

Deste modo, teoricamente, se soubermos como um sistema responde aos componentes sinusoidais, individualmente, sabemos como o sistema responde a qualquer estímulo.

Qual é o contraste ou modulação da função  $B(x)$ ?

$$C_i = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\max} + B_{\min}} = \frac{B_0}{\bar{B}}$$

Evidentemente a modulação de  $B(x)$  é a modulação da imagem da peça de plástico. Podemos também considerar a modulação do objecto através da relação  $C_0 = y_0/y$ .

Se admitirmos que o sistema de imagem não altera a frequência espacial, a transferência de modulação para uma dada frequência virá dada pela relação  $C_i/C_0$ . A função de transferência de modulação (FTM) dá-nos  $C_i/C_0$  em função de frequência:

$$FTM = \frac{\text{Modulação Imagem}}{\text{Modulação Objecto}}$$

A modulação da imagem reflecte o efeito de todos os agentes de degradação, incluindo os do próprio filme.

Considerando então os valores de  $C_i/C_0$  para todas as frequências  $f$  vem (Fig. 15):

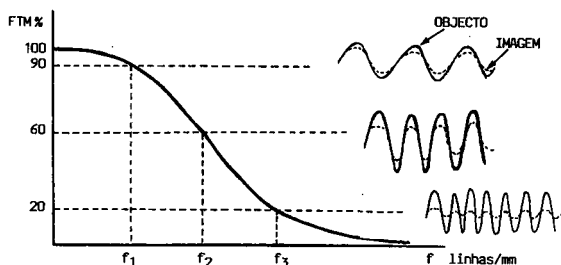


Fig. 15—Significado da função de transferência de modulação.

A frequência espacial é referida em linhas/mm. Cada linha corresponde a um período ou, se quisermos, a uma zona linear de elevada densidade óptica no filme.

A FTM é uma função decrescente com a frequência. A partir de um certo valor limite de frequência espacial, a frequência de corte,  $f_c$ , deixa de ocorrer contraste na imagem, anulando-se portanto a FTM.

As frequências de corte características de alguns suportes de imagem e de métodos de diagnóstico pela imagem em medicina são indicadas a seguir:

- Filme sem écran intensificador : 100 linhas/mm
- Filme com écran intensificador : 8-14 linhas/mm
- Intensificador de imagens : 1-2 linhas/mm
- TAC : 1-2 linhas/mm
- Câmara Gama : 0,2 linhas/mm.

Em resumo, a digitalização das imagens condiciona a resolução espacial às dimensões da área do elemento. Por sua vez, as limitações dosimétricas e o erro estatístico condicionam as dimensões da área de resolução.

A função de resposta a um ponto ou a uma linha podem caracterizar a resolução de um sistema. A função de transferência de modulação é, contudo, mais elucidativa e traduz-se pela relação contraste da imagem/contraste do objecto em função da frequência.

## APÊNDICE 1

### Definição de luminância

Luminância é a grandeza que traduz aquilo a que chamamos brilho.

Descreve a luz emitida por uma área que se considera a fonte luminosa.

A unidade de luminância é o nit que é igual a 1 cd/m<sup>2</sup> (candela por metro quadrado) ou 10<sup>-6</sup> cd/mm<sup>2</sup>. A candela por metro quadrado equivale a 1 lumen por esteroradiano. Por sua vez o lumen corresponde à emissão de 3,8 × 10<sup>15</sup> fotões/s de comprimento de onda λ = 540 nm. Assim a luminância de 1 nit = 10<sup>-6</sup> cd/mm<sup>2</sup> corresponde à emissão de 3,8 × 10<sup>9</sup> fotões/s pela área de 1 mm<sup>2</sup> dentro de um ângulo sólido de 1 esteroradiano.

### Níveis de cinzento no filme radiológico

Para um filme radiológico com um negatocópio de boa qualidade a sensibilidade de contraste do olho humano δ situa-se à volta de 0,03.

Consideremos agora uma imagem num filme radiológico consistindo de zonas rectangulares tais que a luminância através de uma zona difira da luminância da zona imediatamente a seguir do valor mínimo detectável Δ B<sub>min</sub> (Fig. 16).

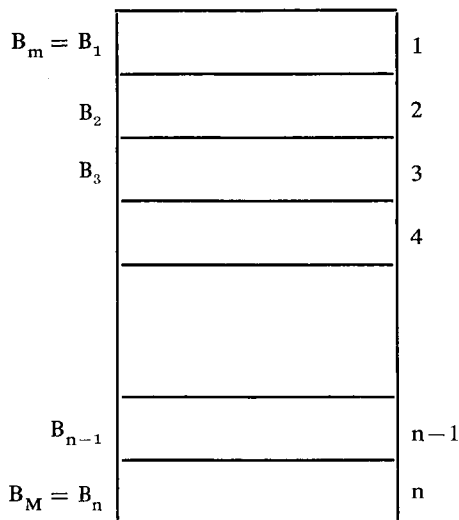


Fig. 16

Sendo  $B_1 = B_m$  a luminância mínima transmitida da imagem, correspondente à maior densidade óptica utilizável do filme e  $B_n = B_M$  a luminância máxima transmitida da imagem, correspondente à menor densidade óptica utilizável no filme, o número de tons de cinzento detectáveis é, pois, n.

Fazendo  $\Delta B_1 = B_2 - B_1 = B_{\min}$ ;  
 $\Delta B_2 = B_3 - B_2 = B_{\min}$ ; ... ;  $\Delta B_{n-1} = B_n - B_{n-1} = B_{\min}$

Podemos escrever

$$\delta = \Delta B_1 / B_1 ; \delta = \Delta B_2 / B_2 ; \dots$$

Chamemos à relação  $\beta = B_M / B_m$ , a relação de contraste. Temos então

$$B_1 = B_m ; B_2 = B_1 + \Delta B_1 = B_1 (1 + \delta) ;$$

$$B_3 = B_2 + \Delta B_2 = B_2 (1 + \delta) = B_1 (1 + \delta)^2 ;$$

$$B_4 = B_3 (1 + \delta)^3 ; \dots ; B_n = B_1 (1 + \delta)^{n-1} .$$

Donde se tira  $B_n / B_1 = B_M / B_m = \beta = (1 + \delta)^{n-1}$

Aplicando logaritmos naturais vem

$$\ln (B_n / B_1) = (n-1) \ln (1 + \delta), \text{ donde}$$

$$n = 1 + \ln \beta / \ln (1 + \delta). \text{ Mas}$$

$$\ln (1 + \delta) = \delta - \delta^2 / 2 + \delta^3 / 3 - \dots$$

e, se δ é pequeno  $\ln (1 + \delta) = \delta$  ; então  
 $n = 1 + 2.3 \log_{10} \beta / \delta .$

Para o caso do filme radiológico as densidades ópticas utilizáveis são, aproximadamente,  $D_m = 0,6$  e  $D_M = 2,5$ . Para  $B = 1000 / 10^D$ , vem  $B_M = 250$  (para  $D_m = 0,6$ ),  $D_m = 3$  (para  $D_M = 2,5$ ) e  $\beta = 250 / 3 = 83,3$ . Então  $n = 2,3 \log_{10} 83,3 / 0,03 = 147$  ou seja, 147 níveis de cinzento.

Aplicando iguais raciocínios para as luminâncias de um monitor de TV chegaríamos à conclusão que o número de níveis de cinzento detectáveis era de 80 a 90.

# COMERCIAL LABORUM

MATERIAL PARA  
LABORATÓRIO-INDÚSTRIA, LDA.

- *Aparelhagem de Electroóptica*
- *Bombas de Vácuo*
- *Equipamentos de Criogenia*
- *Osciloscópios e Multímetros*
- *Computadores e Impressoras*
- *Mesas de Balanças e outro mobiliário*

### CONTACTE-NOS:

Rua da Restauração, 83-2.º • 4000 PORTO  
Telefs. 695767-699382 - Telex 23156

Rua Arco do Carvalhão, 59-6.º Dto. • 1000 LISBOA  
Telef. 659793



**Um Problema de Mecânica**

- Calcular a altura  $h$  para que uma partícula de massa  $m$ , partindo do repouso no ponto  $A$ , e deslizando sem atrito sobre uma pista tipo «looping» (Fig. 1), passe pelo ponto  $O$  da circunferência de raio  $r$ .
- Calcular também as componentes e o módulo da velocidade nesse ponto  $O$ .

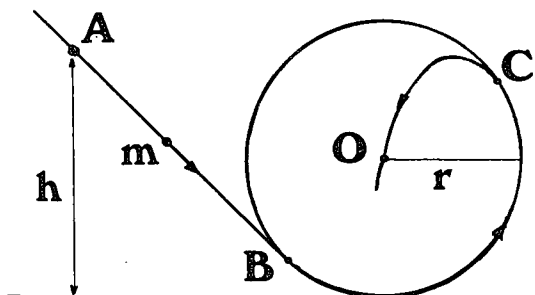


Fig. 1

**Resolução**

Para que a partícula de massa  $m$ , saindo do ponto  $A$  à altura  $h$ , possa passar no centro  $O$  do looping, terá de deixar de contactar com a pista num ponto  $C$  situado no quadrante superior direito da circunferência. Para o determinarmos exactamente, sigamos o movimento da partícula ao longo da sua trajectória.

- De  $A$  até  $B$  a partícula desliza num plano inclinado (seja  $\alpha$  a sua inclinação), sujeita à acção simultânea de duas forças: o seu peso  $\vec{P}$ , na vertical, e a reacção  $\vec{R}$ , normal à pista por não haver atrito. Como  $m$  tem aqui uma trajectória rectilínea, não terá aceleração normal; a reacção da pista deverá então equilibrar exactamente a componente do peso segundo a normal (Fig. 2), isto é,

$$|\vec{R}| = |\vec{P}| \cos \alpha = mg \cos \alpha \quad (1)$$

- De  $B$  até  $C$  a partícula descreve uma trajectória circular de raio  $r$ . Haverá necessariamente uma componente normal da aceleração, dada por  $a_n = v^2/r$ , onde  $v$  é o módulo da velocidade da partícula no ponto considerado. Pela lei de Newton, a componente normal da resultante das forças actuando

sobre a partícula ( $\vec{P}$  e  $\vec{R}$ ; por não haver atrito  $\vec{R}$  continua normal à pista) está ligada com a aceleração normal pela equação,

$$\vec{R} + \vec{P}_n = m v^2 / r \quad (2)$$

onde  $\vec{P}_n$  é a componente do peso segundo a normal à pista. A intensidade da força de reacção da pista sobre  $m$  vem portanto dada, em cada ponto do arco  $BC$ , por

$$R = m v^2 / r - P_n \quad (3)$$

É óbvio que à medida que  $m$  sobe no arco  $BC$ , vai perdendo energia cinética (que se transforma em energia potencial), acabando por se atingir um ponto para o qual  $R$  se torna nulo. Este será o ponto  $C$ , no qual  $m$

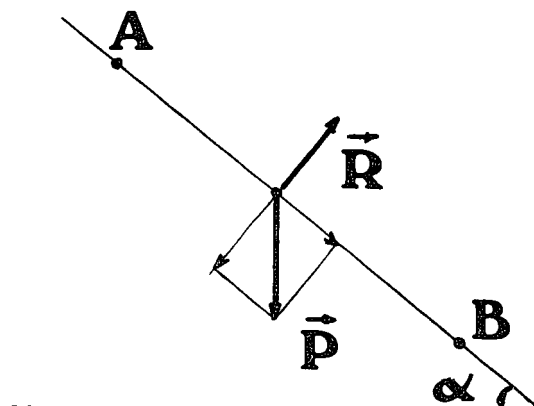


Fig. 2

deixa de estar em contacto com a pista, tendo-se então

$$m v_c^2 / r = P_n \quad (4)$$

onde  $v_c$  é o módulo da velocidade de  $m$  no ponto  $C$ . É fácil ver, da figura 3, que se tem  $P_n = P \sin \theta_c = mg \sin \theta_c$ , donde resulta:

$$v_c^2 = g r \sin \theta_c \quad (5)$$

Não havendo atrito, o princípio de conservação da energia mecânica diz-nos que a soma das energias cinética e potencial em cada ponto da trajectória é igual à energia mecânica inicial,  $mgh$  (por a partícula sair do repouso). Então, no ponto  $C$  temos:

$$1/2 m v_c^2 + mg h_c = mg h \quad (6)$$

Substituindo o valor de  $v_c^2$  dado por (5) e dividindo por  $m$ , é fácil obter o resultado

$$\text{sen } \theta_c = 2(h-r)/(3r) \quad (7)$$

Esta equação dá-nos o valor do ângulo ao centro que identifica o ponto C onde a partícula deixa de estar em contacto com a

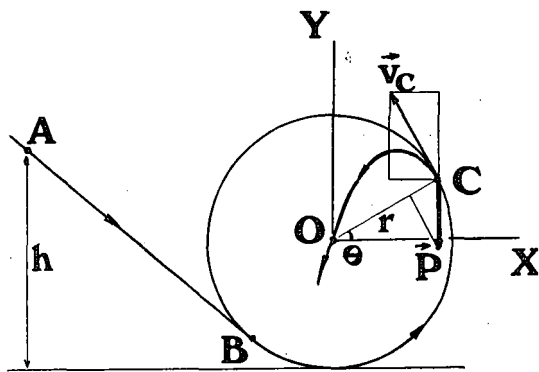


Fig. 3

pista. Como é óbvio, este ponto particular depende da altura  $h$  inicial. Por exemplo, quando  $h = r$  temos  $\theta_c = 0$ ; neste caso a partícula chega à «linha equatorial» e volta para trás. Qual a altura  $h$  para que o ponto C seja o mais alto possível ( $\theta = \pi/2$ )? A expressão (7) dá-nos neste caso  $h = 5r/2$ .

- A partir do ponto C a partícula deixa de estar em contacto com a pista ( $R = 0$ ); a sua trajetória corresponderá então à da queda de um grave, lançado do ponto C com uma velocidade inicial de módulo  $v_c = \sqrt{g r \text{sen } \theta_c}$  e de inclinação  $(\pi/2 - \theta_c)$  em relação à horizontal. Trata-se de um arco de parábola, como se ilustra na figura 3, para um caso particular. De facto, conforme o valor inicial de  $h$ , haverá um número infinito de pontos C possíveis; no problema pede-se para determinar a trajetória particular para a qual a partícula passa pelo centro O da circunferência. Para determinar o correspondente valor de  $\theta_c$  (logo  $h$ , pois se tem  $h = r(3 \text{sen } \theta_c/2 + 1)$ , da eq. (7)) tomemos um sistema de eixos ortonormados com origem em O. Pode-se então estabelecer as equações gerais do movimento do projectil:

Eixo OX (mov. uniforme)

$$x = x_c + v_{xc} t \quad (8)$$

$$v_x = v_{xc} \quad (9)$$

Eixo OY (mov. uniformemente acelerado)

$$y = y_c + v_{yc} t - 1/2 g t^2 \quad (10)$$

$$v_y = v_{yc} - g t \quad (11)$$

Eliminando o tempo entre as duas equações das coordenadas espaciais, obtém-se a equação da trajetória:

$$y = y_c + v_{yc} [(x-x_c)/v_{xc}] - 1/2 g [(x-x_c)/v_{xc}]^2 \quad (12)$$

No problema impõe-se que a trajetória passe pelo ponto O, de coordenadas  $x=y=0$ , o que implica

$$0 = y_c - v_{yc} x_c/v_{xc} - 1/2 g (x_c/v_{xc})^2 \quad (13)$$

Como  $x_c = r \cos \theta_c$ ,  $y_c = r \text{sen } \theta_c$ ,  $v_{xc} = -v_c \text{sen } \theta_c$  e  $v_{yc} = v_c \cos \theta_c$ , esta equação dá-nos imediatamente o valor particular de  $\theta_c$  para que a partícula passe por O, vindo o resultado:

$$\text{cotg}^2 \theta_c = 2 \quad (14)$$

Sendo  $\theta_c < \pi/2$ , isto corresponde a um ângulo  $\theta_c \approx 35^\circ$ . Daqui concluiu-se que qualquer que seja o raio  $r$  da circunferência do «loop», para que a partícula passe por O terá de deixar o contacto com a pista num ponto C para o qual  $\theta_c = \text{arc cotg } \sqrt{2} \approx 35^\circ$ . Substituindo este valor na equação

$$h = r (3 \text{sen } \theta_c/2 + 1) \quad (15)$$

que resulta da equação (7), responde-se à primeira parte do problema posto; feitas as contas obtém-se a solução:

$$h = (1 + \sqrt{3}/2) r \quad (16)$$

- A resolução da segunda parte do problema, que é calcular as componentes e o módulo da velocidade no ponto de abscissa e ordenada nula, é baseada nas equações gerais do movimento da partícula depois de deixar o contacto com a pista.

A componente da velocidade segundo a horizontal é constante e dada por (eq. (9)).

$$v_x = -v_c \sin \theta_c = -\sqrt{gr} \cdot 3^{-3/4} \quad (17)$$

A componente da velocidade segundo a vertical é dada pela equação (11)

$$v_y = v_c \cos \theta_c - g t \quad (18)$$

onde  $t$  é, aqui, o tempo que a partícula demora a passar do ponto C ( $x=x_c$ ) ao ponto O ( $x=0$ ). Da eq. (8) tira-se

$$t = -x_c/v_{xc} = \sqrt{r/g} \cos \theta_c (\sin \theta_c)^{-3/2} \quad (19)$$

donde

$$v_y = -\sqrt{gr} \cos^3 \theta_c (\sin \theta_c)^{-3/2} = -(4/3)^{3/4} \sqrt{12} gr \quad (20)$$

O módulo da velocidade da partícula quando passa no ponto O é dado por (\*):

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{3} \sqrt{gr} \quad (21)$$

Finalmente, a expressão vectorial da velocidade no ponto O é dada por:

$$\mathbf{v} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} \quad (22)$$

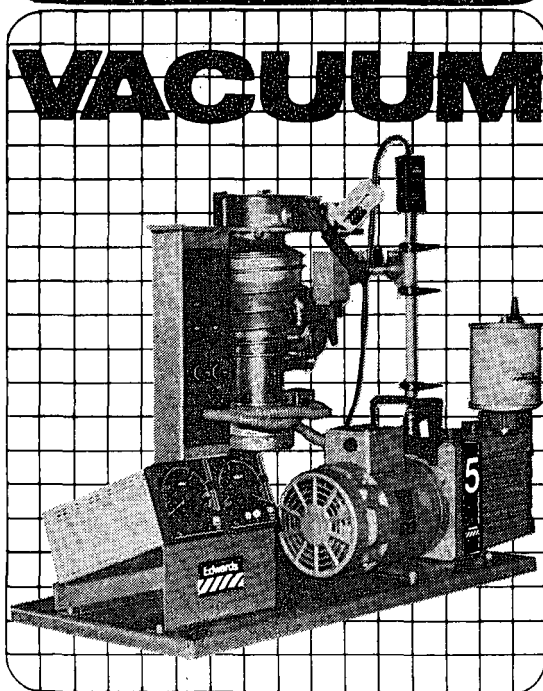
Se o leitor quiser traçar, com rigor, a trajectória da partícula após ter deixado de estar em contacto com a pista, poderá representar a função

$$y = 2\sqrt{2} x - (3/2)\sqrt{3} (x^2/r)$$

que resulta da eq. (12) quando se substitui  $x_c$ ,  $y_c$ ,  $v_{xc}$  e  $v_{yc}$  pelos valores acima determinados.

Rui M. Ferreira Coelho, 12.º ano  
Escola Sec. Emídio Navarro, Viseu

(\*) Este resultado podia obter-se, de um modo mais simples, aplicando o princípio da conservação da energia mecânica aos pontos A e O:  $mgh = 1/2 mv^2 + mgr$ . A eq. (16) conduz imediatamente ao resultado (21).



**EQUIPAMENTOS DE VACUO**

**MENDES DE ALMEIDA, LDA.**

Avenida 24 de Julho, 52 — A/G L12.

Tel. 601219 — TELEX — 13559 ALMEDA

#### Quotas da SPF

*Prezado sócio: se ainda não pagou as suas quotas para o ano de 1987, agradecemos que o faça o mais rapidamente possível junto da respectiva Delegação.*

*Assegurará 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 ... 1200 Escudos  
estudantes ..... 600 Escudos

**Estrutura e Reactividade Molecular**, S. J. Formosinho e A. J. C. Varandas, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1986, 175+viii págs.

*Temos grande dificuldade com a quantificação de moléculas poliatômicas em cálculos do espectro infra-vermelho (da água, por exemplo). Temos o método de aproximação apropriado, mas os cálculos são muito complicados.* Isto foi escrito em 1922 por Max Born, em carta dirigida a Einstein e refere trabalho com o seu assistente de então, Hückel. 65 anos mais tarde, a mesma afirmação é ainda válida! Certamente num quadro diferente. Passou já o ano de 1925 e a descoberta da Mecânica Quântica nas duas formalizações independentes (de Heisenberg e de Schrödinger); temos hoje acesso a máquinas de cálculo já muito potentes mas ainda em rápida evolução que cada ano nos põe à disposição uma maior capacidade a um custo mais baixo. Mesmo assim, é ainda verdade que os cálculos exigidos para uma boa previsão de propriedades moleculares são *muito complicados* (na presunção geral de que *temos a teoria apropriada*), quer pelo tempo de cálculo que consomem e pela capacidade do computador exigido, quer pela dificuldade de interpretação dos resultados obtidos. E é nestes aspectos que o ensaio agora publicado pelos Professores Sebastião Formosinho e António Varandas se torna particularmente relevante para a aprendizagem da Química na sua aplicação a estudos de estrutura e reactividade moleculares, com uma máxima economia de trabalho formal.

Na primeira parte (42 páginas), é feita uma apresentação sucinta da Mecânica Quântica de Schrödinger e da sua aplicação ao problema de uma partícula livre numa caixa de potencial. Nas 74 páginas que constituem a parte II, são apresentados alguns dos problemas fundamentais da Estrutura Electrónica e Molecular numa abordagem baseada na experiência anterior com o comportamento da partícula livre na caixa de potencial. Dos temas tratados poderemos salientar os movimentos moleculares (translação, rotação, vibração), a estrutura e espectroscopia electrónica de átomos, o conceito de ligação química e algumas propriedades moleculares incluindo aspectos de espectroscopia electrónica. Nas 43 páginas da parte III, são introduzidos alguns problemas de Reactividade Química com uma notável economia e precisão de linguagem que denotam bem a profunda compreensão que os autores têm deles.

Com uma apresentação muito original, **ESTRUTURA E REACTIVIDADE MOLECULAR** é um livro que será muito útil como fonte de informação e como meio de melhorar a compreensão dum con-

junto de importantes temas de Química. Pode assim recomendar-se o seu estudo, quer para alunos de licenciatura quer para licenciados. Com uma redacção muito cuidada e um bom aspecto gráfico, a sua leitura será agradável e marcante para a formação científica do leitor.

J. A. N. F. GOMES

**Curso de Programação Fortran**, Rui Alberto Lopes Feio, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1986, 191 p.

Um livro útil este, incluído na colecção «Manuais Universitários» da F. Gulbenkian e que sistematiza as principais noções de FORTRAN (versões 4 e 77) inevitavelmente essenciais num curso inicial (ou na parte de aquisição de linguagem de uma disciplina do tipo «Física Computacional»). O presente volume pode servir de suporte a um tal curso, pois está escrito de forma acessível e com adequadas progressão expositiva, escolha e localização de exemplos. Estes constituem também um exercício (coerente) dos próprios preceitos de boa programação (amplos comentários, bom arranjo gráfico) com que o autor remata.

Um certo número destes exemplos dirigem-se, aliás, a tópicos de básica utilidade em Física Numérica podendo servir de embrião a um banco de algoritmos. O capítulo sobre a versão 77 apresenta uma clara vantagem sobre a leitura do fundamental (mas fastidioso) «Programming in Standard F-77» de Balfour e Hanwick.

Recentes obras na área atribuem importância decisiva ao desenvolvimento rápido nos alunos de fluência algorítmica, sempre num contexto físico específico (vejam-se «Microcomputers in Quantum Mechanics» (1983) de Killinbeck e «Computational Physics» (1985) de S. Kowin, ambos num BASIC de fácil reformulação).

Por outro lado, o FORTRAN é hoje a linguagem de produção científica competitiva em Física, de um modo supremo em áreas como as que D. Hermann («Computer Simulation Methods», a sair) ou Kalos e Whitlock («The Basics of Monte-Carlo Method», 1987) revêem e sintetizam a partir de uma ampla base manipulável de algoritmos. A preparação de estudantes eventualmente activos em áreas de ponta, tem assim sempre a ganhar com um manual de rápido acesso. Para além do que ficou dito sobre a sintonia dos exemplos com a literatura mais recente, o papel secundário dos fluxogramas e o detalhe de instruções de entrada/saída e controlo (na versão 77) são características bem vindas para o instrutor de Física face a alternativas prefixas e dispersas e sem serviço de apoio a utentes. Pouco mais lhe faltará do que detalhar o uso de variáveis de dupla precisão

(particularmente em aritmética mista) e repor na lista de funções intrínsecas os geradores pseudo-alteatórios (RANF e RANSET) e o posicionador lógico SHIFT (preparando para grandes usos de memória paralelos ao caso paradigmático de «multysin-coding» em Física Estatística).

JOSÉ SILVA DUARTE

**Bird of Passage**, Rudolf Ernst Peierls, Princeton, University Press, 1985, 350 p.

R. E. Peierls é um dos nomes mais eminentes da física teórica do séc. XX. Nascido em Berlim (1907), foi aluno de Planck, Nernst, Sommerfeld, etc. e, posteriormente, iniciou-se na investigação com Heisenberg, Pauli, Dirac, Bohr, tendo como companheiros (de trabalho e lazer) Bethe, Landau, Weisskopf e muitos outros físicos de primeira grandeza. Envolvido na grande aventura científica que foi o nascimento e desenvolvimento da Mecânica Quântica, apanhado pelas tempestades económicas e sociais que fustigaram a Europa nos anos 30 e 40, Peierls viu-se obrigado a viver em permanente mudança, qual autêntica ave de passagem. Neste seu livro de memórias (que não é literatura, como logo de início o «exigira» sua mulher, a não menos conhecida Genia Peierls, de origem russa e companheira do autor nas suas deambulações), as personagens e situações são descritas em pequenas histórias, plenas de humor e cheias de sabedoria. Através delas, somos levados a um conhecimento mais íntimo de grandes personalidades científicas deste século; mas também percebemos melhor a génese de processos históricos que viriam a marcar o pós-guerra (o memorando Peierls-Frish e o início da investigação nuclear aplicada em Inglaterra; o projecto Manhattan e a 1.<sup>a</sup> bomba atómica; o caso Fuchs e os «segredos de estado»; o movimento Pugwash e a luta pela paz mundial).

Peierls leva-nos a ver, por dentro, a criação do departamento de Física Teórica em Birmingham e, mais tarde, em Oxford, onde nos são mostradas as peculiares relações entre a Universidade e os Colégios. Através de histórias pitorescas, revela-nos o seu interesse atento e carinhoso pelos inúmeros colaboradores e alunos. Para quem o conheceu, jamais se poderá esquecer da sua figura simples e modesta, onde, no entanto, se esconde uma enorme generosidade, uma absoluta honestidade e seriedade intelectuais, um grande professor e cientista. Facilmente o podemos imaginar a contar, com sorriso prazenteiro, como Pauli, perante o pedido de uma colega para abrandar pois não conseguia acompanhar o seu raciocínio, lhe respondeu: «não me importo se pensa devagar, mas já objecto quando publica mais depressa do que consegue pensar».

Um livro cuja leitura se recomenda vivamente.

E. J. S. LAGE

**Terminologia, Símbolos e Unidades para Grandezas Físico-Químicas. Sistema Internacional de Unidades**, M. Estela Jardim, Mariana Pereira, Escolar Editora, 1985, 94 p.

O presente livro apresenta o sistema internacional de unidades; um capítulo introdutório informa sobre os aspectos gerais do S.I.; é seguido de um capítulo onde as várias grandezas físicas são apresentadas de forma sistemática, agrupadas pelos ramos tradicionais da física. O terceiro capítulo reúne algumas observações sobre unidades, bem como tabelas de constantes e de conversão de unidades. Finalmente o último capítulo dedica-se às convenções sobre escrita de fórmulas e equações químicas, bem como normas de apresentação de tabelas e gráficos. Trata-se de um trabalho bastante completo e que poderá dar informações úteis não só a professores como a outros profissionais.

Há uma certa rigidez de terminologia que pode ser discutível, dado ainda não existirem regras uniformizadoras em língua portuguesa.

No entanto, e à parte algumas falhas de menor importância como troca de símbolos em tabelas (p. e.  $\eta(\mu)$  para velocidade de ondas electromagnéticas), é bastante grave que a tabela de conversão de unidades apresente alguns factores trocados pelo seu inverso (caso, por exemplo, de cm a A, cal a J), a par de outros correctos (p. ex. dine a N). Julgamos que este erro exige uma pronta correcção, pois não é aceitável num trabalho desta índole.

MARIA ESTELA PEREIRA

---

## 7.<sup>a</sup> Conferência Geral da Sociedade Europeia de Física

Helsínquia, 10-14 Agosto 1987

**Sessões Plenárias:** *The Evidence for a Black Hole in our Galaxy; Big Bang and Little Bang. Cosmology in the Laboratory; Halley's Comet, a Close Look; Alignment, Polarization and Orientation in Electron-Ion Collisions; Supercomputers in Physics; New Architecture for Digital Optical Computers; Study of Liquid Surfaces by Synchrotron Radiation; Quasi-Crystals; Quantum Gravity; Accelerators for the Future; New Experiments on the Quantum Theory of Light; JET and the Prospect of Nuclear Fusion; Chaos in Lasers; A New Look on Physics Education.*

### Simpósios.

**Young Physicists Fund:** *Existem boas perspectivas de apoio financeiro para um pequeno número de jovens físicos portugueses.*

# OLIMPIADAS DE FÍSICA

Tiveram lugar no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, nos dias 8, 9 e 10 de Janeiro de 1987, as provas nacionais de encerramento das Olimpíadas de Física 86. Estas provas tiveram o apoio e patrocínio da Fundação Calouste Gulbenkian, Departamento de Física da F.C.T. da Universidade de Coimbra, Companhia de Seguros «O Trabalho» e da Comissão de Turismo de Coimbra. Foram constituídas pela realização das provas teórico-experimentais do 9.º e do 11.º ano, e ainda de uma prova de criatividade, sobre um trabalho original no domínio da computação em Física.

Foram vencedoras nas diferentes provas as Escolas e equipas a seguir indicadas.

## Prova Teórico-Experimental

9.º ano — Escola Secundária de Linda-a-Velha, Lisboa  
Vitor Proença dos Reis  
Gonçalo Jorge Pestana Calado

11.º ano — Escola Secundária de S. Julião, Setúbal  
Duarte Nuno Moniz Borba  
Vasco Nuno Dias Pereira  
Nuno Filipe Lopes Homem

## Prova de criatividade (Programa de computador)

Foi vencedora a equipa da Escola Secundária António Nobre, do Porto, constituída por:

Alexandre Falcão Carvalho  
Pedro Miguel Moutinho  
Rui Manuel Pinto

Os júris nacionais foram constituídos pelos Professores Ana Maria Silva Freire, Maurícia Maria Marques de Oliveira, Eduardo Ducla Soares (9.º ano) e Cândida Strecht Mata de Almeida, Maria Esmerada Costa, Mariana Teles Alface, Maria Flávia Mota (11.º ano).

Apresentam-se seguidamente os textos das questões postas nestas provas nacionais:

## Prova do 9.º ano

### Actividade 1 (Duração: 1 h 15 min)

1. O tempo é um conceito físico que parece ter algo de misterioso. A medição do tempo é

hoje em dia tão comum que nós não nos interrogamos sobre o seu fundamento. Mas, foi só recentemente que os métodos de medir com precisão o tempo foram desenvolvidos.

a) Suponhamos que não dispõem de relógios. Como poderiam medir intervalos de tempo, inferiores à hora, utilizando outros dispositivos? Descrevam dois processos diferentes que utilizariam.

b) Indiquem para cada um dos dois processos descritos anteriormente a unidade de medida concebida.

c) Indiquem as vantagens e as desvantagens da unidade utilizada.

d) Com o material que têm ao vosso dispor, construam dois dispositivos para medir o tempo.

e) Descrevam as vantagens e os inconvenientes dos dois dispositivos que construíram.

## Material:

Prato de gira-discos, Motores eléctricos, Fio, Massas marcadas, Molas elásticas, Buretas, Copos graduados de vidro, Água, Velas, Fósforos, Suportes universais.

## Actividade 2 (Duração: 1 h 15 min)

1. Considerem a afirmação: «A vantagem Mecânica de uma roldana é  $1/2$ ».

a) Comentem a afirmação anterior quanto à sua veracidade.

b) Digam, por palavras vossas, qual o significado físico que atribuem à afirmação enunciada em 1.

c) Com o material à vossa disposição na bancada, montem um dispositivo experimental que permita aceitar ou rejeitar a afirmação.

d) Façam um esquema do dispositivo experimental utilizado.

e) Apresentem os dados que recolheram e os cálculos efectuados.

f) Comparem as conclusões decorrentes dos dados obtidos experimentalmente com a resposta dada em a).

## Prova do 11.º ano

1. Quando um corpo está mergulhado num líquido sofre da parte deste uma força com direcção vertical, sentido de baixo para cima e com intensidade igual à do peso do volume do líquido deslocado (impulsão). Se o corpo se move dentro do líquido fica ainda sujeito à acção de outras forças.

Pretende-se investigar se a resultante das forças referidas em último lugar depende das dimensões do corpo (esfera).

a) Planeia uma experiência que permita proceder à investigação proposta, servindo-se do material fornecido: proveta grande, proveta pequena, detergente líquido (peso volúmico  $1,02 \text{ gf cm}^{-3}$ ), 2 esferas, dinamómetro, papel de filtro, arame, garrafa de esguicho, régua graduada, cronómetro.

(Tempo disponível para esta tarefa 30 min.)

b) Executa a experiência planeada (\*).

c) Em qualquer das situações apresenta um relatório pormenorizado.

(Tempo disponível para as tarefas b) e c): 60 min.)

(\*) Se não conseguires fazer o planeamento podes executar uma experiência com o planeamento seguinte:

i. Deita o detergente na proveta até cerca de 5 cm da abertura da mesma.

ii. Põe o cronómetro a trabalhar.

iii. Coloca a esfera cerca de 10 cm acima da superfície livre do líquido e abandona-a em seguida.

iv. Lê o tempo indicado no cronómetro sempre que a esfera passe pelos traços assinalados na proveta.

v. Procedes do mesmo modo utilizando a outra esfera.

(Sempre que precisas de retirar a esfera do líquido usa o arame fornecido).

2. Pretende-se determinar o valor das grandezas características de um motor.

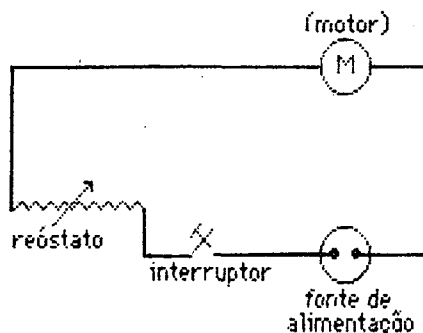
a) Planeamento a executar.

a.1. Lista de material: amperímetro, voltímetro, reóstato, interruptor, fonte de alimentação, motor, fios de ligação, crocodilos, régua graduada, dinamómetro, esfera.

a.2. Procedimento.

a.2.1. Monta o circuito esquematizado.

a.2.2. Suspende a esfera do fio ligado ao motor.



a.2.3. Determina experimentalmente o valor mínimo da intensidade da corrente necessária para que o motor eleve a esfera.

a.2.4. Determina:

—o deslocamento da esfera,

—o tempo de subida.

a.2.5. Determina finalmente as grandezas cujo conhecimento é essencial à resolução do problema.

b) Elabora um relatório pormenorizado. (Tempo disponível: 90 min.)

## Noticiário SPF

### 1. Eleições nas Delegações Regionais

Tiveram lugar no dia 30 de Janeiro de 1987, em Coimbra, Porto e Lisboa, as eleições para as Direcções e Assembleias-Gerais das respectivas Delegações Regionais, para o triénio 1987-90, com o seguinte resultado:

#### Delegação de Lisboa

**Direcção:**

*Presidente* — Fernando António da Costa Parente

*Secretário* — Maria Fernanda T. Cristóvão da Silva

*Tesoureiro* — Manuel Ribau Teixeira

*Vogal* — Maria das Mercês C. Sousa Ramos

*Vogal* — Maurícia Marques de Oliveira

### Mesa da Assembleia Regional:

- Carlos A. G. Paula Cardoso (*Presidente*)
- Maria Adelaide Pedro de Jesus
- Eduardo Jorge da Costa Alves

### Delegação do Porto

#### Direcção:

- Presidente* —José Manuel C. Brochado Oliveira
- Secretário* —José Manuel Monteiro Moreira
- Tesoureiro* —João Manuel Borregana Lopes dos Santos
- Vogal* —João Pedro Ruber de Meneses
- Vogal* —Maria Madalena Amorim Ribeiro

### Mesa da Assembleia Regional:

- Manuel António P. de Barros (*Presidente*)
- Maria Otilde B. Pereira da Costa
- Maria Regina Anjos de Sousa

### Delegação de Coimbra

#### Direcção:

- Presidente* —Nuno Ayres de Campos Barbosa
- Secretário* —Carlos Lopes Gil
- Tesoureiro* —Maria Helena Caldeira
- Vogal* —Esmeralda Bandeira Costa
- Vogal* —Maria Preciosa Cruz Pontes

### Mesa da Assembleia Regional:

- Luiz Alte da Veiga (*Presidente*)
- Lourdes da Conceição R. Andrade
- Maria Helena Vieira Alberto

## 2. Divisões Técnicas da SPF

Recorda-se que a inscrição em Divisões da SPF não implica qualquer quota adicional e pode ser feita, em qualquer momento, através do Secretariado, dos Coordenadores ou das Delegações Regionais (vide Gaz. Fís. 8, 39 (1985); 8, 67 (1985)). Está em curso uma campanha para a inscrição de novos membros nas Divisões Técnicas. Indica-se a lista dos membros inscritos até 31-5-85. Num próximo número serão indicados os membros inscritos após essa data.

### Educação (\*)

Coordenador: *J. C. Valadares*

Vogais: *J. Marat Mendes, Helena Rolão*

Adelino Joaquim da Silva Lisboa (P)

Adriano José Rocha Pedroso de Lima (C)

(\*) L=Lisboa, P=Porto, C=Coimbra, A=Aveiro.

- Agostinho Mendes Lúcio (L)
- Albina Maria Ramos Maia Torres (P)
- Álvaro Anjo (C)
- Ana Isabel Baptista Moura (L)
- Ana Leonor Cardoso Patrício (L)
- Ana Maria Couto Mendes Ramos de Albuquerque Rodrigues (C)
- Ana Maria Vergueiro Monteiro Cidade Mourão (L)
- António Carlos Amador Relvas (P)
- António Coutinho da Silveira Ramos (L)
- António José Marques Bettencourt (C)
- Assis Farinha Martins (L)
- Bruno Vítor Domingos Graça (C)
- Clementina Gonçalves da Fonseca Miranda (C)
- Décio Ruivo Martins (C)
- Fernando Monteiro Bragança Gil (L)
- Helena Augusta de Oliveira Lopes (P)
- Helena Maria Feijó Leão Rolão Gonçalves (L)
- Isabel Maria Coelho de Oliveira Malaquias (C)
- Isabel Maria Ferreira Gaspar Volta e Sousa (L)
- Jaime Cosiño Alonso (L)
- João António de Bessa Meneses e Sousa (P)
- João Fernando Nogueira Correia Luís (P)
- Joaquim Bernardino de Oliveira Lopes (P)
- Jorge António de Carvalho Sousa Valadares (L)
- José Agostinho Santos de Jesus (P)
- José Brito Bonfim (L)
- José Carlos Fontes das Neves Lopes (P)
- José Horácio Gomes de Miranda (P)
- José Manuel Monteiro Moreira (P)
- José Mariano Gago (L)
- José Narciso Marat Mendes (L)
- José Nuno Pires Dias Urbano (C)
- Laurinda Sousa Ferreira Leite (P)
- Luís Ângelo Figueira de Almeida e Silva (L)
- Luiz M. Alte da Veiga (C)
- Luís Paulo da Mota Capitão Lemos Alves (L)
- Manuel António Ribeiro Pereira de Barros (P)
- Manuel Cameira Leitão (C)
- Manuel Fernandes Thomaz (C)
- Maria Cândida Palha de Araújo (P)
- Maria da Conceição Abreu e Silva (L)
- Maria da Conceição Gaudêncio Condenço de Carvalho (C)
- Maria Constança Batoréu da Providência (C)
- Maria das Dores Troina Pamplona (L)
- Maria Estela Miranda Faustino Malaquias Pereira (C)
- Maria Fernanda Bessa de Oliveira (P)
- Maria da Graça Pais de Sousa Ramos Abreu de Almeida (C)
- Maria Helena de Albuquerque Landeiro e Melo (P)
- Maria Isabel Mendes da Cruz Jorge (C)
- Maria José Alves de Castro Neves (P)
- Maria José Barata Marques de Almeida (C)
- Maria Judith Pinho Pereira de Almeida (P)
- Maria Júlia Nunes Simões de Carvalho Guimarães (C)
- Maria Leonor de Azevedo Pires (C)
- Maria de Lurdes da Silva Melo Fernandes (L)



Maria da Luz de Deus Matos Castro Ribeiro (L)  
Maria Manuela Matos Oliveira (P)  
Maria Margarida Brito de Carvalho Rebelo da Cruz  
Morais (L)  
Maria Margarida Valente Gomes de Almeida Resende  
Garcia (P)  
Maria Margarida Ramalho Ribeiro da Costa (C)  
Maria Natália Anes Cruz (C)  
Maria Raquel Teixeira da Conceição Mateus (C)  
Maria Rosa Martins Lousada (P)  
Maria Teresa da Silva Bernardo Gonçalves Oliveira  
Ramos (L)  
Mário Dionísio Cunha (L)  
Mário Nosoliny (L)  
Paula Maria de Sá Leal Rodrigues Miguel (P)  
Paula Maria Saldanha da Costa de Pina e Silva (P)  
Rogério Gomes Carpentier (L)  
Rosa Maria de Melo e Brito Gouveia (L)  
Rui Jorge Lourenço Santos Agostinho (L)

### Física da Matéria Condensada

Coordenador: *J. Bessa Sousa*

Vogais: *A. Gomes Vallera, J. Monteiro Moreira*

Abílio de Jesus Monteiro Almeida  
Álvaro Anjo (C)  
Ana Maria Matos Beja (C)  
António José Boavida Correia Diogo (L)  
António José da Cruz Neto (L)  
António Manuel Barros Gomes de Vallera (L)  
António M. Elias (L)  
Assis Farinha Martins (L)  
Carlos Batista Fiolhais (C)  
Dirce Milheiro Caldas de Andrade Guimarães (C)  
Etelvina de Matos Gomes (C)  
Helena Augusta de Oliveira Lopes (P)  
João António de Bessa Meneses e Sousa (P)  
João Fernando Alves Ferreira (P)  
João Pinheiro da Providência e Costa (C)  
Joaquim Manuel Vieira (C)  
José Brito Bonfim (L)  
José Carlos de Lemos Paixão (P)  
José Carvalho Soares (L)  
José Emílio Fernando Tavares Ribeiro (L)  
José Francisco Salgado (L)  
José Lima-de-Faria (L)  
José Manuel Gaspar Martinho (L)  
José Manuel Monteiro Moreira (P)  
José Miguel do Carmo Nunes da Silva (P)  
José Miguel Peláio de Freitas (C)  
José Narciso Marat Mendes (L)  
Lourdes de Conceição Rodrigues Andrade (C)  
Luís Ângelo Figueira de Almeida e Silva (L)  
Luís M. Alte da Veiga (C)  
Manuel António Ribeiro Pereira de Barros (P)  
Manuel Fernandes Thomaz (C)  
Manuel Henriques Marques Correia (L)  
Maria Amália Migães de Campos Bento (L)

Maria Celeste da Silva do Carmo (C)  
Maria da Conceição Taveira Pires de Carvalho (P)  
Maria Estela Miranda Faustino Malaquias Pereira (C)  
Maria Helena Vaz de Carvalho Nazaré (C)  
Maria Isabel Carneiro Barradas Marques Jorge (C)  
Maria Isabel P. L. Calado Ferreira (P)  
Maria Irene Guerra Mendes Calão Rocha (C)  
Maria de Jesus de Matos Gomes (C)  
Maria José Alves de Castro Neves (P)  
Maria José Barata Marques de Almeida (C)  
Maria Júlia Nunes Simões de Carvalho Guimarães (P)  
Maria Manuela Matos Oliveira (P)  
Maria Margarida Ramalho Ribeiro da Costa (P)  
Maria Renata Faria Arala Chaves (P)  
Maria Teresa Troina Pamplona (L)  
Paula Maria Saldanha da Costa de Pina e Silva (P)  
Paulo Jorge Peixeiro de Freitas (P)  
Rogério Gomes Carpentier (L)  
Vitor João Rocha Vieira (L)

### Física Nuclear e Partículas Elementares

Coordenador: *Augusto M. Barroso*

Vogais: *A. Policarpo, A. Sá Fonseca*

Adriano José Rocha Pedrosa de Lima (C)  
Alfredo Barbosa Henriques (L)  
Álvaro Anjo (C)  
Ana Maria Cruz Eiró (L)  
Augusto Manuel Carvalho Albuquerque Barroso (L)  
Carlos Batista Fiolhais (C)  
Fernando Monteiro de Bragança Gil (L)  
Filipe Duarte Santos (L)  
Gustavo da Fonseca Castelo Branco (L)  
João Pinheiro da Providência e Costa (C)  
João Pires Ribeiro (L)  
João da Providência Santarém e Costa (C)  
Jorge Manuel Rodrigues Crispim Romão (L)  
Jorge Vic. Dias de Deus (L)  
José Agostinho Santos de Jesus (P)  
José Carvalho Soares (L)  
José Emílio Fernando Tavares Ribeiro (L)  
José Mariano Gago (L)  
José Nuno Pires Dias Urbano (C)  
Lucília Pires de Brito (C)  
Luís Filipe Lopes Bento (L)  
Manuel Henrique Marques Correia (L)  
Manuel Joaquim Baptista Fiolhais (C)  
Manuel da Silva Marques (L)  
Maria Armanda Ferreira da Cunha Mantres (P)  
Maria da Conceição Abreu da Silva (L)  
Maria da Conceição Gaudêncio Condeço de Carvalho (C)  
Maria Constança Mendes Pinheiro Providência e  
Costa (C)  
Maria da Conceição Taveira Pires de Carvalho (P)  
Maria Estela Miranda Faustino Malaquias Pereira (C)  
Maria da Graça Pais de Sousa Ramos Abreu de  
Almeida (C)

Maria Júlia Nunes Simões de Carvalho Guimarães (P)  
Maria Margarida Valente Gomes de Almeida Resende  
Garcia (P)  
Maria Rosa Martins Lousada (P)  
Maria Teresa Troina Pamplona (L)  
Mário Dionísio Cunha (L)  
Paula Maria Saldanha da Costa de Pina e Silva (P)  
Paulo Jorge Barreto Gonçalves Moreira (L)  
Paulo Jorge Peixeiro de Freitas (P)  
Pedro Almeida Vieira Alberto (C)  
Rui Jorge Lourenço Santos Agostinho (L)

## Óptica

Coordenador: *Olivério D. Soares*

Vogais: *J. Rebordão, L. M. Bernardo*

Ana Maria Vergueiro Monteiro Cidade Mourão (L)  
Álvaro Anjo (C)  
António José da Cruz Neto (L)  
António Manuel Pais Pereira Leite (P)  
Francisco Álvares Pires (P)  
Helena Augusta de Oliveira Lopes (P)  
Isabel Maria Coelho de Oliveira Malaquias (C)  
João Fernando Alves Ferreira (P)  
João Pires Ribeiro (L)  
João de Lemos Pinto (C)  
José Carlos de Morais H. Silvano (L)  
José Carlos de Sousa Rodrigues de Almeida (L)  
José Narciso Marat Mendes

Luís M. Alte da Veiga (C)  
Manuel António Ribeiro Pereira de Barros (P)  
Maria do Carmo Vieira Segurado de Abreu Santos (L)  
Maria da Graça Pais de Sousa Ramos Abreu de  
Almeida (C)  
Maria Isabel P. L. Calado Ferreira (P)  
Maria Manuela Matos Oliveira (P)  
Maria de Jesus de Matos Gomes (C)  
Maria Renata Faria Arala Chaves (P)  
Maria Teresa da Silva Bernardo Gonçalves Oliveira  
Ramos (L)  
Mário Nosoliny (L)  
Olivério Delfim Dias Soares (P)

## Cristalografia (\*)

Álvaro Anjo (C)  
António José da Cruz Neto (L)  
Dirce Milheiro Caldas de Andrade Guimarães (A)  
João Paulo do Nascimento Vitorino (L)  
Joaquim Manuel Vieira (C)  
José Lima-de-Faria (L)  
Maria da Conceição Taveira Pireses de Carvalho (A)  
Maria Ondina G. D. U. Figueiredo (L)  
Maria Renata Faria Arala Chaves (P)  
Maria Teresa Troina Pamplona (L)

(\*) Aguarda-se o aumento do número de membros para efectuar a eleição do respectivo Coordenador.

**KEITHLEY**

Multímetros e Termómetros Digitais—Instrumentos Científicos—Sistemas de Componentes—Sistemas de Teste Paramétricos—Medida de Radiações, etc.

**LEADER**

Aparelhos Electrónicos de Medida—Osciloscópios—Geradores Audio—Geradores de Funções—Milivoltímetros—Multímetros Electrónicos—Frequencímetros Digitais—Comprova-  
dor de Transistores—Fontes de Alimentação—Pontes LCR Analógicas e Digitais, etc.

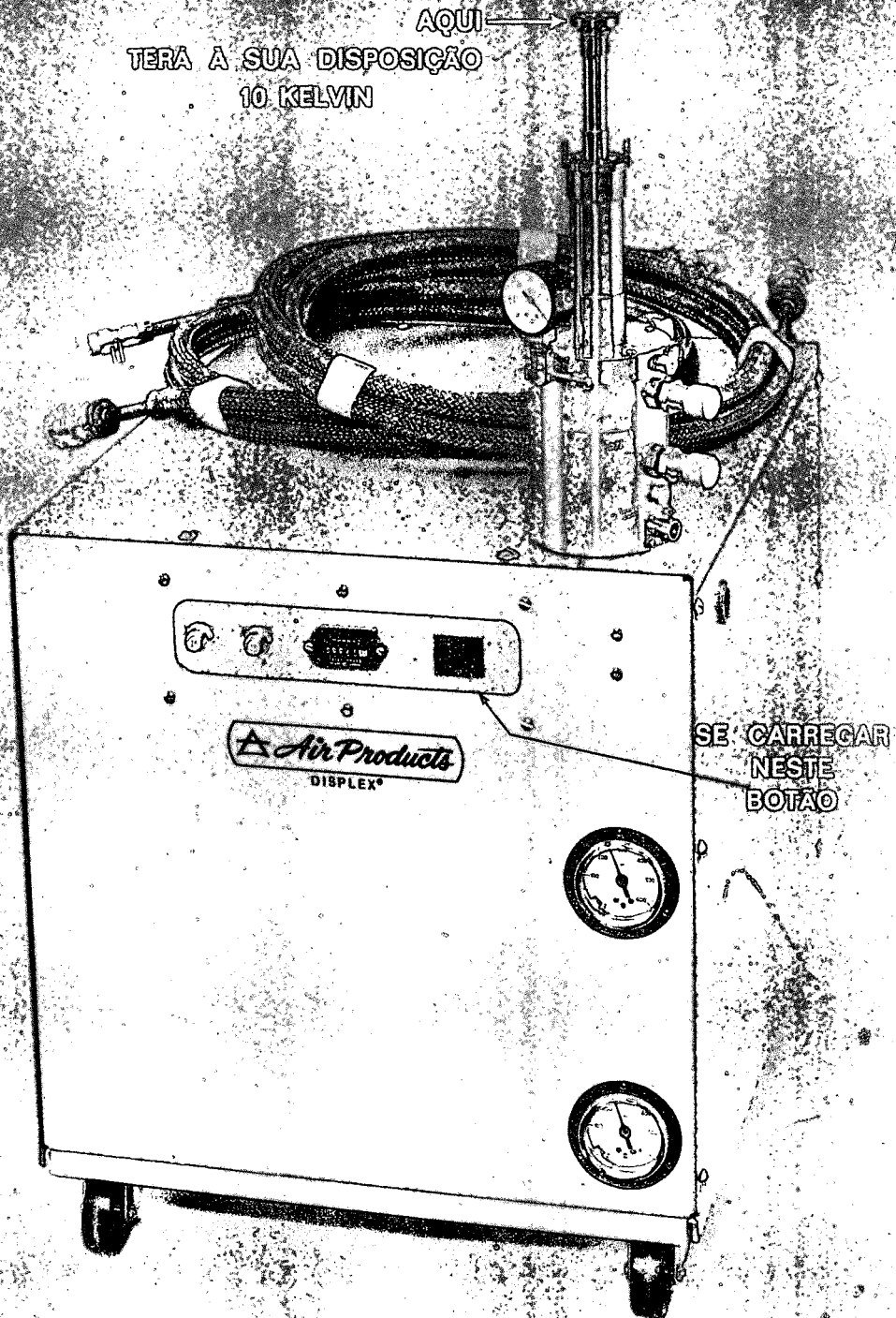
REPRESENTANTES E IMPORTADORES:

**EMÍLIO DE AZEVEDO CAMPOS & CA., LDA.**

Rua de Bolama, 109 — Telefones 497357 e 489893 — 4200 PORTO

Rua Ferreira da Silva, 9 — Telefone 573046 — 1900 LISBOA

AQUI →  
TERA A SUA DISPOSIÇÃO  
10. KELVIN



SE CARREGAR  
NESTE  
BOTÃO

PS. SÓ GASTA ELECTRICIDADE

**CRIO LAB**

Praça D. Afonso V, 120  
4100 Porto • Tel. 682028

EQUIPAMENTO CRIOGENICO  
E DE LABORATÓRIO, LDA.



VOL. 10 • FASC. 1 • JANEIRO 1987

## SUMARIO

<b>O Ensino da Física em Portugal: Problemas e Perspectivas . . . .</b>	<b>1</b>
<i>J. N. Urbano</i>	
<b>A SPF e o Ensino da Física a nível secundário . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>Apontamento sobre a Física em Portugal no século XVIII. Um instru- mento notável do Museu de Física do Departamento de Física da Universidade de Coimbra . . . . .</b>	<b>8</b>
<i>Luiz Alte da Veiga</i>	
<b>Laboratório de Mecânica assistido por computador. Uma experiência de Ensino ao alcance de todos . . . . .</b>	<b>10</b>
<i>A. A. Melo, A. M. Gonçalves e M. M. Martins</i>	
<b>Conceitos físicos em Metodologias Radiológicas. I - Introdução . .</b>	<b>19</b>
<i>João José Pedroso de Lima</i>	
<b>Secção do Leitor</b>	
<b>Um Problema de Mecânica . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>Crítica de Livros . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>Olimpiadas de Física . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física . . . . .</b>	<b>37</b>