

# GAZETA DE FISICA

REVISTA DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA  
DESTINADA AOS ESTUDANTES DE FISICA E AOS FISICOS PORTUGUESES



Medalha comemorativa da  
1.ª Conferência Nacional de Física

# GAZETA DE FISICA

Fundador: ARMANDO GIBERT

VOL. VI - FASC. 1      FEVEREIRO 1978

DIRECTOR: J. Sousa Lopes

PROPRIEDADE E EDIÇÃO:

*Sociedade Portuguesa de Física*  
*Avenida da República, 37, 4.º — LISBOA - 1*

## SUMÁRIO

A Gazeta como órgão da Sociedade Portuguesa de Física	
<i>F. Bragança Gil</i> ... ..	1
Vida e Obra de Manuel Valadares	
<i>Lídia Salgueiro</i> ... ..	2
Introdução à relatividade restrita	
<i>J. da Providência</i> ... ..	13
Diálogo sobre a velocidade da luz	
Extraído da obra <i>Discursos e Demonstrações Matemáticas</i> <i>acerca de duas novas Ciências de Galileu</i> ... ..	16
A velocidade da luz: uma experiência de demonstração.	
<i>A. Almeida Melo e J. Sousa Lopes</i> ... ..	18
Fontes de energia, crescimento exponencial e desenvolvimento tecnológico	
<i>R. Namorado Rosa</i> ... ..	22

## A Gazeta como órgão da Sociedade Portuguesa de Física

*Na primeira Assembleia Geral da Sociedade Portuguesa de Física, realizada em Coimbra em 25 de Janeiro de 1975 — início, de facto, da actividade da SPF, então recentemente criada — foi o Secretariado, eleito nessa altura, incumbido de promover diligências no sentido de conseguir que a Gazeta de Física e a Portugaliæ Physica pudessem ser consideradas como órgãos da Sociedade, a primeira dedicada ao ensino e à divulgação da Física, e a segunda à publicação de trabalhos de investigação originais.*

*Qualquer destas revistas tem uma tradição digna de registo e um longo passado que remonta aos anos difíceis da segunda guerra mundial, época em que a comunicação entre os interessados na Física não tinha qualquer medida comum com o espantoso desenvolvimento que atingiu nos nossos dias. Não tem cabimento, nesta curta nota editorial que assinala o aparecimento da Gazeta de Física como órgão da SPF, traçar a história destas revistas. Lembremos, contudo, que a Gazeta de Física, fundada por Armando Gibert no Laboratório de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa, iniciou a sua publicação em 1946, tendo, até o presente, saído — apesar de uma «vida» sempre difícil que implicou diversas pausas — cinco volumes com um total de quase 1400 páginas. Três anos antes surgia a Portugaliæ Physica sob a responsabilidade de Cyrillo Soares, Telles Antunes, Marques da Silva e Manuel Valadares.*

*Não deixemos também de assinalar que a Gazeta de Física constituiu uma das primeiras publicações periódicas, a nível mundial, exclusivamente dedicada ao ensino e à divulgação da Física. Na realidade, tal como a Comissão de Redacção precisou em «Palavras de Reabertura» publicadas em 1970 no Vol. V, pág. 1, a Gazeta de Física «não é uma revista para trabalhos originais de investigação. O seu nível mais elevado alcança a classe dos professores do ensino médio e a dos estudantes universitários dos anos mais adiantados. Ocupa-se da divulgação dos conhecimentos da Física, ou com ela relacionados, da meditação sobre os conceitos em que essa ciência se fundamenta e dos problemas do seu ensino».*

*Pensamos que, como órgão da SPF, se deverá manter esta linha de rumo para a revista, acrescentando-lhe, todavia, uma secção em que as actividades da Sociedade bem como os problemas associativos e profissionais sejam divulgados e debatidos. Aproveitando o ensejo oferecido pela realização das Assembleias Regionais e da Assembleia Geral da SPF em Janeiro e Fevereiro de 1978, parece oportuno que a Gazeta inicie a publicação dessa secção no próximo número, com o resumo das actividades da SPF nos seus três primeiros anos.*

*Foi longo o processo que levou ao reaparecimento da Gazeta de Física. Datam, contudo, dos fins de Abril de 1975 as diligências do Secretariado da SPF para cumprir o encargo que lhe tinha sido cometido pela Assembleia Geral. Após diversas reuniões com a então existente Comissão de Redacção da revista — cujo espírito de colaboração e o interesse na resolução do problema nos apraz aqui deixar registado — ficou decidida a integração da Gazeta na SPF. Não cabe aqui relatar as diversas diligências, posteriormente feitas, necessárias à efectivação prática da publicação regular da revista, que vão desde a legalmente necessária indicação de um director até a procura das melhores condições técnico-económicas de composição e impressão, passando por numerosos pormenores de natureza técnica e administrativa. Para que o próximo Conselho Directivo, cuja eleição se completa em 23 de Fevereiro de 1978, possa escolher livremente o futuro director da Gazeta, o Conselho Directivo decidiu encarregar da responsabilidade oficial do presente número o Secretário-Geral Adjunto da SPF, J. Sousa Lopes.*

*O actual Secretariado da SPF, que em breve cessa as suas funções, cumpriu — embora tardiamente — as suas obrigações face ao início da publicação da Gazeta de Física como órgão da SPF. O facto deste início ser simultâneo com a realização da 1. Conferência Nacional de Física, prova de maturidade da SPF como Sociedade Científica, permite-nos esperar que a Gazeta tenha a publicação regular que todos desejamos.*

F. Bragança Gil  
Secretário-Geral da SPF

## Vida e obra de Manuel Valadares

LIDIA SALGUEIRO

Laboratório de Física, Faculdade de Ciências, Lisboa

Manuel José Nogueira Valadares nasceu em Lisboa, em 26 de Fevereiro de 1904. Após ter-se licenciado em Ciências Físico-Químicas, na Faculdade de Ciências de Lisboa, foi professor do Liceu Pedro Nunes e Assistente do Instituto Português de Oncologia. Contratado como assistente da Faculdade de Ciências de Lisboa, em 1927, dedicou-se, exclusivamente, ao ensino e à investigação científica. Desde muito jovem se interessou pela pesquisa científica.

Em resposta aos que pretendiam não ser possível fazer investigação em Portugal, escreveu num artigo dedicado à memória do Prof. A. Cyrillo Soares:

*... O mais corrente desses convencionais aforismos é o de que o país é pobre (conviria perguntar se o facto é compatível com boa administração), e de que, por consequência, não tem meios que lhe permitam o luxo de fazer investigação científica. A esta pretensa lógica poder-se-ia opôr aquela afirmação de um estadista indiano que, há pouco, dizia, em resposta a uma afirmativa semelhante: — é precisamente porque a Índia é um país pobre que ela precisa de fazer investigação científica; a investigação é, talvez, um luxo num país como os Estados Unidos da América mas, num país atrasado como o nosso é um artigo de primeira necessidade — ...*

No período decorrente de Novembro de 1929 a Julho de 1930 estagiou no Instituto de Rádio de Genève. Realizou o seu doutoramento em Paris, onde permaneceu de 1930 a 1933, sob a direcção de M<sup>me</sup>. Pierre Curie, com uma tese intitulada «Contribution à la spectrographie, par diffraction cristalline, du rayonnement», e obteve a menção «très honorable».

Frequentou, em Paris, o Instituto Mainini para investigação de obras de arte do Museu do Louvre. Fundou no Museu das Janelas Verdes, em Lisboa, em colaboração com o Dr. João Couto, um laboratório para a investigação de obras de arte, tendo orientado investigadores nesse domínio.

Em 1939 foi-lhe concedido o prémio Artur Malheiros (Ciências Físico-Químicas) pela realização de um trabalho intitulado «Análise por espectrografia de raios X, de transmutações naturais e provocadas».

No ano seguinte foi para Itália, onde permaneceu 14 meses no Instituto de Volta (Pavia) e no Laboratório de Física do Instituto de Saúde Pública.

Em 1940 criou-se oficialmente o Centro de Estudos de Física, anexo ao Laboratório de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa. Deste Centro foi nomeado Director o Prof. Cyrillo Soares, que, embora não fosse um investigador, realizou uma obra notável pela orientação imprimida à investigação científica.

Os dois ramos de Física em que no Centro de Estudos, M. Valadares trabalhou e orientou investigadores foram a Física Nuclear e a Espectrometria de Radiação X; sob a sua direcção alguns assistentes adquiriram o grau de Doutor, tendo trabalhado no mesmo domínio um assistente da Universidade de Madrid.

Apenas em 1942 lhe foi concedida a equivalência ao grau de Doutor pelas universidades portuguesas. Nesse ano o Prof. Ruy Luís Gomes interessou-se para que ele fosse contratado professor catedrático da Faculdade de Ciências do Porto. Extraímos, com a devida autorização, uma parte da resposta enviada por M. Valadares a uma carta, nesse sentido, do referido Professor:

*... Quando em princípios de 1934 regresssei a Portugal após o meu estágio no Lab. Curie, voltei com a convicção de que era preciso criar entre nós a investigação científica no domínio da Física. Ela nunca tinha existido entre nós, à parte alguns casos esporádicos realizados mais com o objectivo de satisfazer imposições legais do que como consequência de um desejo, de uma necessidade cultural. E não vai nesta afirmação agravo algum para aqueles que, em Portugal, têm ocupado as cátedras das nossas universidades; vai a verificação de um facto cujas causas determinantes seria longo, mas não seria difícil de enumerar e que muitas vezes até certo ponto terá sido do desagrado daqueles que em tal situação viveram.*

*Voltando ao País com esta convicção de que me deveria entregar à obra de criar, ou contribuir para criar um Centro de Investigação em Física, estava naturalmente indicado fazê-lo na escola onde era assistente. Aqui não havia, de facto, material algum que servisse para trabalhar no domínio onde eu me especializara, nem quase havia lugar para trabalhar. Eu já vinha, aliás, preparado para me deparar em tal situação e não sofri por isso desânimo algum; era preciso começar-se fôsse em que condições fôsse: começou-se. Basta dizer-lhe que a primeira instalação que montei foi toda (à exclusão duma velha bobina que tinha sido pertença do Colégio de Padres de Campolide...) com material emprestado. Alguns meses depois desta instalação estar a funcionar alguém me sugeria a possibilidade de ir como professor auxiliar para Coimbra; recusei: tinha encetado uma obra e queria levá-la ao fim. O trabalho foi prosseguindo com o apoio de algumas boas vontades e a hostilidade mais ou menos disfarçada de outros.*

*Um conjunto feliz de circunstâncias deu-nos alojamento com espaço suficiente, pelo menos, para os primeiros tempos. Este facto vinha-nos*



*animar para melhorar as instalações já existentes, para montar outras, para prosseguir na obra de que em 1934 tínhamos delineado o esquema geral e que através de todas as dificuldades íamos realizando.*

*Desde 1934 que eu tinha tomado a resolução de me dedicar exclusivamente às funções docentes, impostas pelo meu lugar de assistente, e à investigação, nesta incluindo naturalmente a formação de novos investigadores. Nem sempre a minha situação económica foi de molde a encorajar a resolução tomada; se em certos períodos o meu ordenado de assistente e a bolsa que o I.A.C. me dava permitiam viver sem preocupações económicas, outros houve em que, reduzido só aos vencimentos da Faculdade, a situação financeira não era de molde a criar o estado de espírito necessário para prosseguir na tarefa encetada. Foi numa destas ocasiões, por 1937, 38, que um membro do I.A.C. me propôs encetar diligências para eu ir, como professor contratado, para o Porto por nessa ocasião o Prof. Sousa Pinto estar ocupado em missão de serviço. Como já fizera alguns anos antes, e apesar de todas as dificuldades e contrariedades que tinha conhecido nesse espaço de tempo, recusei. Tinha-se imposto à consciência a convicção de que o dinheiro que o País gastara comigo enviando-me ao estrangeiro, não ficava compensado se eu acabasse por ser simplesmente um professor de física numa terra onde, aliás, tinha havido e havia tantos professores de física; essa verba que a nação gastara comigo, enviando-me a especializar exigia que eu fosse um investigador e que contribuisse para criar a investigação no domínio da física entre nós, porque isso é que não tinha existido nem existia na nossa terra.*

*A pouco e pouco foi surgindo o rendimento do esforço dispendido; era um rendimento certamente modesto, muito reduzido se o compararmos ao esforço que tinha sido necessário realizar para o obter, mas era um resultado honesto, com carácter perfeitamente internacional. Ao mesmo tempo ia-se despertando o interesse noutras pessoas pela investigação científica e assim se iam formando camaradas mais novos cujo auxílio era precioso.*

*... Vejamos agora qual a situação actual do Centro. Em primeiro lugar há que destacar a boa vontade que a Direcção do I.A.C. evidenciou criando, como era nosso desejo há muito tempo, a situação de investigador. Este facto veio dar um novo alento a todos os que aqui trabalham e a meu ver este ano que se aproxima vai ser crucial para a vida do Centro. Pessoalmente tenho a meu cargo a direcção dos seguintes trabalhos: espectrografia de raios X (F. Mendes e dois espanhóis, assistentes da Universidade de Madrid, que para aqui virão, em Novembro ou Dezembro), espectrografia de radiação  $\Upsilon$  (Lídia Salgueiro), espectrografia de radiação  $\beta$  (Carlos Braga) e ainda acompanhar nos primeiros passos dois jovens licenciados que para o ano começarão a trabalhar no Centro. A minha partida, neste momento, representaria possivelmente um atraso no prosseguimento de todos estes trabalhos, atraso tanto mais sério, que alguns deles se destinam a actos de doutoramento, e diminuiria certamente o rendimento geral do Centro.*

... *Aqui estão, caro Prof. Ruy Gomes, as razões que me impedem de sair de Lisboa nesta ocasião.* ...

Poucas pessoas teriam a coragem de sacrificar a sua carreira universitária, pelas razões expostas por M. Valadares.

Tendo-se verificado a vantagem de existir uma revista destinada à publicação de trabalhos originais de investigação, em Física, deu a sua contribuição para a criação, em 1943, da revista *Portugaliae Physica*.

Com o seu entusiasmo contribuiu também para a fundação da revista *Gazeta de Física*, destinada à divulgação da Física.

Expositor brilhante, realizou numerosas conferências e seminários.

Em 1944 apresentou uma tese intitulada «O núcleo atómico e os espectros de riscas de raios X», para concurso a professor extraordinário de Física; estas provas nunca se chegaram a realizar.

Tem sido um defensor de tudo o que considera justo sem nunca se ter preocupado com as repercussões que daí viessem para a sua carreira científica. O jornal «Diário da Manhã» em 29 de Outubro de 1945 publicou um artigo intitulado «Algumas vítimas da opressão, da incultura, da má administração e do retrocesso», de que extraímos uma parte:

«... Agora se vê melhor, — mas isso não quer dizer que toda a gente o não tivesse notado logo — que muitos democratas de qualidade respiram com dificuldade a atmosfera portuguesa e, por isso se tentaram a procurar outro ambiente, mal a coisa lhes pareceu facilitada com as liberdades espontaneamente oferecidas pelo Governo da Nação.

Muitos destes democratas de qualidade, porém houve tempo em que não eram senão uns rapazinhos esperançosos a findarem uns cursos laboriosamente prosseguidos e às vezes superando dificuldades económicas, que se outros tiveram que vencer também, em todo o caso, era razão para conquistarem simpatias e protecções.

Foi quando, já com as suas finanças mais folgadas, graças aos primeiros resultados da administração financeira de Salazar, o Estado, criou a Junta de Educação Nacional, que mais tarde tomaria o nome de Instituto para a Alta Cultura.

Um dos fins do novo organismo era como depois se há-de explicar, o de deitar a mão a esses rapazinhos esperançosos ajudá-los a realizar as suas aspirações, arrancá-los à vida medíocre em que vegetavam, levando-os para Centros de Investigação e cultura mais reputados do mundo, facilitando-lhes a aquisição de técnicas novas ou não existentes entre nós ou o aperfeiçoamento das que já se ensinassem nas escolas superiores portuguesas.

Em suma: desejou-se efectivamente, fazer deles homens de qualidade para serviço da Nação — sem pensar que nos poderiam muito bem sair democratas de qualidade para uso de um partido. Colocámo-nos, repete-se, no plano nacional: eles já estavam, seguramente, num plano de partido. Nós procurámos unificar pensando que todos não seríamos demais; eles dispunham-se já para partir...».

Seguia-se uma lista com os nomes de alguns investigadores que

havia sido bolsheiros no estrangeiro, bem como da verba que «tinham custado ao País»; da Faculdade de Ciências de Lisboa figuravam nessa lista Francisco Mendes, Amaro Monteiro, Manuel Valadares (demitido em 1947) e Aurélio Marques da Silva (demitido em 1947).

Faziam-se ainda considerações sobre algumas das pessoas que constavam da referida lista, entre os quais o matemático António de Aniceto Monteiro.

M. Valadares reagiu imediatamente a estas referências sobre António Monteiro numa carta que dirigiu àquele jornal e que transcrevemos; ignoramos se foi publicada.

*«Exmo. Senhor Director do Jornal «Diário da Manhã»*

*No número de anteontem do jornal que V. Ex.<sup>a</sup> dirige encontram-se: sob o título «Algumas vítimas da opressão, da incultura, da má administração e do retrocesso em matéria educativa...» as seguintes afirmações:*

*«António Aniceto Monteiro nem sequer chegou, no seu regresso, a dar aulas da sua especialidade. Finalmente partiu para o Brasil, onde é professor. E diz que sabe da sua poda: — o País, todavia, não sabia quanto lhe custou a preparação dum matemático... para uso externo».*

*Para completa elucidação dos leitores do Jornal «Diário da Manhã» peço a V. Ex.<sup>a</sup> se digne publicar o que se segue:*

*António Aniceto Monteiro partiu para Paris, como bolsheiro da Junta de Educação Nacional, em 1930. Aí, após ter suprido as deficiências de preparação com que tinha saído da nossa Universidade, realizou trabalhos de investigação que lhe permitiram obter o título de doutor pela Faculdade de Ciências de Paris. Além desta prova do valor dos seus trabalhos existem certamente nos arquivos da Junta, hoje Instituto para a Alta Cultura, as informações dos professores com que António Monteiro lidou a atestarem as suas qualidades de trabalho e inteligência. Suponho mesmo que o nome de António Monteiro é o único nome de matemático português que o volume, consagrado à matemática, da Enciclopédia francesa cita.*

*Regressado ao País e mau grado o valor dos trabalhos que realizara no estrangeiro não encontrou lugar no corpo docente de nenhuma das três Faculdades de Ciências do País. Passou então a viver com uma modestíssima bolsa que o I.A.C. lhe concedeu; passados alguns meses exigiram-lhe, para poder continuar a ser bolsheiro, a assinatura de um compromisso político — que pessoa alguma lhe havia imposto ao enviá-lo para o estrangeiro. Tendo-se recusado a assinar um compromisso que repugnava à sua consciência deixou de ser bolsheiro e a sua vida e a dos seus decorreu daí em diante em condições de dificuldade económica que, por vezes, roçaram pela miséria. Pois bem, apesar de não pertencer à Universidade nem ao I.A.C., apesar das condições difíceis da sua vida, esse homem realizou, no período que decorre desde a sua vinda do estrangeiro até à sua partida para o Brasil, uma obra cultural no campo das matemáticas que não teme paralelo com a de qualquer outro português.*



*Fundou e dirigiu as revistas «Portugaliæ Mathematica» e «Gazeta de Matemática»; a seu pedido foi fundado e sob a sua orientação funcionou o Centro de Estudos de Matemática, anexo à Faculdade de Ciências de Lisboa, onde, entre uma obra vasta, convém salientar aquela que realizou da formação de novos investigadores; efectuou, em escolas superiores portuguesas cinco cursos extra universitários; deu uma contribuição apreciável para os trabalhos do Centro de Estudos Matemáticos da Universidade do Porto; organizou e dirigiu os serviços de inventariação da bibliografia científica existente no País; dirigiu dois seminários de matemática um em Lisboa, outro no Porto; fundou, com os Professores Aureliano Mira Fernandes e Ruy Luís Gomes a Junta de Investigação Matemática; publicou dois livros de matemática e alguns fascículos da série «Topologia» editada pelo Centro de Matemática do Porto; finalmente realizou numerosos trabalhos de investigação científica.*

*Foi certamente o conhecimento desta obra vastíssima de investigador e de impulsionador, realizada aliás nas piores condições, que levou os Professores Einstein e von Neumann a sugerirem à Universidade do Rio de Janeiro a vantagem que esta teria em contar no seu corpo docente um tal homem. António Monteiro partiu nos primeiros meses deste ano para o Rio e aí rege hoje o curso de Análise Superior e dirige o Seminário de investigação matemática.*

*Aqui estão, Senhor Director, as informações — ainda que sucintas — que me parecem permitirão aos leitores do Jornal que V. Ex.<sup>a</sup> dirige, formarem uma ideia mais objectiva do caso António Monteiro.*

*Não sei o que ao findar a leitura destas linhas eles pensarão, mas creio que todos os portugueses que ponham os interesses da Nação acima dos interesses de partido ou pessoais ambicionarão — como eu — que ao terminar o prazo do seu contrato de Professor no Rio de Janeiro, António Monteiro possa regressar ao País para aqui ocupar, no ensino e na investigação matemática, o lugar de primacial relevo a que lhe dá jus o somatório invulgar das suas qualidades de iniciativa, de inteligência, de saber e de carácter.*

*Pela publicação destas linhas ficar-lhe-ei muito obrigado.*

Apesar de já nessa época ser um investigador com projecção internacional nunca este facto o levou a manifestar qualquer espécie de superioridade no trato com as pessoas que com ele trabalhavam. O ambiente do Laboratório de Física era de franca camaradagem, como podem testemunhar as pessoas que frequentavam o Laboratório, embora dedicando-se a outros ramos do saber.

Em Junho de 1947 o «Diário do Governo» publicou uma deliberação do Conselho de Ministros, demitindo ou aposentando vários professores, tendo sido rescindidos os contratos a alguns assistentes. A secção de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa viu-se privada de três dos seus elementos mais prometedores: A. Marques da Silva, A. Gilbert e M. Valadares. Estas demissões constituíram um rude golpe para o Director

do Laboratório, Prof. Cyrillo Soares. Da sua reacção, perante este facto, transcrevemos parte de um artigo de M. Valadares, publicado na «Gazeta de Física», num número dedicado àquele professor:

*«... O Prof. Cyrillo Soares, embora com a saúde já bastante abalada, partiu para o Conselho da Faculdade absolutamente disposto a lutar para que o Conselho protestasse contra uma decisão, que o privava de alguns colaboradores que ele tinha criado e em que depositava as melhores esperanças para que fossem os continuadores da sua obra. Esperava-o uma última desilusão. Temera, é certo, deparar-se perante um Conselho indiferente; encontrou um Conselho satisfeito com o que se acabava de passar. Tão satisfeito que havia de resolver limitar toda a sua actuação a um muito vago apelo ao Conselho de Ministros para que este examinasse os possíveis recursos que, da decisão tomada, viessem a ser interpostos. ...»*

Ignoramos também qual o destino que o Conselho da Faculdade deu a uma exposição apresentada por grande parte dos assistentes da Faculdade, protestando violentamente contra as referidas demissões.

M. Valadares dirigiu então ao Presidente do Conselho e Conselho de Ministros uma alegação de que damos um extracto:

*... no «Diário do Governo, 1.ª série, de 18 do corrente foi publicada uma decisão do Conselho de Ministros, mandando afastar do exercício de funções docentes, com cessação de quaisquer outras funções públicas, 21 professores e assistentes universitários.*

*Essa mesma deliberação, oficialmente tomada apenas ao abrigo do Decreto Lei n.º 25 317, de 15 de Maio de 1935, ao ser tornada pública, dias antes nos jornais de 15 de Junho, viera acompanhada de uma extensa nota oficiosa, em que parece ter o Conselho de Ministros querido definir e justificar as penas impostas e as deliberações tomadas.*

*Mas é precisamente o facto da deliberação que mandou rescindir o contrato ao abrigo do qual o signatário exercia as suas funções, ter vindo a lume, pública e largamente difundida acompanhada da nota oficiosa referida, que força o signatário a vir perante V. Ex.<sup>as</sup> esclarecer a sua, e a vossa posição.*

*Na verdade :—*

*1.— Embora a nota oficiosa o não afirme claramente, pode deixar na opinião pública a dúvida sobre se teria sido a descoberta de um arquivo de uma possível conjura militar que levou ao afastamento dos 21 professores e assistentes;*

*2.— Não foram apresentadas quaisquer provas de que cada um dos referidos professores, ostensiva ou veladamente, animava uma agitação académica;*

3. — Não foram apresentadas quaisquer provas de que cada um dos reeferidos professores menosprezava o exercício do seu múnus docente em benefício de qualquer apostolado ideológico;

4. — Não foram apresentadas quaisquer provas de que cada um dos referidos professores se salientasse pela prática de actos sediciosos, e não foi dito em que consistiam tais actos.

... Ora — e enèrgicamente — o signatário repudia os termos da nota officiosa, na medida em que permite, como permite, a dúvida enunciada no N.º 1, dos períodos atrás enumerados. E considera, quanto à matéria dos restantes números, ser seu dever exigir do Governo que apresente provas dos actos que pareceu querer atribuir aos Professores visados e, consequentemente, ao signatário que deles fazia parte.

O signatário pode afirmar estar certo da inexistência de quaisquer provas reais, que lhe permitissem a imputação de qualquer dos factos, lamentavelmente baralhados na nota officiosa, e que, nos termos desta, poderiam fazer crer à opinião pública, que teriam sido as razões determinantes do afastamento dos 21 professores e assistentes.

O signatário nunca se aproveitou do exercício das suas funções, para fins diferentes do próprio Ensino e da Cultura, que, por meio daquele, era o seu único objectivo.

Pode afirmá-lo desassombradamente, e fazer a declaração comprovada de que, no exercício de tais funções, foi apenas, e apenas quis ser Professor e não consentindo sequer, pela sua própria dignidade, que se lhe afirme coisa contrária.

É certo que se a decisão que levou o signatário ao afastamento do exercício de funções públicas não houvesse, como já foi dito, sido precedida, nos jornais, da confusa nota officiosa que atrás está referida, o signatário não se sentiria na obrigação moral, como sente, de elaborar o seu presente requerimento.

Aceitaria a medida pelo que ela em si mesmo valeria, como acto intimidativo, tendente à punição, não de actos, mas de ideias, como uma demonstração de Força, não como acto de Razão.

Mas em face dos termos da nota officiosa, que por este requerimento vem expressamente repudiar, o signatário, com a serenidade que lhe dá a certeza do seu Direito, e a firmeza que lhe transmite o conhecimento da sua Razão, declara que só na medida em que o Conselho de Ministros o pudesse convencer da exactidão das afirmações contidas na nota officiosa, aceitaria como boa a decisão tomada.

Aceitá-la-ia ainda, se o Conselho de Ministros, em acto prévio, e em elementar respeito dos preceitos legais, reguladores do direito de defesa mesmo em processos disciplinares, o houvesse antecipadamente ouvido e convencido.

Assim, limita-se o signatário, com a mesma tranquila serenidade de quem não errou, e de quem sabe haver sido injustamente agravado, afir-

*mar ao Conselho de Ministros — e, mais do que a este — à própria Nação, que a todos, afinal, ao signatário e ao Conselho julga, pelo menos em consciência, que não será a deliberação pelo Conselho tomada, que o impedirá de continuar a dedicar à sua Pátria, e à Ciência os melhores dos seus esforços...»*

Sabemos que, como única resposta, lhe foi enviada, da Presidência do Conselho, uma declaração de que «não era de considerar a referida alegação». Tendo tido conhecimento da sua demissão, M<sup>me</sup>. Irène Joliot-Curie convidou-o para ir para Paris ocupar o cargo de «Chargé de recherches». Até à sua partida, em Novembro de 1947, orientou o trabalho de vários investigadores, tendo alguns realizado o seu doutoramento em Portugal; contam-se entre estes, dois assistentes da Universidade do Porto.

Até essa data publicou trabalhos de divulgação e de investigação com referências em revistas da especialidade e livros de texto. Publicou ainda dois livros intitulados: «Transmutation des éléments par des particules accélérées artificiellement (1935) e «Elementos de Física Atómica» (1947).

Uma das suas preocupações no estrangeiro foi a de que o Centro de Estudos de Física não desaparecesse e que se continuasse a trabalhar de acordo com as linhas gerais de investigação iniciadas, embora, evidentemente, devessem ser alargadas e até criadas outras.

Entretanto o Prof. Cyrillo Soares, desgostoso, pedira a sua aposentação, deixando assim a direcção do Centro; foi convidado para o substituir o Prof. Júlio Palácios, catedrático da Universidade de Madrid, que durante oito anos ensinou na Faculdade de Ciências. Este Professor dedicava-se a estudos de Electroquímica, pelo que os subsídios concedidos pelo I.A.C. se destinavam fundamentalmente ao referido domínio de investigação. Este facto poderia contribuir para que a pesquisa em Espectrometria de raios X e Física Nuclear, não pudesse prosseguir, tanto mais que aos bolseiros que trabalhavam no Centro em 1947 foram retiradas as boisas de estudo. No entanto, M. Valadares, mesmo afastado de Portugal, nunca cessou de dar a sua colaboração aos poucos que cá ficaram, o que permitiu que a sua obra não morresse. Outros investigadores vieram trabalhar nos mesmos domínios; por vezes alguns se deslocaram a França para discutir com ele os trabalhos em curso e obter sugestões úteis para a continuação das suas pesquisas.

A actividade do Centro de Estudos de Física até 1963 foi descrita na revista «Ciência». Vê-se, que desde 1947 até essa data, se realizaram dois doutoramentos em espectrometria de raios X; um destes doutoramentos foi de uma assistente da Universidade do Porto que veio trabalhar para o Centro de Estudos de Física da Faculdade de Ciências. Em 1963 foi apresentada uma tese, em Física Nuclear, por uma assistente da Faculdade de Ciências de Lisboa cujo doutoramento se efectuou em 1964.

No Centro de Estudos de Física embora se continue a investigar nos domínios já referidos, existem actualmente outros campos de pesquisa, em alguns dos quais se têm realizado doutoramentos.

Em Agosto de 1948, Manuel Valadares foi nomeado *Maître de recherches* e, em Janeiro de 1956, subdirector do «Laboratoire de l'Aimant Permanent», e ascendeu a *Directeur de recherches* em Agosto de 1957. Após o falecimento de S. Rosenblum, Director do «Laboratoire de l'Aimant Permanent», de quem tinha sido amigo e colaborador, foi designado para lhe suceder, em 1959. Em 1962, o referido Laboratório transformou-se em «Centre de Spéctrométrie Nucléaire et de Spéctrométrie de Masse», mantendo, no entanto, o mesmo director.

O Consul de Portugal em França recusou-se em 1966 a renovar-lhe o passaporte, alegando que recebera essa ordem de Lisboa; a referida ordem era extensiva a sua mulher e filho. Os passaportes só poderiam ser renovados para entrar em Portugal. Por essa razão M. Valadares solicitou a naturalização francesa. Acerca desse pedido, o Prof. J. Teillac, Director do «Institut de Physique Nucléaire et de Physique des Particules» fez a seguinte alegação:

«Monsieur M. Valadares m'a informé de la demande qu'il introduit en vue de sa naturalisation. J'appuie vivement cette demande. Elle me paraît hautement justifiée sur le plan scientifique comme sur le plan humain.

Sur le plan scientifique les travaux personnels de M. Valadares lui ont acquis une réputation internationale de premier plan; mais à ces qualités de savant, il faut ajouter celles d'un maître: M. Valadares est en France depuis de longues années et de nombreux physiciens lui doivent leur formation de Laboratoire. J'ai personnellement bénéficié de ses conseils à de nombreuses reprises depuis mes débuts dans la recherche.

Ses compétences ont été reconnues par les responsabilités qui lui ont été confiées comme Directeur de Recherches, Directeur du Centre de Spéctrométrie Nucléaire et Spéctrométrie de Masse et comme membre élu du Comité National de la Recherche Scientifique.

Sur le plain humain, M. Valadares est un homme d'une haute probité intellectuelle, d'une grande simplicité, sachant d'attacher l'amitié de ses collaborateurs par sa franchise et sa bienveillante compréhension. Je puis également témoigner de l'aide amicale et féconde qu'il a su apporter à son prédécesseur S. Rosenblum comme sous-directeur du Laboratoire de l'Aiment Permanent.

M. Valadares a toujours montré un très grand attachement à la France dont il possède parfaitement la culture. La naturalisation qu'il demande reconnaîtrait les éminents services qu'il a déjà rendu à notre pays et j'en suis convaincu réjouirait les scientifiques français.

A Academia de Ciências de Paris conferiu-lhe, em 1966, o prémio Lacase de Física, pelas suas investigações em espectrometria de radiação alfa.

Em 1968 pediu a sua demissão de Director do Centro de Espectrometria Nuclear e de Espectrometria de Massa. A este pedido, P. Jacquinet, ao tempo Director-Geral do Centre National de Recherche Scientifique, respondeu do modo seguinte:

Monsieur le Directeur

Par lettre du 8 de Juillet, vous m'avez fait part de votre décision définitive d'être remplacé dans vos fonctions de Directeur du Centre de Spectrometrie Nucléaire et de Spéctrométrie de Masse.

Je regrette très vivement votre décision, mais je comprends les raisons qui l'ont motivée, et je connais parfaitement l'attachement profond que vous avez pour ce Laboratoire, dont le développement vous doit tant.

Comme vous le proposez, je souhaite que vous continuez d'assumer vos fonctions jusqu'à la nomination de votre successeur, qui pourrait intervenir la fin de l'année 1968.

En vous adressant tous les remerciements du Centre National de la Recherche Scientifique pour votre longue action si fructueuse à la tête du Centre de Spectrometrie Nucléaire et de Spéctrométrie de Masse, je vous prie de croire, Monsieur le Directeur, à mes sentiments les meilleurs».

Em Junho de 1949 foi nomeado pelo Directoire du G.N.R.S., «Directeur Honoraire du Centre de Spéctrométrie Nucléaire et de Spéctrométrie de Masse».

Depois de 1947, data em que saiu de Portugal, publicou 46 trabalhos científicos e vários artigos de divulgação e comemorativos. Alguns daqueles trabalhos tiveram projecção internacional.

Apesar do seu triunfo científico, de uma coisa estou certa: nada lhe será mais grato do que saber que os Centros de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa de que foi o grande iniciador, têm hoje jovens investigadores em vários ramos da Física, e outros que, no estrangeiro, se preparam para no seu regresso poderem contribuir para o desenvolvimento da Física em Portugal.

(<sup>1</sup>) — M. VALADARES, *Gazeta de Física*, vol. II, pág. 93, 1950.

(<sup>2</sup>) — J. GOMES FERREIRA. *Ciência*, 1963.

(<sup>3</sup>) — *Anuário do Laboratório de Física*. Faculdade de Ciências de Lisboa, 1971/72.



## Introdução à relatividade restrita

J. DA PROVIDÊNCIA

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra

A experiência quotidiana, quando é assumida de forma superficial e sem o necessário aprofundamento crítico consagrado pelo método científico, parece demonstrar irrefutavelmente que a velocidade de um corpo é determinada exclusivamente pelas forças que sobre ele actuam. Só haverá movimento enquanto houver força que o mantenha. Estaria assim necessariamente em repouso qualquer corpo não sujeito a forças (ou sujeito a um sistema de forças de resultante nula). Desta pseudo-lei da Natureza decorreria a existência de um referencial absoluto, o referencial definido por corpos livres de quaisquer acções. Galileu demonstrou a falsidade destes conceitos ao constatar que um corpo livre, animado inicialmente de velocidade  $\vec{v}$ , mantém a sua velocidade indefinidamente. Os corpos livres apresentam movimento rectilíneo e uniforme em relação a determinados referenciais, os referenciais de inércia ou de Galileu. Porém, não são apenas os corpos simples (cuja estrutura é irrevelante) que apresentam o mesmo comportamento relativamente a qualquer referencial de inércia. O mesmo se passa com o funcionamento mecânico de sistemas complexos.

É este o conteúdo do princípio da relatividade de Galileu. Por exemplo: — Sabemos que o funcionamento de um relógio não se altera se o transportarmos num avião supersónico, deslocando-se com velocidade uniforme; — As equações matemáticas que regem a evolução temporal de um sistema são formalmente independentes do referencial de inércia a que se referem, etc.

As leis da mecânica apresentam características de invariância que lhes conferem uma beleza particular. Além da invariância de Galileu, a que nos referimos, podemos considerar a homogeneidade, isotropia e simetria de reflexão do espaço. Retomando o exemplo do relógio, é sabido que o seu funcionamento se não altera se o transportarmos para a Lua, ou se o inclinarmos ou rodarmos, ou se o submetermos a uma operação de reflexão, substituindo todas as suas peças por peças novas que estejam para as originais na mesma relação em que a mão direita está para a esquerda. A importância das propriedades de simetria das leis da mecânica é enorme. A homogeneidade e isotropia do espaço (bem como a homogeneidade

do tempo) encontram-se logicamente interligadas com as leis de conservação da quantidade de movimento e da energia. Como exemplo mostraremos que a conservação da energia e a homogeneidade do espaço implicam o princípio da igualdade da acção e reacção. Admitindo que a força  $\vec{F}_{12}$  que o corpo (ou planeta) 2 exerce sobre o corpo (ou planeta) 1 depende apenas dos vectores posicionais  $\vec{r}_1$  e  $\vec{r}_2$  destes corpos,  $\vec{F}_{12} = \vec{F}_{12}(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$ , a homogeneidade do espaço implica que  $\vec{F}_{12}$  apenas pode depender de  $\vec{r}_{12} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$ , isto é  $\vec{F}_{12} = \vec{F}_{12}(\vec{r}_{12})$ . Se o sistema é conservativo, existe uma função escalar  $U$ , a energia potencial, cuja variação é simétrica do trabalho das forças  $\vec{F}_{12}$  e  $\vec{F}_{21}$ . Aqui  $\vec{F}_{21}$  é a força do corpo 1 sobre o corpo 2. Designando por  $d\vec{r}_1$  e  $d\vec{r}_2$  os deslocamentos infinitesimais dos corpos 1 e 2 tem-se  $dU = -(\vec{F}_{12} \cdot d\vec{r}_1 + \vec{F}_{21} \cdot d\vec{r}_2)$ . Da homogeneidade do espaço segue-se que  $U$  apenas pode depender de  $\vec{r}_{12}$ . Escolhendo  $d\vec{r}_1 = d\vec{r}_2 = d\vec{r}$  vem  $d\vec{r}_{12} = 0$  e, portanto,  $dU = 0$ . Logo,  $(\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21}) \cdot d\vec{r} = 0$ , qualquer que seja  $d\vec{r}$ . Segue-se daí que  $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ . Esta equação exprime o princípio de igualdade da acção e reacção que assim surge como consequência lógica da conservação da energia e da homogeneidade do espaço.

Perguntar-se-á se as regularidades a que nos referimos reflectem simetrias fundamentais da Natureza, ou apenas são válidas para a mecânica.

Vimos que a homogeneidade do espaço conduz, em mecânica, ao princípio da conservação da quantidade de movimento. Ora a Física Clássica ensina-nos que não são apenas as partículas que possuem quantidade de movimento, mas também as ondas electromagnéticas. Este facto nada tem de surpreendente, pois as leis do electromagnetismo são espacialmente homogéneas.

Se experimentássemos na Lua a indução electromagnética, obteríamos aí os mesmos resultados que obtemos na Terra. De facto, não conhecemos nenhuma lei fundamental da Natureza que nos permita detectar qualquer inhomogeneidade do espaço, isto é, uma origem privilegiada no espaço. Analogamente, nenhuma lei fundamental da Natureza é conhecida que nos permita detectar qualquer anisotropia ou direcção preferida no espaço.

A forma matemática das equações que traduzem as leis da Física é independente da orientação dos eixos coordenados. As leis da Física traduzem-se por igualdades entre escalares, ou igualdades entre vectores, ou igualdades entre tensores, isto é, entre quantidades que se transformam de modo idêntico se submetermos os eixos coordenados a uma rotação, qualquer que seja. Este facto garante a invariância daquelas leis e dele advem a utilidade da notação vectorial.

Já outro tanto parecia não poder dizer-se do princípio de Galileu.

As leis do electromagnetismo, como foram formuladas por Maxwell, são, aparentemente, válidas apenas num determinado referencial de inércia, que poderia assim ser distinguido e detectado. Por exemplo, das equações de Maxwell resulta que as ondas electromagnéticas se propagam com uma velocidade de cerca de 300 000 Km/s, em todas as direcções. Não compreendemos facilmente que este resultado possa ser válido em

qualquer referencial de inércia. O resultado de uma experiência de electromagnetismo realizada numa nova cósmica deveria aparentemente depender da velocidade da nave, já que, contrariamente ao que sucede com as equações da Mecânica, as equações de Maxwell não são invariantes relativamente a uma transformação de Galileu, representando a passagem dum referencial de inércia para um novo referencial que se mova em relação ao primeiro com a velocidade  $V$ :

$$t' = t$$

$$x' = x + Vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z.$$

Problemas desta natureza preocuparam os físicos, no princípio do século.

Um laboratório terrestre pode, sem dúvida, ser considerado uma nave espacial, se atendermos aos movimentos de rotação e translacção terrestres. Os resultados de experiências electromagnéticas deveriam ser sensíveis à velocidade do laboratório terrestre. Com o fim de demonstrarem a existência deste movimento, Michelson e Morley procederam a medidas extremamente rigorosas da velocidade da luz. Apesar da precisão das técnicas experimentais utilizadas, não conseguiram detectar qualquer manifestação do movimento terrestre, como seria de esperar. O resultado da experiência de Michelson e Morley era incompreensível, pois parecia indicar que no referencial  $S'$  a velocidade da luz continuava a ter, em todas as direcções, o mesmo valor que apresentava em  $S$ , embora  $S'$  se movesse relativamente a  $S$ . Todas as tentativas de explicação deste resultado paradoxal se revelaram inconsistentes.

Lorentz verificou que a mudança de coordenadas espaciais e temporais

$$t' = \left( t + \frac{V}{c^2} x \right) / \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

$$x' = (x + Vt) / \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

em que  $c$  é a velocidade da luz e  $V$  é a velocidade do referencial  $S$  relativamente ao referencial  $S'$ , mantém a forma de equações de Maxwell. Porém que significado poderia ter este resultado?

Poincaré e Einstein observaram que todas as contradições em que a Física tinha caído se resolveriam se se admitisse que também as leis da

Electrodinâmica obedecem ao princípio da relatividade de Galileu, isto é, que são independentes do referencial de inércia. Esta hipótese entra em conflito com o conceito de simultaneidade absoluta. (Segundo este conceito, que parece intuitivo, dois fenómenos simultâneos num determinado referencial, continuarão a sê-lo em qualquer outro). No entanto, a simultaneidade absoluta não é logicamente necessária. A experiência de Michelson-Morley, mostra até que é falsa. Consideremos, com efeito, um comboio  $AB$ , de grande comprimento, que passa à velocidade  $V$  por uma estação  $E$ , da qual é emitido um sinal luminoso no instante em que a parte média de  $AB$  passa por  $E$ . A onda luminosa resultante propaga-se, em relação ao comboio, com a velocidade  $c$  em todas as direcções e, por conseguinte, alcançará simultaneamente os pontos  $A$  e  $B$ . Também em relação ao referencial da estação a velocidade da luz tem o valor  $c$ . Porém, visto que  $A$  se vai afastando de  $E$  enquanto  $B$  se vai aproximando, segue-se que a onda luminosa alcançará primeiro o ponto  $B$ . É evidente, por conseguinte, que estes dois fenómenos, chegada da onda luminosa a  $A$  e chegada da onda luminosa a  $B$ , serão ou não simultâneas, consoante o referencial em relação ao qual sejam considerados.

O postulado fundamental da teoria da relatividade restrita torna extensivo o princípio de Galileu a todas as leis da Física. Segundo este postulado o resultado de uma experiência de electromagnetismo numa nave cósmica não depende da velocidade da nave. O resultado da experiência de Michelson-Morley traduz apenas uma lei fundamental da Natureza.

Para dar uma ténue ideia das implicações deste postulado observaremos apenas que ele nos permite, por exemplo, deduzir as leis do magnetismo a partir da electrostática, estabelecer a equivalência entre massa e energia, etc.

## **Diálogo sobre a velocidade da luz**

Extraído da obra *Discursos e Demonstrações Matemáticas acerca de duas novas Ciências* de Galileu Galilei, publicada em Leiden em 1638.

**SAGREDO** Mas de que espécie e de que grandeza devemos considerar que é a velocidade da luz? É instantânea ou momentânea ou requer tempo como os outros movimentos? Não podemos decidir isto pela experiência?

**SIMPLICIO** A experiência de todos os dias mostra-nos que a propagação da luz é instantânea; pois que quando vemos uma peça de artilharia disparar a grande distância, o clarão chega aos nossos olhos sem lapso de tempo; mas o som chega aos nossos ouvidos após um considerável intervalo.

SAGREDO Bem, Simplicio, a única coisa que eu posso inferir dessa experiência familiar é que o som, para chegar aos nossos ouvidos, viaja mais lentamente que a luz; não me informa se a chegada da luz é instantânea ou se, embora extremamente rápida, ainda demora tempo. Uma observação desta espécie não nos diz mais do que uma em que se afirme que «logo que o sol atinge o horizonte a sua luz chega aos nossos olhos»; mas quem me garante que estes raios não atingiram esse limite antes de chegarem aos nossos olhos?

SALVIATI O pouco que se pode concluir desta e de outras observações similares levou-me a conceber um método pelo qual se pode, com precisão, inferir se a propagação da luz é realmente instantânea. O facto de a velocidade do som ser tão elevada como é, assegura-me que a velocidade da luz não pode deixar de ser extraordinariamente grande. A experiência que concebi é a seguinte:

Consideremos duas pessoas, cada uma com uma fonte luminosa contida numa lanterna, ou noutra receptáculo, por forma a que por interposição da própria mão, qualquer delas possa tapar ou deixar passar a luz até os olhos da outra. A seguir essas pessoas colocam-se em frente uma da outra à distância de alguns côvados e treinam-se até adquirirem tal prática em descobrir ou esconder as suas luzes que no instante em que uma vê a luz do seu companheiro deixa passar a luz da sua própria lanterna. Depois de alguns ensaios a resposta será tão imediata que, sem erro sensível, o destapar de uma luz é imediatamente seguido do destapar da outra. Tendo adquirido prática a esta curta distância, os dois experimentadores, equipados como anteriormente, colocam-se em posições separadas pela distância de duas ou três milhas e fazem a mesma experiência à noite, verificando cuidadosamente se as posições e as ocultações ocorrem da mesma maneira que a curta distância; se tal acontece, podemos com segurança concluir que a velocidade da luz é instantânea; mas se é necessário um certo tempo à distância de três milhas — que, considerando a ida de uma luz e a vinda da outra, realmente é de seis milhas — então o atraso deve ser facilmente observado. Se a experiência se fizer a distâncias ainda maiores, digamos, oito ou dez milhas, podem utilizar-se lunetas, ajustando cada observador a sua no lugar em que, à noite, fizer a experiência; então embora as luzes não sejam intensas e por isso invisíveis a olho nu a uma tão grande distância, elas podem ser tapadas ou destapadas sem dificuldade já que com a ajuda das lunetas ajustadas e fixadas, elas serão facilmente visíveis.

SAGREDO Esta experiência impressiona-me como sendo uma invenção engenhosa e de confiança. Mas disse-me o que concluístes dos resultados.

SALVIATI De facto, eu apenas fiz a experiência a pequena distância, menos de uma milha, e dela não pude concluir com segurança se o aparecimento da luz da outra lanterna era instantâneo ou não; mas se não é instantâneo, é extraordinariamente rápido — chamar-lhe-ei momentâneo.

## A velocidade da luz: uma experiência de demonstração.

A. ALMEIDA MELO ★ e J. SOUSA LOPES ★★

★ Laboratório de Física, Faculdade de Ciências, Lisboa

★★ Laboratório de Física e Engenharia Nucleares, Sacavém

*Descreve-se uma experiência simples, que pode ser realizada sobre uma mesa, para a determinação da velocidade da luz. A fonte luminosa é uma lâmpada de descarga que se constroi facilmente e o detector da luz é um fotomultiplicador. Obtêm-se, sem dificuldade, resultados com uma precisão de cerca de 10%.*

### INTRODUÇÃO

A medida directa da velocidade da luz obriga ou ao corte de um feixe contínuo de luz, como na experiência clássica do espelho girante, ou à emissão de luz em impulsos bem definidos no tempo. Esta última técnica foi utilizada nas experiências pedagógicas relatadas por Tyler <sup>1)</sup>. Descreve-se aqui uma experiência demonstrativa aparentada com a descrita por este autor, da qual difere essencialmente pelo método de produzir os impulsos luminosos e pelo percurso óptico utilizado.

Resumidamente, a experiência faz-se como se indica a seguir. Impulsos luminosos provenientes de uma fonte pulsada são detectados num fotomultiplicador; os impulsos eléctricos correspondentes à detecção dos impulsos de luz são visualizados num osciloscópio que é disparado em sincronismo com o instante da emissão luminosa. À medida que a luz percorre distâncias maiores até atingir o fotomultiplicador, os impulsos visualizados no osciloscópio deslocam-se, em correspondência, no respectivo écran.

### EQUIPAMENTO E OPERAÇÃO

A fonte luminosa é uma lâmpada de descarga eléctrica no ar cujos eléctrodos são constituídos por varetas de tungsténio com um diâmetro de cerca de 3mm, uma das quais foi afiada na ponta; desta maneira obtém-se uma faísca bem localizada. (Os eléctrodos de tungsténio encontram-se facilmente já que são utilizados como um dos eléctrodos na soldadura a argon praticada mesmo em pequenas oficinas mecânicas). Um dos eléctrodos



está ligado a uma fonte de alta tensão através de uma resistência de  $10\text{ M}\Omega$ ; o outro liga-se à terra através de uma resistência de  $47\ \Omega$ . Quando a distância entre os eléctrodos é de cerca de  $0,6\text{ mm}$  a descarga inicia-se a cerca de  $2\text{ kV}$  e prossegue até a tensão descer de cerca de  $200\text{ V}$ . A resistência de  $10\text{ M}\Omega$ , em série com a fonte de tensão, faz com que a intensidade da descarga seja essencialmente determinada pelo valor da capacidade entre os eléctrodos; obtém-se uma intensidade conveniente juntando  $1$  ou  $2\text{ pF}$  à capacidade parasita entre eléctrodos. A taxa de repetição das faíscas é controlada pela capacidade total entre eléctrodos e pela resistência de  $10\text{ M}\Omega$  pois que, após cada faísca, a tensão entre eléctrodos tem que subir até o valor necessário para que uma nova descarga se inicie (a subida da tensão implica a carga do condensador colocado entre eléctrodos). A duração de cada faísca é determinada pela indutância parasita, pela capacidade entre eléctrodos e pela resistência de  $47\ \Omega$  (a resistência equivalente do plasma, isto é, do gás ionizado na descarga, é pequena). Utilizando um osciloscópio de  $50\text{ MHz}$  pode observar-se, nas condições experimentais descritas, uma duração aparente de alguns nanossegundos. O osciloscópio é disparado externamente por um sinal tirado da resistência de  $47\ \Omega$  (e não por um sinal derivado internamente do sinal de entrada do amplificador vertical do osciloscópio). O esquema eléctrico das ligações e a forma aproximada dos impulsos vistos no osciloscópio estão representadas na Fig. 1.

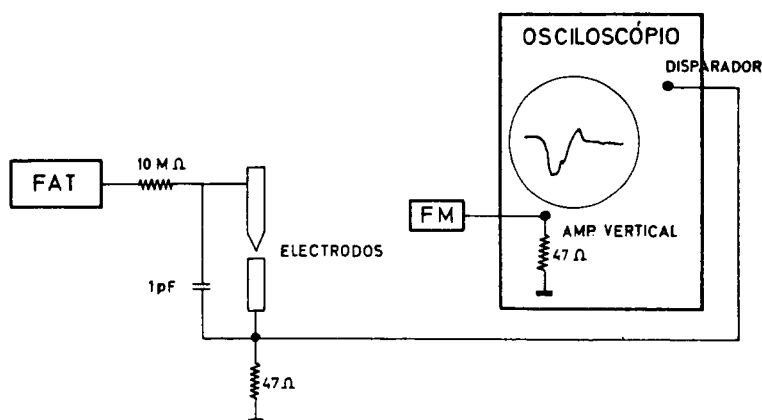


Fig. 1 — Esquema das ligações eléctricas. A fonte de alta tensão está indicada por *FAT*; o fotomultiplicador por *FM*. No écran do osciloscópio mostra-se a forma aproximada dos impulsos vindos do fotomultiplicador.

Os impulsos luminosos são detectados por um fotomultiplicador mas pode também usar-se um fotodiodo <sup>2)</sup>. Os impulsos eléctricos correspondentes que aparecem no ânodo do fotomultiplicador são aplicados à entrada do amplificador vertical do osciloscópio através de um cabo coaxial

de  $50 \Omega$  de impedância. Para minimizar as reflexões destes sinais, a resistência de ânodo do fotomultiplicador tem o valor de  $47 \Omega$  e, do lado do osciloscópio, o cabo é também terminado por uma resistência de  $47 \Omega$ , isto é, põe-se uma resistência de  $47 \Omega$  em paralelo com a impedância de entrada do osciloscópio — que é usualmente da ordem de  $1M \Omega$ . (O valor  $47 \Omega$  foi escolhido por ser próximo do valor correcto —  $50 \Omega$  — e se encontrar facilmente no comercio). Aplicando ao fotomultiplicador uma tensão de trabalho apropriada, o sinal no ânodo é de amplitude conveniente e não necessita de ser amplificado. O sinal é observado com a máxima velocidade de varrimento possível no osciloscópio; a velocidade de  $10ns/cm$ , usualmente existente nos osciloscópios de  $50MHz$ , é suficiente para uma experiência de demonstração.

Na Fig. 2 indica-se esquemáticamente o percurso óptico utilizado. A fim de maximizar a intensidade do feixe luminoso, a lente usada para tornar o feixe paralelo tem uma distância focal pequena (cerca de  $0,5cm$  no nosso caso); uma abertura  $f/0,25$  é bastante. A luz é primeiramente reflectida num espelho plano posto a cerca de  $45^\circ$  relativamente aos quatro espelhos paralelos; é conveniente montar estes quatro espelhos fixos num suporte rígido comum. O feixe luminoso, que se propaga da esquerda para a direita, é reflectido na direcção do fotomultiplicador por um espelho que se pode deslocar ao longo de uma pequena bancada óptica. Com a disposição dos espelhos e as distâncias indicadas na Fig. 2, o percurso óptico pode incrementar-se em dois degraus iguais de aproximadamente  $293cm$ , através da deslocação do espelho móvel da posição A para a posição C. O facto de os cabos que transportam os sinais serem fixos (e curtos), e de apenas se modificar o percurso óptico é uma vantagem da montagem utilizada nesta experiência de demonstração.

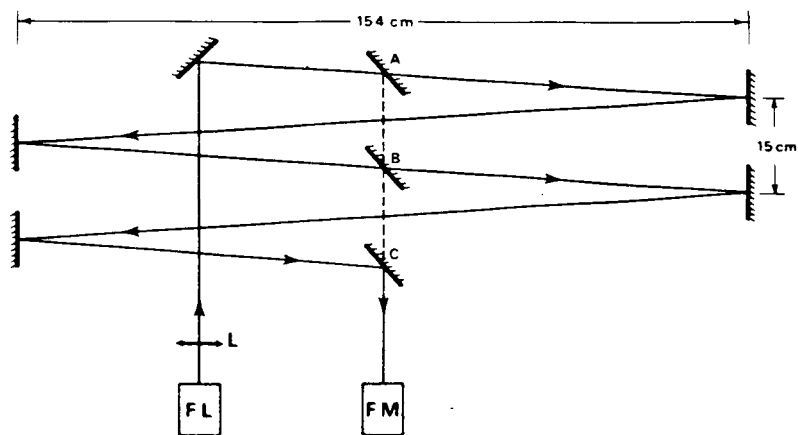


Fig. 2 — Percurso óptico. *FL*, fonte luminosa; *L*, lente convergente; *FM*, fotomultiplicador. As três posições do espelho móvel estão indicadas por *A*, *B*, e *C*.

Para uma velocidade de varrimento horizontal do feixe do osciloscópio de 10 ns/cm, a cada incremento de 293cm do percurso óptico corresponde, no osciloscópio, o deslocamento horizontal de 1cm do sinal associado à detecção do impulso luminoso. Determina-se, assim, a velocidade da luz com uma precisão de, digamos, 10%; uma determinação tão simples e directa tem grande impacto nos estudantes.

A experiência pode repetir-se por forma a que a luz se propague na água, ou ao longo de varetas de perspex. Um trajecto de cerca de 586cm em água, cujo índice de refacção é  $n=1,33$ , equivale a um trajecto no ar de  $586+193$ cm, ou seja, corresponde a um acréscimo de cerca de 7ns no tempo de percurso relativamente ao tempo de percurso no ar; a correspondente deslocação do sinal no écran do osciloscópio é facilmente observável. Assim se poderia demonstrar a relação entre a velocidade da luz  $v$  num meio e o respectivo índice de refacção ( $n=c/v$ ), ou introduzir experimentalmente a noção de percurso óptico.

<sup>1)</sup> C. E. Tyler, *Amer. J. Phys.* 37 (1969) 1154

<sup>2)</sup> D. S. Edmonds, Jr. e R. V. Smith, *Amer. J. Phys.* 39 (1971) 1145

## Fontes de energia Crescimento exponencial e substituição tecnológica

RUI NAMORADO ROSA

Laboratório de Física e Engenharia Nucleares, Sacavém

*Recordam-se as principais fontes de energia do globo terrestre; a sua maioria corresponde a fluxos permanentes de energia ou a depósitos alimentados por tais fluxos, sendo este sistema basicamente accionado pela radiação solar.*

*A produção mundial de energia revela um crescimento exponencial ao longo de períodos de tempo dilatados, à semelhança do que acontece com a produção das matérias-primas básicas. Com a travagem do crescimento demográfico e com o crescente custo de produção de matérias-primas e de energia, a produção mundial tende a desacelerar-se, o que parece intervir no processo inflacionário da economia (Hubbert, 1974).*

*A experiência da prospecção e desenvolvimento de reservas mostra que as fontes de matérias-primas e de energia tendem a esgotar-se. Nesta perspectiva, é necessário que o progresso tecnológico permita realizar com eficiência cada vez maior os processos de conversão e utilização de energia; todavia, este progresso tem alcance limitado. É também necessário que se proceda à substituição de fontes de energia, à semelhança do que aconteceu no passado por força da competição entre fontes de energia e entre técnicas para o seu aproveitamento mas, agora, por força da limitação dos recursos e correspondente agravamento dos custos de produção. Apresenta-se o modelo de Fisher & Pry (1970) da evolução tecnológica por substituição competitiva. Realça-se a importância deste modelo para a projecção do actual sistema energético para o futuro.*

### OS RECURSOS ENERGÉTICOS

Aquando da formação do planeta terrestre, a adição progressiva de material planetário e a sua sequente compressão gravítica geraram calor que ficou parcialmente conservado no interior do jovem planeta. Com o planeta já formado, o calor de origem radioactiva reiniciou o processo de aquecimento, conduzindo à fusão das camadas intermédias e culminando no colapso destas para o centro do globo. Este colapso libertou ainda mais calor, assim prolongando o processo de aquecimento do planeta, mas, por outro lado, estabilizou o processo de evolução e possibilitou a diferenciação do núcleo, do manto e da crosta. O calor remanescente, armazenado no manto e no núcleo, bem como o calor de origem radioactiva continuamente libertado na crosta, constituem as duas fontes de fluxo de energia interiores ao globo terrestre.

O calor armazenado no interior do globo é responsável pelas correntes de convecção através do manto que produziram a estratificação química do globo assim como os movimentos de deriva dos continentes e a formação das cristas oceânicas. É também a fonte de energia responsável pelos fluxos de calor que atravessam a crosta, quer por condução

generalizada quer por convecção em zonas de fractura, que se denomina calor geotérmico.

Sobre a origem e história geológica do planeta terrestre consulte-se Press & Siever (1974).

O globo terrestre está, por outro lado, sujeito a dois importantes fluxos de energia de origem exterior: a radiação solar e a energia gravítica orbital. O fluxo de energia gravítica deve-se à vizinhança das massas solar e lunar e traduz-se em movimentos oceânicos, designadamente as marés e as correntes oceânicas. A radiação solar (com características próximas da radiação do corpo negro a  $6000^{\circ}\text{K}$ ) incide e atravessa a atmosfera onde é parcialmente absorvida (pelos gases e nuvens), por forma que só cerca de metade do fluxo atinge o nível de solo onde a maior parte fica absorvida. As fracções absorvidas na atmosfera e ao nível do solo vão libertar aí calor e, em consequência, alimentar intensas trocas radiativas entre aqueles dois corpos bem como intensa irradiação para o espaço exterior no infravermelho (com características próximas da radiação do corpo negro a  $300\text{ K}$ ).

A fracção da radiação solar absorvida na atmosfera, que fica disponível, vai então dar aí lugar a fluxos verticais e horizontais (ventos). A fracção disponível da energia absorvida ao nível do solo vai accionar a evapotranspiração da cobertura vegetal e a evaporação das superfícies líquidas ou, simplesmente, aquecer as camadas inferiores de ar e, numa fracção mínima, accionar o processo da fotossíntese nas plantas verdes. As massas de água e gelo continentais, alimentadas por aqueles processos evaporativos, possuem significativa energia gravítica; a biomassa alimentada através da fotossíntese constitui, por seu lado, um substancial reservatório de energia química; um e outro reservatório são inesgotáveis fontes de energia porque alimentados por fluxos permanentes accionados pela radiação solar. Há ainda a registar que a acumulação de biomassa, a sua transformação química em meio redutor e a conservação sob condições favoráveis dos produtos dessa transformação permitiram preservar, até hoje, parte da energia da biomassa que vem sendo produzida desde há mais de 500 milhões de anos; com efeito, é essa a origem dos carvões, dos petróleos, do gás natural e demais produtos fósseis que têm constituído as mais importantes fontes de energia ao serviço do homem desde o início deste século.

As principais fontes de energia do globo terrestre encontram-se representadas na Fig. 1, bem como os fluxos energéticos dominantes por elas accionados e os reservatórios por estes alimentados. Os combustíveis nucleares, embora sendo matérias-primas energéticas ao dispôr do homem, não se incluem aqui por serem exteriores ao sistema de fluxos energéticos do globo.

Os recursos de uma qualquer matéria-prima são classificáveis de dois pontos de vista distintos: consoante o grau de certeza geológica e consoante o custo de extracção. Só aqueles recursos que são reconhecidos

## Quadro 1

### RECURSOS ENERGÉTICOS MUNDIAIS

#### Recursos não renováveis

	Reservas	Consumo	R/C
<i>Tecnologias já adquiridas</i>	10 <sup>3</sup> PJ	10 <sup>3</sup> PJ/ano	ano
Carvão	13 858(1)	70	197
Petróleo	3 957(2)	108	37
Gás natural	1 932(3)	52	38
Urânio	1 020(4)	11	94
<i>Tecnologias a desenvolver</i>			
Xistos betuminosos	19 870(5)	—	—
Areias betuminosas	6 380(6)	—	—
Urânio	98 160(7)	—	—
Tório	41 020(8)	—	—
Lítio	444 000(9)	—	—

#### Recursos renováveis

	Recursos	Consumo	R/C
Energia Solar:	10 <sup>3</sup> PJ/ano	10 <sup>3</sup> PJ/ano	ano
Radiação	3 900 000(10)	—	inesgotáveis
Oceânica térmica	100 000(11)	—	
Oceânica ondulatória	(12)	—	
Biomassa	3 250(13)	(14)	
Eólica	(15)	—	
Hidráulica	300(16)	5	
Energia Geotérmica	293 (17)	—	
Energia das Marés	95(18)	—	

#### NOTAS:

(1) — Reservas recuperáveis (a 3,5 a 8,0kcal/g); recursos totais *in situ* 18 vezes superiores.

(2) — Reservas provadas recuperáveis (a 10,3kcal/g); recursos finalmente recuperáveis 2 a 20 vezes superiores.

(3) — Reservas provadas recuperáveis (a 10,3kcal/g); recursos recuperáveis restantes 2 a 22 vezes superiores.

(4) — Recursos razoavelmente assegurados de baixo e alto custo (a 150GWh/t, aplicável a reactores LWR e a 0,25% de teor de rejeição do U-235, admitida a reciclagem do U mas não do Pu); recursos adicionais estimados 1100 10<sup>3</sup>PJ.

(5) — Recursos identificados (4370 com 10 a 40% de teor+15 500 com 4 a 10%; poder calorífico médio 10,3kcal/g); recursos hipotéticos 3 vezes superiores e recursos especulativos 112 vezes superiores.

(6) — Estimativa de recursos *in situ* (a 10,3kcal/g).

(7) — Valor energético correspondente aos recursos razoavelmente assegurados (a 14 000GWh/t, aplicável ao ciclo U/Pu em reactores reprodutores).



como certos e cujo custo de extracção é economicamente interessante se qualificam de «reservas». Pois as reservas das principais matérias-primas energéticas encontram-se registadas no Quadro 1. Este Quadro foi construído com base nos dados fornecidos em World Energy Conference (1974).

Quanto aos combustíveis fósseis, é patente o relevo dos carvões no quadro dos combustíveis actualmente aproveitados mas é também de assinalar a importância das rochas betuminosas no quadro dos combustíveis potenciais. Quanto aos combustíveis nucleares, o lítio é de todos o de maior importância energética enquanto é modesta a contribuição do urânio no quadro da actual tecnologia nuclear.

Os recursos renováveis, também incluídos no Quadro 1, correspondem aos fluxos energéticos permanentes accionados pelas fontes de energia atrás descritas. É patente o predomínio dos fluxos que têm a sua origem na energia solar. A radiação solar é, ela própria, o mais importante recurso disponível seguindo-se-lhe a energia oceânica; mas, uma e outra, parecem ser as fontes mais difíceis de controlar. As energias da biomassa, eólica e hídrica, sendo relativamente menos importantes, são mais acessíveis para já. A energia geotérmica, que tem a sua origem no calor remanescente no interior do globo e na radioactividade da crosta, assim como a energia das marés, que tem a sua origem na acção gravítica exercida pelas massas solar e lunar, são de importância relativamente reduzida e, provavelmente, de interesse muito localizado em alguns pontos favoráveis.

---

(8) — Valor energético correspondente aos recursos razoavelmente assegurados (a 14 300GWh/t, aplicável ao ciclo Th/U—233 em reactores reprodutores).

(9) — Recursos terrestres estimados (5 Mt a 25 000GWh/t, aplicável ao ciclo Li/H-3 em reactores term nucleares).

(10) — Radiação solar global ao nível da superfície terrestre (corresponde a 70% da radiação incidente acima da atmosfera: 0,139W/cm<sup>2</sup>); talvez só 0,1% utilizável.

(11) — Correspondente a gradientes térmicos verticais da ordem de 20°/1000 m; talvez só 1% utilizável.

(12) — Não dispomos de um número para o valor global deste recurso o qual será, todavia, muito elevado.

(13) — Correspondente à produção fotossintética global (155Gt/ano de biomassa seca a 5kcal/g de poder calorífico superior); 65% desta produção ocorre sobre os continentes.

(14) — Parte significativa do consumo não é contabilizável por se fazer à margem dos circuitos comerciais; a fracção contabilizável deverá exceder 22 10<sup>3</sup>PJ/ano.

(15) — Não dispomos de um número para o valor global deste recurso; mas a fracção utilizável já foi estimada entre 32 e 630 10<sup>3</sup>PJ/ano.

(16) — Na prática, crê-se que só 16% deste recurso é utilizável em condições médias; a potência total a instalar poderá, então, atingir 3000GW a 50% de factor de carga; só 10% deste potencial é actualmente explorado.

(17) — Compreende um fluxo calorífico de condução estimado em 288 10<sup>3</sup>PJ/ano sobre a área dos continentes (à média de 0,13cal/cm<sup>2</sup>-dia) mais um fluxo convectivo, localizado, estimado em 5 10<sup>3</sup>PJ/ano; talvez só este último seja praticamente utilizável.

(18) — Recurso total; 1/3 dissipa-se em águas de pouca profundidade; só talvez 2% potencialmente utilizável.

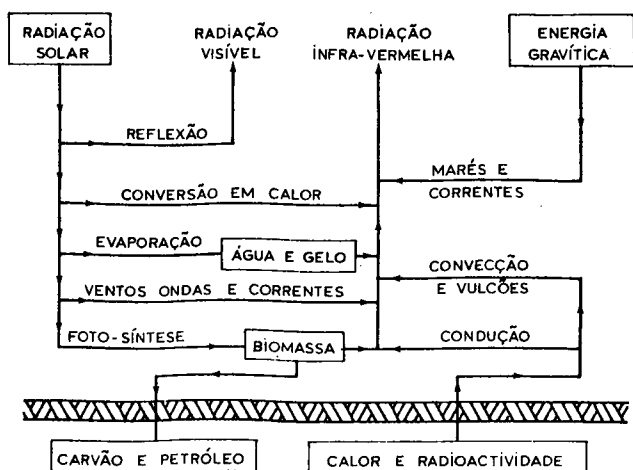


Fig. 1 — Fontes, fluxos e reservatórios de energia do globo terrestre.

## CRESCIMENTO EXPONENCIAL E INFLACÇÃO

A produção mundial de energia revela um crescimento exponencial ao longo de períodos de tempo dilatados. Este facto é ilustrado pela evolução das produções de carvões, petróleo e electricidade registadas nas Fig. 2, 3 e 4. No período de 100 anos que decorreu entre 1860 e 1960, a produção mundial de energia (carvões+petróleo+gás natural+energia hídrica) evoluiu à taxa anual média de 3,25%, tendo excedido 4% no início daquele período para se desacelerar depois. É de crer, porém, que os registos da produção comercial exagerem o crescimento das necessidades de energia até cerca de 1900 pois que, até essa altura, havia-se processado a substituição progressiva da lenha, até então fonte de energia dominante, pelas fontes de energia comerciais. Por outro lado, a evolução da produção comercial subestima as crescentes necessidades de energia após cerca de 1900 pois que, a partir dessa data, foi notável a melhoria de eficiência dos processos de conversão e utilização de energia. Assim, é de crer que, durante este século e fora os períodos de guerra mundial ou recessão económica, as necessidades mundiais de energia terão crescido a mais de 4% ano (ver Cipolla, 1967).

De qualquer modo, é certo que o nível de consumo mundial evoluiu mais rapidamente do que a população. Com efeito, a população mundial cresceu à taxa anual média de 0,7%, de 1850 a 1900, e a cerca de 1%, de 1900 a 1950. Portanto, o consumo «per capita» de energia cresceu a perto de 3%/ano no decurso do último século. Mas não podemos esquecer que o crescimento do consumo foi muito desigual de país para país, de harmonia com a posição de cada um destes dentro do sistema de divisão

internacional do trabalho, daí resultando um nítido desequilíbrio entre os actuais níveis de consumo. Assim, em 1968, os consumos «per capita» eram como se segue (Anónimo, 1971):

Areas	Consumos (tec/habitante)
<i>Economias desenvolvidas de mercado</i> ... .. .	5,436
<i>Economias planificadas</i> ... .. .	1,550
<i>Países em desenvolvimento</i> ... .. .	0,299
<i>Mundo</i> ... .. .	1,727

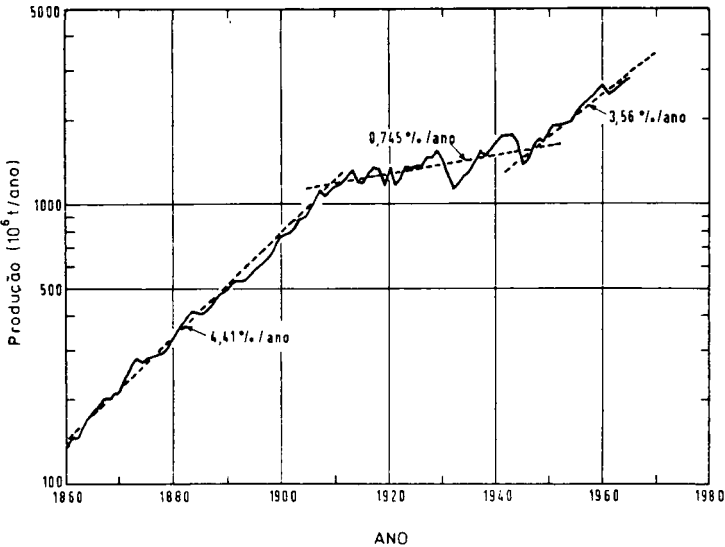


Fig. 2 — Produção mundial de carvão e lenhite no período 1860-1965.

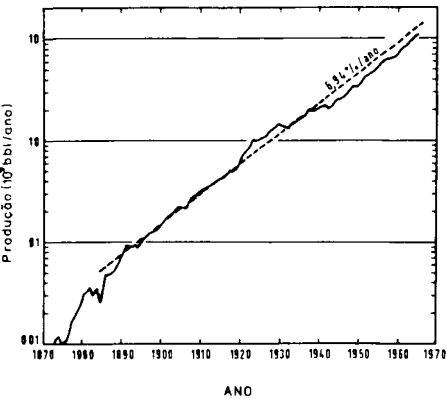


Fig. 3 — Produção mundial de petróleo bruto no período 1870-1965.

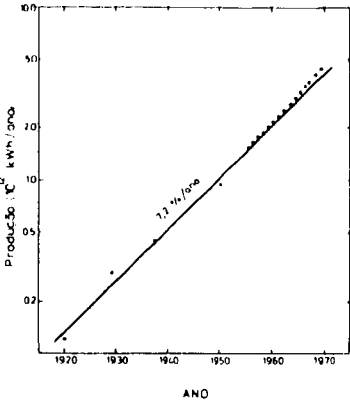


Fig. 4 — Produção mundial de electricidade no período de 1920-1970.

Hubbert (1974) chamou a atenção para a existência de íntima relação entre o crescimento da produção e o processo inflacionário, num país de economia de mercado (E.U.A.). Ele assinalou que, nos E.U.A., o crescimento da produção industrial apresentou uma quebra sensível cerca de 1910, época a partir da qual se verificou o progressivo agravamento do índice de preços ao consumidor. Com efeito, a taxa anual média de crescimento da produção de energia e de matérias-primas básicas apresentou então, quebras a seguir ilustradas:

Produto	Taxa de crescimento (%/ano)	
	1850-1910	1910-1970
Carvão ... ..	6,58	0,00
Energia térmica ... ..	6,91	1,77
Ferro (barra) ... ..	7,69	1,89

ao passo que a taxa de crescimento no índice de preços passou de 0 para perto de 3%/ano. Hubbert assinalou, também, que durante o século XIX, nos E.U.A., tanto a taxa de crescimento da produção industrial como a taxa de juro no mercado financeiro foram vizinhos de 7%/ano, isto é, o volume de bens industriais e o volume monetário cresceram em paralelo. A partir de 1900, porém, a taxa de crescimento da produção baixou para perto de 2%/ano enquanto a taxa de juro permaneceu em perto de 7%/ano, daí resultando um desequilíbrio entre a produção industrial e o crescimento do mercado financeiro traduzido numa taxa de inflação, inicialmente situada em cerca de 5%/ano, que, desde então, vem subsistindo.

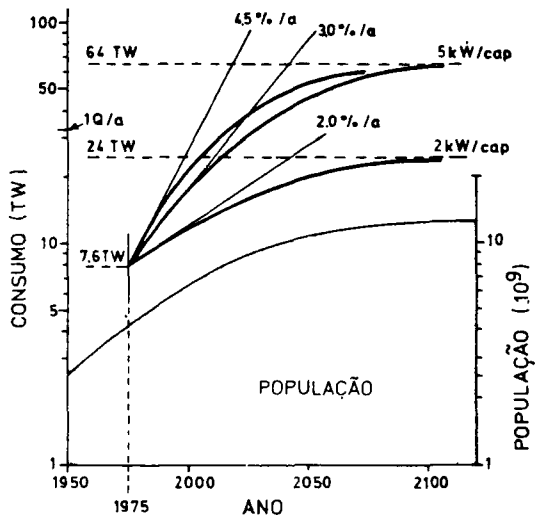


Fig. 5 — Projecção da evolução da população mundial e do consumo mundial de energia, desde a actualidade até ao ano 2100, para diferentes hipóteses de taxa anual de crescimento inicial, bem como de capitação limite.

As condições são actualmente favoráveis ao refreamento da produção à escala mundial e à repetição do processo inflacionário generalizado, enquanto se mantiverem as premissas da economia de mercado. Na verdade, embora o crescimento da população mundial seja agora tão rápido como nunca (a 2%/ano), é de crer que entre em franca estabilização nas próximas décadas, à semelhança do que já hoje se verifica nos países mais industrializados. Por outro lado, o agravamento do custo de produção das matérias-primas essenciais que, à parte factores políticos, se radica no progressivo esgotamento das fontes mais acessíveis ou de mais alto teor conduzirá, mais cedo ou mais tarde, à estabilização das capitações dos consumos de bens essenciais, ainda que a níveis superiores aos actuais (se contemplarmos a elevação do nível de vida nos países em desenvolvimento). Em síntese, é previsível a desaceleração e a estabilização da produção industrial mundial no decorrer do próximo século, como acontecerá, em particular, com o consumo de energia, cujo crescimento está ilustrado na Fig. 5. Esta desaceleração agravaria o processo inflacionário nas economias de mercado, como mostrou Hubbert.

#### ESGOTAMENTO DE RECURSOS

A experiência mostra que o ritmo de detecção de novas reservas de uma qualquer matéria-prima decresce exponencialmente, à parte flutuações no curto termo, com o trabalho de prospecção acumulado (aferido em km de sondagens, por exemplo). Em consequência, as reservas acumuladas seguem uma curva de configuração «logística» que tende para um limite finito  $Q_0$

$$Q = Q_0 (1 - \exp. (-ks))$$

onde  $Q$  designa o volume de reservas detectadas quando seja  $s$  o trabalho de prospecção entretanto acumulado. Esta lei reflecte, obviamente, a limitação dos recursos de uma qualquer matéria-prima mineral. Ela implica que, quando o crescimento da produção seja exponencial, a taxa de crescimento deva, mais cedo ou mais tarde, anular-se e o próprio ritmo de produção deva, eventualmente, anular-se também. Poderá pois falar-se, com propriedade, de um ciclo de produção para cada matéria-prima mineral, como ilustrado na Fig. 6 pelo exemplo da produção de petróleo bruto nos E.U.A.. Hubbert (1974) chamou a atenção tanto para a evolução logística da curva de desenvolvimento de reservas como para o refreamento do crescimento da produção do petróleo bruto nos E.U.A., país onde a prospecção e a exploração desta matéria-prima decorrem intensamente desde longa data e onde, por conseguinte, é de esperar serem mais visíveis e imediatos os efeitos da exaustão dos recursos.

A evolução a longo termo do custo de produção de bens industriais revela uma nítida tendência decrescente. A análise dos resultados revela uma lei geral segundo a qual o custo de produção (a preços constantes) é

reduzido de uma percentagem constante cada vez que duplica a produção acumulada. Esta lei pode exprimir-se matematicamente na forma:

$$P = P_0 \left( \frac{Q_0}{Q} \right)^\beta$$

onde P designa o custo de produção e Q o volume da produção entretanto acumulada; o coeficiente  $\beta$  depende, naturalmente, da indústria e do produto considerados. As «curvas de experiência» de numerosas indústrias, tal como a referente à produção de petróleo bruto nos E.U.A. (ver Fig. 7), revelam justamente este tipo de evolução. Porém, quando se trate de uma matéria-prima mineral, susceptível de esgotamento, este quadro complicar-se-á, mais cedo ou mais tarde. Haverá então que tomar em consideração o agravamento do custo de produção com o acréscimo do trabalho de extracção requerido pelos recursos mais inacessíveis e só marginalmente económicos. Embora aqui não nos possamos basear em experiência passada que chegue, podemos admitir (segundo Fisher, 1974), que o custo de produção virá afectado, para além do decréscimo percentual relativo à curva de experiência da produção, de um acréscimo progressivo variando com o inverso da fracção remanescente do recurso inicial. Em termos matemáticos:

$$P = P_0 \frac{Q_0}{Q_0 - Q}$$

É este agravamento do custo real de produção de matérias-primas básicas, radicado no esgotamento progressivo dos recursos mais acessíveis, que constitui o já referido factor concorrente para o processo inflacionário da economia de mercado.

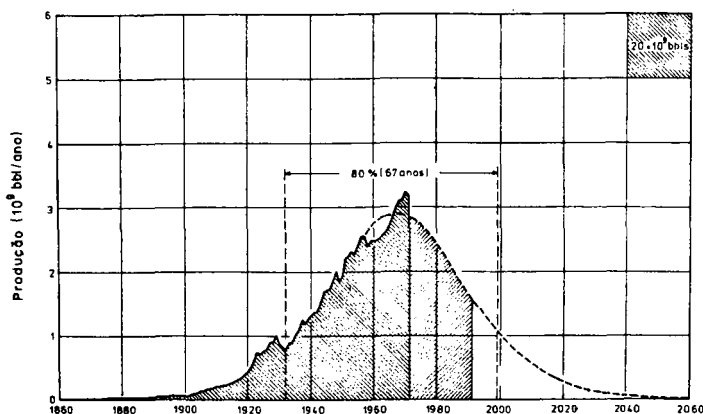


Fig. 6 — Ciclo de produção de petróleo bruto nos E.U.A. desde o início da sua exploração, cerca de 1860, até ao seu esgotamento, cerca de 2060, na hipótese de atingirem  $180 \cdot 10^9$  bbl as reservas finalmente recuperáveis. Distinguir as áreas correspondentes à produção já acumulada, às reservas «in loco» (que assegurarão a produção no período 1973 a 1993) e as reservas ainda por detectar (estimadas em menos de  $30 \cdot 10^9$  bbl). Fonte: Hubbert (1974).



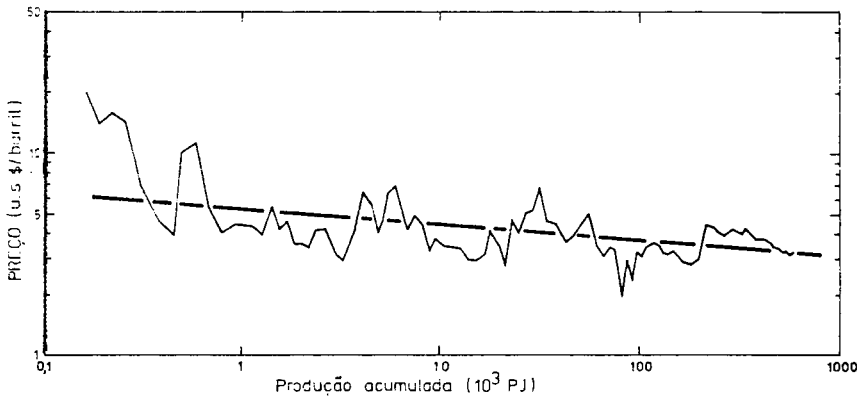


Fig. 7 — Curva de experiência de produção do petróleo bruto à boca do poço, nos E.U.A., no período de 1869 a 1971 (a preços constantes, na base de 1970-US\$). Fonte: Fisher (1974).

## AVANÇO E SUBSTITUIÇÃO TECNOLÓGICA

Na perspectiva do esgotamento de recursos naturais economicamente mais interessantes e do agravamento progressivo dos custos de produção, afigura-se necessário que a evolução tecnológica permita realizar com eficiência cada vez maior os processos de conversão e utilização de energia; todavia, este progresso tem um alcance limitado. Se tomarmos como exemplo as máquinas térmicas que realizam a conversão de calor em energia motriz, verificamos que a sua eficiência evoluiu espetacularmente desde 1700, quando era apenas 1%, até aos nossos dias, quando atinge já mais de 40%. A evolução da eficiência das máquinas térmicas encontra-se registada na Fig. 8 sendo de assinalar que a lei de variação é da forma

$$\frac{\eta}{1-\eta} = k \exp at.$$

A regularidade com que esta lei é obedecida ao longo de perto de 300 anos permite ousar prever a evolução da eficiência técnica das máquinas térmicas e vaticinar alguma grande inovação neste domínio. Depois da turbina a vapor de alta temperatura e da turbina a gás, que possibilitaram a ultrapassagem da barreira dos 40%, é previsível que a conversão magnetohidrodinâmica possa concretizar um novo salto em frente. Mas, se pensarmos que as temperaturas de funcionamento estão limitadas pela resistência dos materiais e que as eficiências teóricas não podem ser plenamente atingidas, temos que reconhecer que as eficiências hoje atingidas já não poderão ser dramaticamente ultrapassadas e que o avanço tecnológico previsível neste domínio não irá transformar qualitativamente a situação de penúria de matérias-primas energéticas que se avizinha.

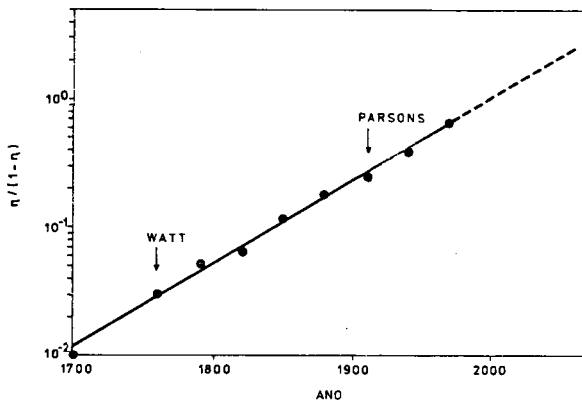


Fig. 8 — Evolução da eficiência de máquinas térmicas de conversão de energia desde 1700 até à actualidade.

Face à limitação dos recursos naturais e aos progressivo agravamento dos custos de produção das matérias-primas e, ainda, dado o alcance limitado da evolução tecnológica dos processos de conversão e utilização de energia, é necessária a substituição das fontes de energia convencionais, à semelhança do que aconteceu no passado por força da competição entre fontes alternativas e entre as técnicas do respectivo aproveitamento.

A Fig. 9 regista a evolução das fracções do mercado mundial de matérias-primas energéticas detidas pelas diversas fontes de energia, ao longo de mais de 150 anos, desde 1820 até 1975. É de assinalar a notável regularidade da evolução a longo termo das fracções ocupadas pelas diversas fontes, à semelhança do que também se verifica com os registos relativos a países e a áreas económicas suficientemente amplos. É de notar que a progressão e a sequente regressão da fracção detida por uma dada fonte é perfeitamente previsível em face do andamento das fracções detidas pelas restantes fontes, já que  $\sum F = 1$ , como está ilustrado na Fig. 10 relativa à recente involução do consumo de petróleo nos EUA (Marchetti, 1977).

A regularidade da evolução das fracções de mercado ocupadas por diversos produtos ou tecnologias alternativas é um fenómeno muito geral para que foi chamada a atenção e foi estudado por Fisher & Pry (1970). Estes autores propuseram um modelo de mudança tecnológica por substituição competitiva fundamentado nas seguintes premissas:

i — Muitas evoluções tecnológicas podem ser consideradas como substituições competitivas de um modo de satisfação de uma necessidade por um outro modo.

ii — Se um dado modo de satisfação de uma necessidade progredir para além de alguns %, então ele progredirá até completa substituição do modo anterior.

iii — A taxa de variação relativa da fracção que uma dada tecnologia representa entre os vários modos de satisfação de certa necessidade é proporcional à fracção que resta por substituir.

Esta última premissa é análoga à lei de Pearl (1925) para a evolução de populações biológicas e pode exprimir-se matematicamente na forma:

$$\frac{1}{F} \frac{dF}{dt} = 2\alpha (1-F)$$

donde

$$\frac{F}{1-F} = \exp. 2\alpha (t-t_0)$$

sendo:  $F(t-t_0) = 50\%$ ;  $\alpha = 2,2/\Delta t$ ;  $\Delta t = (F=90\%) - t(F=10\%)$ .

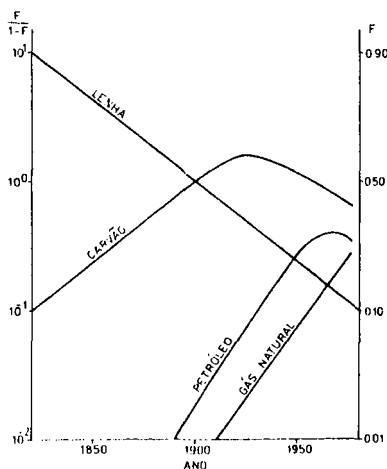


Fig. 9 — Evolução do mercado mundial das matérias-primas energéticas desde 1820 a 1975.

A aplicação deste modelo a algumas substituições tecnológicas num mesmo país (EUA) e a uma mesma substituição tecnológica em alguns países, encontra-se ilustrada nas Figs. 11 e 12. É notável o rigor com que o modelo descreve estas realidades. No Quadro 2 registam-se as datas e os períodos de substituição relativos a diversos exemplos de mudança tecnológica nos EUA.

É claro que este modelo, cuja fundamentação se radica na sua verificação experimental em face dos registos de evolução histórica dos mercados de produtos e de técnicas, tem em si implícito um complexo tecido de fenómenos sócios-económicos cuja análise não está feita, tanto quanto sabemos, e que ultrapassa o objectivo e o âmbito do presente trabalho.

Registe-se que os períodos de substituição são geralmente dilatados (mais de 40 anos) embora possam ser substancialmente mais curtos. É aparente uma ligeira aceleração dos mecanismos de substituição tecnológica ao longo do tempo, o que é certamente consequência da revolução científica e técnica, caracterizada pela integração progressiva da ciência no próprio processo produtivo e, em particular, pela aceleração da aplicação ao processo produtivo das descobertas científicas.

## Quadro 2

### ALGUNS EXEMPLOS DE SUBSTITUIÇÃO TECNOLÓGICA NOS E.U.A.

Tempos de substituição  $\Delta t$  e pontos de substituição  $t_0$

	$\Delta t$ (ano)	$t_0$ (ano)
Borracha: sintética/ natural	58	1946
Fibra: sintética/ natural	58	1969
Plástico/ cabedal	57	1957
Margarina/ manteiga	56	1957
Aço especial: arco eléctrico/forno aberto	47	1947
Tinta de água/ tinta de óleo	43	1967
Aço: forno aberto/ Bessemer	42	1907
Terebentina: sulfato/ incisão	42	1959
Pigmentos: $TiO_2$ / $PbO-ZnO$	26	1949
Pavimentos: plástico/ madeira	25	1966
Casco de barcos de recreio: plástico/ outro	20	1966
Insecticidas: orgânico/ inorgânico	19	1946
Fibra de borracha: sintética/ natural	17,5	1948
Carros: plástico/ metal	16	1981
Aço: BOF/ forno aberto	10,5	1968
Sabão: detergente/ natural	8,75	1951

Fonte: Fisher & Pry (1970)

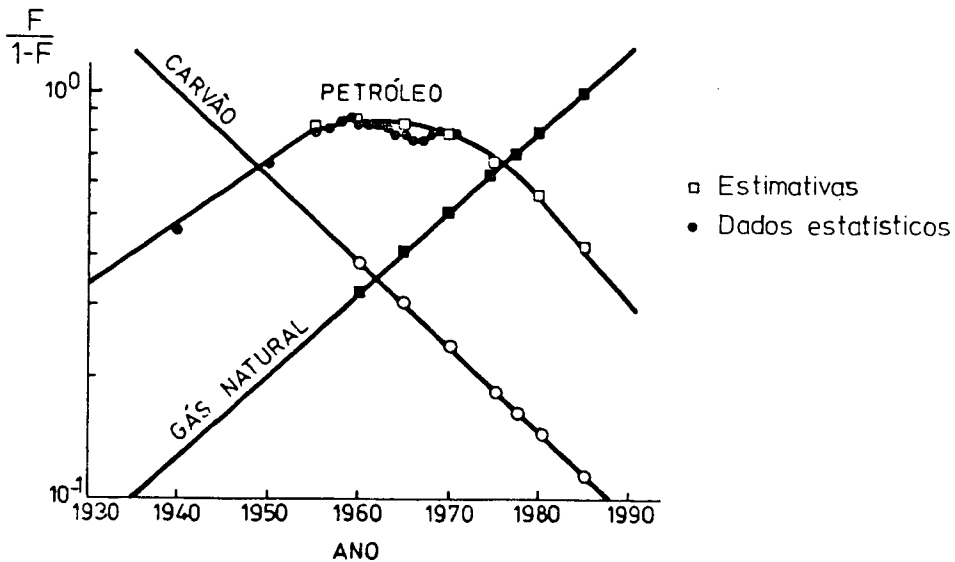


Fig. 10 — Evolução do mercado das matérias-primas energéticas, nos E.U.A, mostrando a regressão do petróleo. Com base no comportamento anterior a 1935, é possível prever a fracção do mercado detida pelo petróleo, em 1970, com uma precisão melhor do que 1%. Fonte: Marchetti (1977).

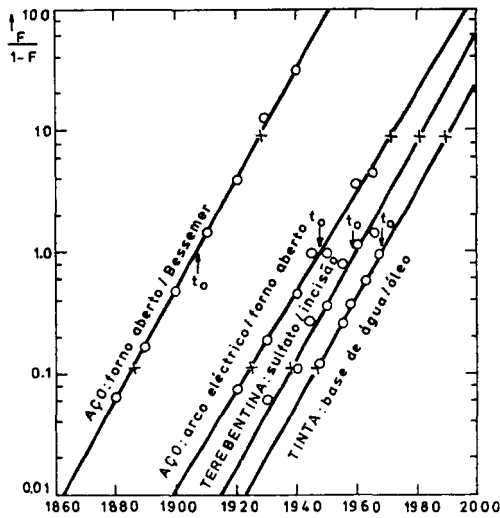


Fig. 11

Fig. 11 — Exemplos da evolução de algumas técnicas ou produtos em substituição competitiva, nos E.U.A.. Fonte: Fisher & Pry (1970).

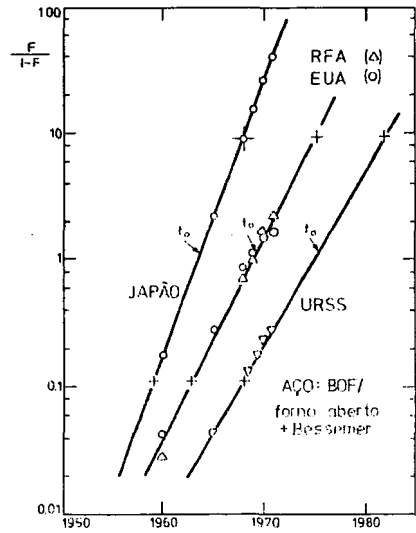


Fig. 12

Fig. 12 — Exemplos de uma mesma substituição competitiva em diferentes espaços económicos.

O modelo Fisher & Pry aplica-se igualmente bem em países de economia planificada como em países de economia de mercado. Fonte: Marchetti (1977).

A aplicação do modelo de Fisher & Pry à substituição de fontes de energia permite-nos afirmar que, em plena regressão da fracção do mercado detida pelo carvão, já iniciada a regressão do petróleo e na eminência da regressão do gás natural, exige-se a curto prazo uma nova fonte alternativa da energia. A apreciação do quadro das fontes de energia ao nosso dispor (recordar o Quadro 1) permite apontar como alternativas o carvão (a ser eventualmente aproveitado segundo tecnologias não convencionais), as rochas betuminosas, a energia nuclear (a ser aproveitada segundo as tecnologias dos conversores avançados e dos reprodutores), a fusão termo-nuclear e a energia solar (a ser aproveitada nas suas formas não convencionais). Todavia, o modelo de Fisher & Pry obriga-nos a reconhecer, também, que os períodos de substituição das fontes de energia são muito dilatados; os períodos necessários à evolução de 1 a 50% (ou de 10 a 90%) da fracção do mercado detida por uma dada fonte são, segundo as evoluções até agora registadas, os seguintes:

<i>Matéria-prima</i>	<i>Período de substituição (ano)</i>
Lenha	150
Carvão	150
Petróleo	80
Gás natural	90

Assim, as projecções que se façam dos consumos das diversas fontes de energia não poderão deixar de reflectir a muito lenta evolução das diversas fontes e, em particular, a muito lenta progressão das novas fontes que se queiram considerar. Por outro lado, pensamos poder afirmar, na actual fase de regressão geral das fontes convencionais, que não será viável, a curto prazo, qualquer expansão sensível do actual nível de consumo mundial e que será necessário recorrer, simultaneamente, a mais do que uma só fonte não convencional para que seja assegurado o actual nível de consumo ou a sua eventual expansão.

Anónimo. 1971. *World Energy Requirement and Resources in the Year 2000*. IV U. N. Int. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva 6-16 September 1971, Doc. A/Conf. 49/p/420. Vienna: IAEA.

Cipolla, C. M. 1967. *The Economic History of World Population*, a Pelican Original. Harmondsworth (Middlesex): Penguin Books.

Fisher, J.C. 1974. *Energy Crises in Perspective*. New York: John Wiley & Sons.

Fisher, J.C. & R.H. Pry. 1970. *A Simple Substitution Model of Technological Change*. Technical Information Series. Report 70-C-215, General Electric Company, Research and Development Center, Schenectady, New York.

Hubbert, M.K. 1974. *Essay on Exponential Growth, the Interest Rate and Inflation*, Statement to the Subcommittee on the Environment of the Committee on Interior and Insular Affairs, House of Representatives, United States XCIII Congress.

Marchetti, C. 1977. *Technological Forecasting and Social Change* 10, 345-356.

Press, F. & Siever, R. 1974. *Earth*. San Francisco: W.H. Freeman and Company. Part. I.

World Energy Conference, 1974. *World Energy Conference Survey of Energy Resources*. New York: US National Committee of the WEC.

## NOTAS PARA OS AUTORES

*A Gazeta de Física convida os seus leitores a contribuir com originais para publicação. Embora o conteúdo dos trabalhos publicados seja da responsabilidade dos autores, os originais apresentados para publicação são previamente sujeitos a uma leitura crítica por um especialista na matéria versada. Os originais não publicados serão devolvidos e acompanhados da respectiva justificação.*

*Recomenda-se aos autores que, na medida do possível, sigam as normas seguintes:*

- 1 — Indicar, sob o título do trabalho, o nome dos autores na forma em que este desejam subscrever a sua colaboração e, facultativamente, o nome da instituição a que eventualmente estejam ligados. Por outro lado, deverão sempre indicar o endereço para o qual serão enviadas as provas tipográficas.*
- 2 — Os originais deverão ser dactilografados a dois espaços, com uma margem esquerda de cerca de 3 cm.*
- 3 — O texto e as figuras deverão ser apresentadas sob forma definitiva para publicação. As provas tipográficas destinam-se a permitir aos autores a correcção de «gralhas» e, se estritamente indispensável, a introdução de ligeiras alterações ou adições. A alteração da pontuação é equivalente à alteração do texto. Qualquer alteração constitui um encargo adicional para a SPF.*
- 4 — As figuras deverão ser executadas, separadamente, a tinta da china e com o rigor necessário à sua reprodução definitiva. Todos os seus detalhes, e os símbolos em especial, deverão ser de dimensões compatíveis com a redução a que a figura será sujeita para publicação. Quando se trate de fotografias estas deverão ser a preto e branco sobre papel brilhante.*
- 5 — Deverá ser apresentada, em separado, uma lista das figuras com as respectivas legendas.*

*A Gazeta de Física oferecerá aos autores 50 separatas de cada artigo publicado. Separatas adicionais poderão ser solicitadas a quando da revisão das provas, sendo o respectivo encargo suportado pelos autores.*

