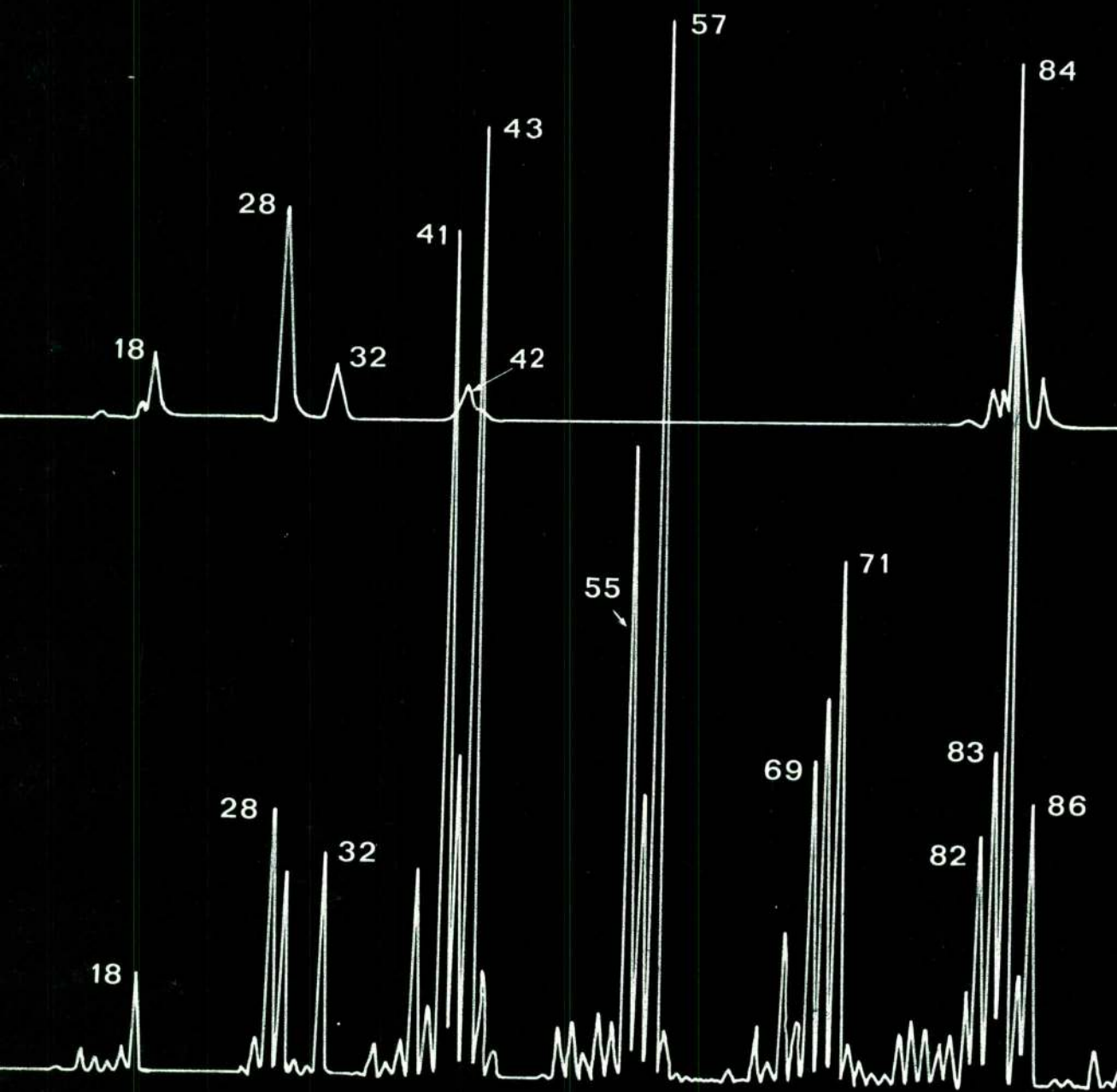


técnica



Já pensou...

... que o seu anúncio
é muito eficaz se for
publicado na revista que
os seus clientes lêem?
Os milhares de exemplares
de cada número da nossa revista
são lidos por engenheiros
e técnicos, por pessoas ligadas
à indústria, à investigação, ao
ensino, pelos seus clientes,
em suma. Consulte-nos

técnica

REVISTA DE
ENGENHARIA

PÓRTICOS DE GRANDE VÃO

Pórticos até 22,00 m de vão e pilares até 9,00 m de altura, afastados de 12,00 m no interior e de 6,00 m no perímetro exterior. As fundações são mínimas devido ao baixo peso da estrutura ($\approx 60 \text{ kg/m}^2$). São possíveis adaptações para pontes rolantes.



**materiais
novobra**

A mais vasta gama em pré-fabricados de betão

Pré-fabricação total ou parcial · Pavimentos · Coberturas · Asnas · Perfis especiais Post-Esforço «Losinger» · Pontões · Vigas de grande vão · Pórticos «Crendon» · Pórticos «Guiraudie & Auffeve» · Pavimento «Trief» · Protecção de segurança «Trief» · Mosaicos · Garagens · Tubos · Blocos de Leca · Espaçadores de Betão · Estacas para Vinhas e Pomares · Travessas para Caminhos de Ferro

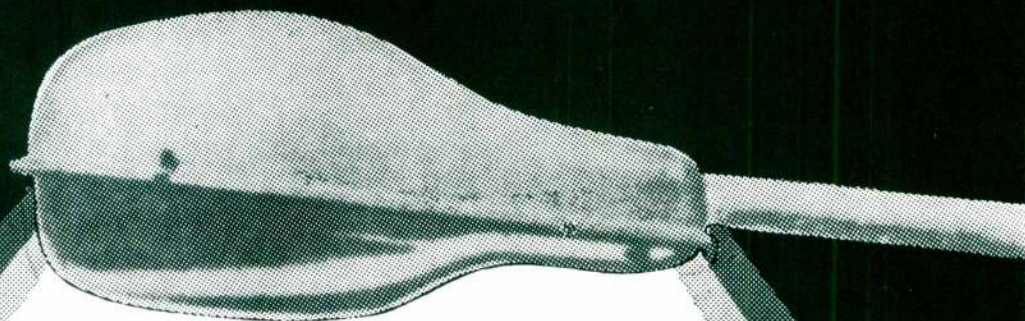
Fábricas em: Lisboa, Leiria, Lagos, Guarda e Moita.

Sede: Av. Est. Unidos da América, 100-5.º Dt.º — Lisboa-5

Telefones — Serviços Administrativos: 77 48 32 - 77 29 53 * Telex: 18373 NOVOBA P
Serviços Técnicos: 89 41 16/7/8 - 89 93 31/2

CONSTRUA COM CONFIANÇA - CONSULTE-NOS

Iluminação pública e industrial.



SCHRÉDER, S.A.R.L.

Carnaxide-Tel.2180037

Professor Carlos Ferrer de Moncada

No dia 21 de Março faleceu o Professor Carlos Ferrer de Moncada, Professor Catedrático jubilado do Instituto Superior Técnico.

Com esta notícia procuramos nós, os professores de Electrotecnia, antigos alunos e colegas que fomos do Professor Moncada, prestar homenagem a um homem e a um professor que durante três décadas ensinou sempre com grande e igual entusiasmo, que esse entusiasmo diz quase tudo.

Associa-se a «Técnica» a esta homenagem.

Por amizade, por admiração e na legitimidade natural das ocorrências, coube-me escrever estas linhas que traduzem um sentimento comum, mas pretendendo ser incisivas serão também poucas, o suficiente para dar conta dos factos e sua essência.

Nasceu o Professor Moncada em 17 de Abril de 1900, licenciado em Ciências Matemáticas pela Universidade de Coimbra, formou-se em Engenharia Electrotécnica na Escola Federal Superior Técnica de Zurich.

Voltou a Portugal onde procurou leccionar no Instituto Superior Técnico. Não encontrando as exactas condições em que o pretendia fazer, voltou à Suíça tendo-se doutorado.

De 1933 a 1937 foi professor contratado da Universidade de Coimbra onde regeu Electromagnetismo.

Em 15 de Julho de 1937 tomou posse do lugar de professor catedrático do Instituto Superior Técnico para o que foi nomeado após concurso de provas públicas.

Desde então, e até 1970, regeu sem interrupção as cadeiras de Electrotecnia Teórica e Medidas Eléctricas.

A cadeira de Electrotecnia Teórica foi criada pelo Professor Moncada.

A cadeira de Medidas Eléctricas, já existente, foi totalmente renovada.

O Laboratório de Medidas Eléctricas, mereceu-lhe especial cuidado e em poucos anos, com muito saber e determinação, pôs a funcionar um laboratório actualizado. Dimensionou experiências, estabeleceu um plano pedagógico de demonstrações, conferiu ao laboratório, uma dimensão e potencialidades que iam além do estritamente didáctico.

Nesse laboratório, alguns de nós, que fomos seus assistentes, preparámos as nossas teses e dissertações para concurso ao professorado.

Foi em todos os terrenos um defensor intransigente de princípios, de coerência de atitudes.

Essas qualidades de carácter, servidas por uma inteligência profunda e lúcida aplicou-as o Professor Moncada ao ensino, ao Instituto Superior Técnico, à escola que serviu em exclusividade absoluta.

As suas lições eram um modelo de rigor, da simplicidade que se deve emprestar ao difícil quando apresentado aos novos, que são os alunos.

Eram, com frequência, ilustradas com experiências que na aula teórica o Professor Moncada conduzia de modo seguro, com elegância e maestria, consumando e atingindo quanto pretendia: demonstrar pela experiência a teoria exposta.

Dessas aulas se colhia ensinamento sobre o fenómeno electromagnético e nessas aulas se construía a importância do laboratório, dos laboratórios.

Nesta atitude, preparando sempre as suas aulas, ensinou no Instituto Superior Técnico durante trinta e três anos.

Quem o tenha conhecido, quem o tenha encontrado formal em questão de princípios, também se recordará do entusiasmo permanente que punha no ensino.

E nós que fomos alunos, e outros que foram alunos, sempre nos lembraremos de um homem tranquilo, sorridente, inspirando confiança e, acima de tudo, criador de um sentimento de que é possível o rigor científico, que vale a pena o rigor científico, que é acessível ao ente humano, quando ensinado.

Preocupava-se. Falava muito o Professor Moncada do ente humano.

Longos, vivos, profundos eram os seus exames orais.

Mas eram coisas que se passavam sem medo, eram actos em que se aprendia.

Disso, de quanto nos tem sido possível testemunho, nenhum aluno se esqueceu.

Do seu exemplo, das possibilidades que facultou, alguns aproveitaram e a ele ficaram devendo o despertar das suas vocações.

Assim a Escola lhe ficou devendo, também, os professores que formou e no Técnico deixou.

Com estas poucas linhas procurámos o essencial e desse essencial salientamos o entusiasmo, o permanente entusiasmo do Professor Moncada, perante o fenómeno electromagnético, perante os alunos que o escutavam.

Era um professor. Gostava de ensinar. Encantava-se com as coisas simples, com a Natureza, com a Ciência.

Manuel José de Abreu Faro

técnica

NÚMERO 458

MARÇO 1980

ANO LV

VOLUME XLI

PUBLICAÇÃO MENSAL

DIRECTOR

José Luís S. V. Azevedo

COLABORADORES

João José Águas

Sérgio Duarte Santos (F. C. Tecnologia — Coimbra)

FUNCIONÁRIOS

Jorge Graça

Fernanda Sanches

DIRECÇÃO, REDACÇÃO E ADMINISTRAÇÃO

Av. Rovisco Pais, I.S.T. — 1000 Lisboa
Telefone 88 93 23

PROPRIETÁRIO

A. E. I. S. T.

ASSINATURAS: 10 n.º

Continente e Ilhas 450\$00

Países de língua

Portuguesa e

Espanha ... 550\$00

Estrangeiro ... 700\$00 (US\$15)

Número avulso ... 80\$00

Encontram-se à venda na Secção Técnica, A. E. I. S. T., praticamente todos os números publicados até à data. Os preços são:

1 a 430 (inclusive) — 10\$00 ex.

431 a 437 (*) — 35\$00 ex.

438 a 450 (*) — 60\$00 ex.

451 e seguintes — 80\$00 ex.

* Excepto números duplos ou especiais.

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos autores.

COMPOSIÇÃO E IMPRESSÃO:

OF. GRÁFICAS DE RÁDIO RENASCENÇA
Rua Duques Bragança, 6 — 1200 LISBOA

SUMÁRIO

301 — Energy and economics — J. J. DELGADO DOMINGOS.

Energia e economia.

305 — Planeamento de actividades — Um modelo de programação binária — RUI M. CARVALHO OLIVEIRA.

Project scheduling — A Zero-One Programming Approach.

311 — Ensaios de fluência de um aço com 2,5 % Cr-1 % Mo (Molas cónicas helicoidais) — H. CARVALHINHOS.

Creep tests of a 2.25 % Cr-1 % Mo steel (conical helicoidal springs).

317 — A incidência da física no aproveitamento da energia solar — MARIA AMÉLIA CUTILEIRO INDIAS.

Incidence of physics on the applications of solar energy.

321 — Espectrómetro de massa tipo quadrupolo com feixe molecular modulado — N. M. O. SOARES FRANCO e A. M. C. MOUTINHO.

Quadrupole mass filter with modulated molecular beam.

329 — Propagation and radiation characteristics of a loose braid coaxial cable over a perfectly conductive ground plane — A. S. CARVALHO FERNANDES.

Propagação e radiação ao longo dum cabo coaxial de malha larga sobre um plano condutor perfeito.

337 — A utilização da energia das ondas marítimas — ANTÓNIO F. DE FALCÃO.

The use of water waves energy.

304 — NOTICIÁRIO.

CAPA — Ver fig. 7 do artigo «Espectrómetro de massa tipo quadrupolo com feixe molecular modulado» de N. M. O. Soares Franco e A. M. C. Moutinho.

CONSELHO CIENTÍFICO

Alves, Luís de Almeida
Barros, Luís A. Aires
Calado, Jorge C. G.
Conte, J. C.
Costa, Fernando Vasco
Dias, A. Romão
Domingos, J. J. Delgado
Faro, Manuel José de Abreu
Ferreira, J. Campos
Figanier, J. P.
Garrido, M. S.
Horta, Ricardo Bayão
Loureiro, A. Pádua

Manzanares, Alberto Abecasis
Moura, Domingos
Moura, J. M. Fonseca de
Moutinho, A. M. C.
Oliveira, E. R. de Arantes e
Portela, A. Gouvêa
Quintela, António de Carvalho
Rogado, José Quintino
Santos, A. F. Ferreira dos
Serafim, J. Laginha
Simões, F. Rebelo
Silva, J. Borges da
Tavares, L. Valadares
Trindade, Rocha

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

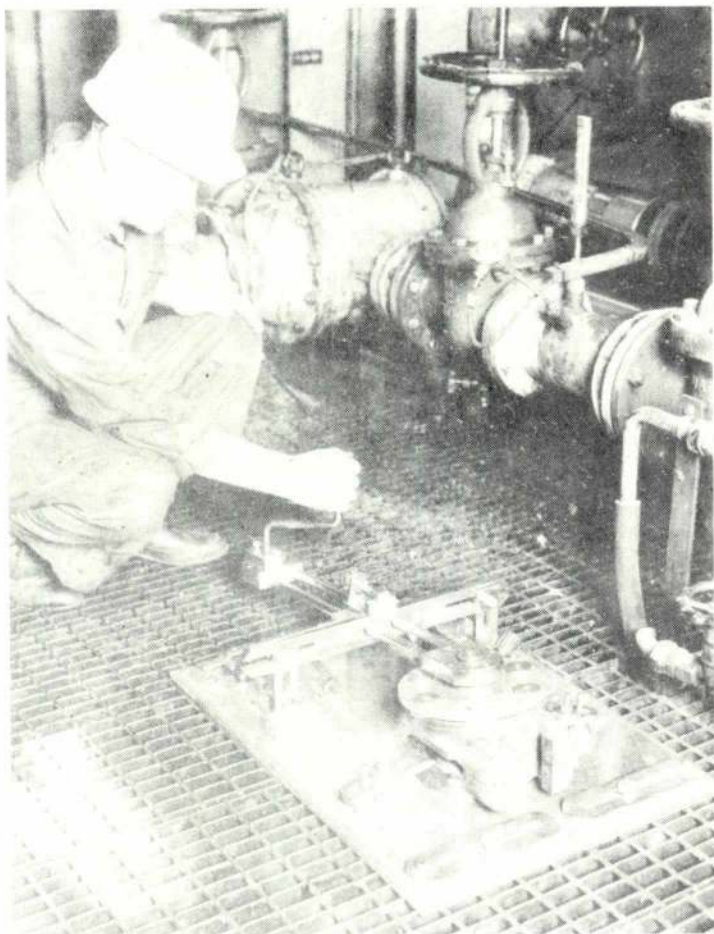
	Pág.
Aguiar & Melo, Lda.	XII
Construções Schréder	2.ª da capa
Construções Técnicas	IX
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	XI
FAG Portuguesa, Lda.	III, IV, V e VI
FÉRIA-SERIC, Lda.	II
Hidrotécnica Portuguesa, Lda.	II
INTERKAMA 80	VIII
MAGUE	VII
Metropolitano de Lisboa	X
Novobra, Lda.	2.ª da capa
PETROGAL — Petróleos de Portugal, E. P.	4.ª da capa
Soc. Portuguesa Cavan	II
Sopecate	II
S. K. F., Lda.	I
TUDOR	XIII

Colabora neste número a Agência de Publicidade: WORLEN

UNISLIP®

RECTIFICADORAS PARA VÁLVULAS

**UMA REVOLUÇÃO
NA MANUTENÇÃO
DE VÁLVULAS DE
CUNHA, DE GLOBO
E PARALELAS**



**AS ÚNICAS RECTIFICADORAS REALMENTE PORTÁTEIS
QUE PERMITEM RECTIFICAR:**

- A SEDE DA VÁLVULA SEM A RETIRAR DA INSTALAÇÃO;
- A CUNHA DA VÁLVULA JUNTO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DESTA;
- A ELEVADAS VELOCIDADES COM O AUXÍLIO DE MOTORES DE AR COMPRIMIDO.

— •• < < •• • • • • • • > > •• —

SE ESTÁ INTERESSADO PEÇA UMA DEMONSTRAÇÃO À:

•• • • • • • •

SOCIEDADE SKF LIMITADA

1200 LISBOA - PRAÇA DA ALEGRIA, 66-A
TELEF.: 36 23 01 - TELEGR.: ESKAEF - TELEX: 12156

4100 PORTO - RUA DELFIM FERREIRA, 604
TELEF.: 69 20 54 - TELEGR.: ESKAEF



Postes de cimento armado **Cavan**

Qualidade que desafia o tempo

Cavan

Av. Visconde Valmor, 76-1. - Tel. 766014 (7 linhas) Lisboa-1

EXPORTAMOS SERVIÇOS E TÉCNICA PARA

- ANGOLA
- ARGÉLIA
- BRASIL
- LÍBIA
- MARROCOS
- MOÇAMBIQUE



HP

HIDROTÉCNICA PORTUGUESA

EDIFÍCIO HP - RUA DA GUINE - SACAVEM APARTADO 5058 - 1702 LISBOA COEX

Ventilação de Edifícios

Ventilação Térmica

FÉRIA

(tipo shunt)

Com aprovação do
Laboratório Nacional
de Engenharia Civil
Câmara Municipal de Lisboa
Batalhão de Sapadores
Bombeiros
Direcção-Geral de Saúde

Exija o documento
de viabilidade de
utilização do L.N.E.C.

Consulte o Art.º 87 § 2
e Art.º 110 §§ 2 e 3
do R.G.E.U.



Viver
é Respirar!

FÉRIA SERIC
Rua S. Sebastião da
Pedreira, 108, 1.º
Tels. 54 93 81 - 57 69 77
Consulte o nosso
Gabinete Técnico



ESPECIALISTA DESDE 1947

sopecate

ESTUDOS
GEOTÉCNICOS

FUNDAÇÕES
ESPECIAIS

RUA DO ARSENAL, 146-2º
TELFs. 320208-360437-364010
LISBOA

The background of the advertisement is a collage of industrial scenes. In the upper left, a crane is visible against a blue sky. Below it, a yellow truck is parked. In the center, several large hydraulic seals (O-rings) are stacked and arranged in a circular pattern. To the right, a large industrial machine with a green motor is shown, with a bright orange flame or smoke rising from it. The overall color palette is dominated by yellows, oranges, and blues.

SIMRIT

VEDAÇÕES HIDRÁULICAS

Uma corrente é tão forte quanto o é o seu elemento mais fraco. Uma instalação hidráulica será tão boa quanto o for a sua vedação. Por essa razão a maioria dos fabricantes dão primordial atenção à qualidade das vedações.

Decidem-se então pelos produtos da
CARL FREUDENBERG — SIMRIT.

Nós possuímos um stock extremamente variado para todos os casos possíveis em hidráulica, e dispomos dum grande potencial de desenvolvimento para casos especiais.

Aproveite a nossa experiência no sector de vedação.

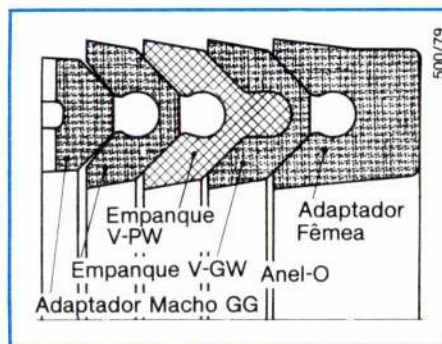
Contacte-nos.

Empanques V, tipo chevron

São especialmente indicados para vedações de veios em condições de trabalho rude e de desgaste por choque.

São próprios para prensas hidráulicas, equipamento de movimento de terras, construção naval, pilão de minas, etc.

Em execução especial, como vedação de êmbolos usam-se três conjuntos de empanques componentes.



SIMKO , embanques de êmbolos

Os empanques de êmbolos SIMKO suportam pressões em ambas as faces. O reforço de tela na face dinâmica

actua diminuindo o desgaste. Os anéis guia de apoio anti-extrusão, moldados em poliamida, asseguram o guiamento do êmbolo.

Os empanques de êmbolos SIMKO podem ser bem fechados. São aplicados principalmente em cilindros standard móveis, máquinas de fundição injectada, prensas e hidráulica veicular. Em execução especial podem ser usados em hidráulica veicular e hidráulica de minas.



Empanques tipo U, serie 300

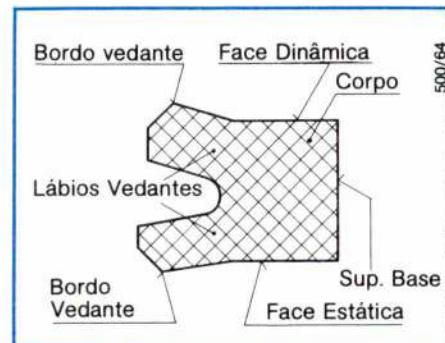
Os empanques U, série 300, são elementos de vedação estreitos, de perfil assimétrico e bordos de vedação chanfrados.

O perfil assimétrico reduz o perigo de ferimento dos lábios vedantes e influi

favoravelmente no comportamento ao atrito.

Devido ao desenvolvimento do tecido de construção especial estes empanques possuem uma elevada resistência ao desgaste e estão menos sujeitos a hidrólise do que qualidades normais de poliuretano.

São aplicados principalmente em cilindros-standard, máquinas de fundição injectada, assim como em hidráulica veicular leve e média.



Empanques tipo U, serie 400

Os empanques U da série 400 têm um perfil assimétrico forte e bordos vedantes chanfrados. O reforço de tela na face dinâmica actua reduzindo o atrito com total elasticidade da borracha.

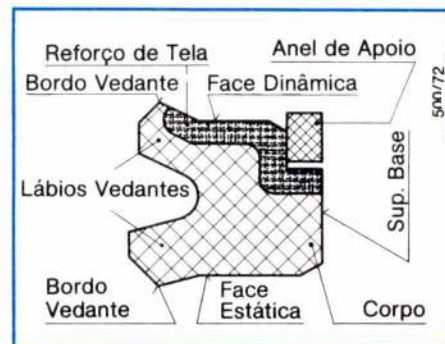
O anel de apoio anti-extrusão na face dinâmica impede o deslocamento do empanque para uma fenda demasiado

grande.

O perfil assimétrico reduz o perigo de ferimento dos lábios vedantes e influi favoravelmente no comportamento ao atrito.

São aplicados principalmente em prensas, bombas, hidráulica veicular pesada, que trabalham com emulsão água-óleo.

Em execução especial os retentores deste tipo são utilizados em vedações compactas na hidráulica de minas.



Para mais informações consulte-se o nosso catálogo No 500.



CARL FREUDENBERG

FAG PORTUGUESA, L.ª

Rua Delfim Ferreira · PORTO

Telefone: 6 41 41 ·

Telex: 22 300 FAGP

CONSULTA

NOME E ENDEREÇO DO CLIENTE _____

RESPONSÁVEL/SERVIÇO _____

DATA _____

INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS PARA O ESTUDO DE UM PROBLEMA DE ESTANQUEIDADE

TIPO DE MÁQUINA E LOCAL DE MONTAGEM _____

VEIO

Posição do veio horizontal / vertical

Diâmetro no ponto de estanqueidade _____ mm.

Velocidade de rotação de _____ a _____ r. p. m.

Velocidade de rotação normal _____ r. p. m.

Sentido de rotação (visto do exterior do carter) sentido pont. do relógio, duração _____ %
sentido contrário, duração _____ %

Deslocamento axial do veio curso _____ mm; frequência _____

Veio maciço / veio oco (diâmetro interior _____ mm.)

Casquilho de atrito (espessura _____ mm.)

Material do veio ou do casquilho _____

Tratamento de superfície (por ex.º tempera e revenido, cementado, etc.) _____

Dureza Rockwell C _____

Método de acabamento (por ex.º retificado) _____

Rugosidade Rt _____ μ

Defeito de concentricidade do eixo e do alojamento _____ mm. máx. _____ mm. máx.

Excentricidade do veio _____ mm. máx.

ALOJAMENTO

Diâmetro interior _____ mm.

Profundidade _____ mm.

Rugosidade Rt _____ μ

Material _____

Alojamento fixo/rotativo _____ r. p. m.

FLUIDO A VEDAR

Tipo de fluido _____

Gama de temperaturas de _____ a _____ °C

Temperatura normal de serviço _____ °C

Sobrepressão/depressão no local a vedar, de _____ a _____ bar

Sobrepressão de serviço normal _____ bar

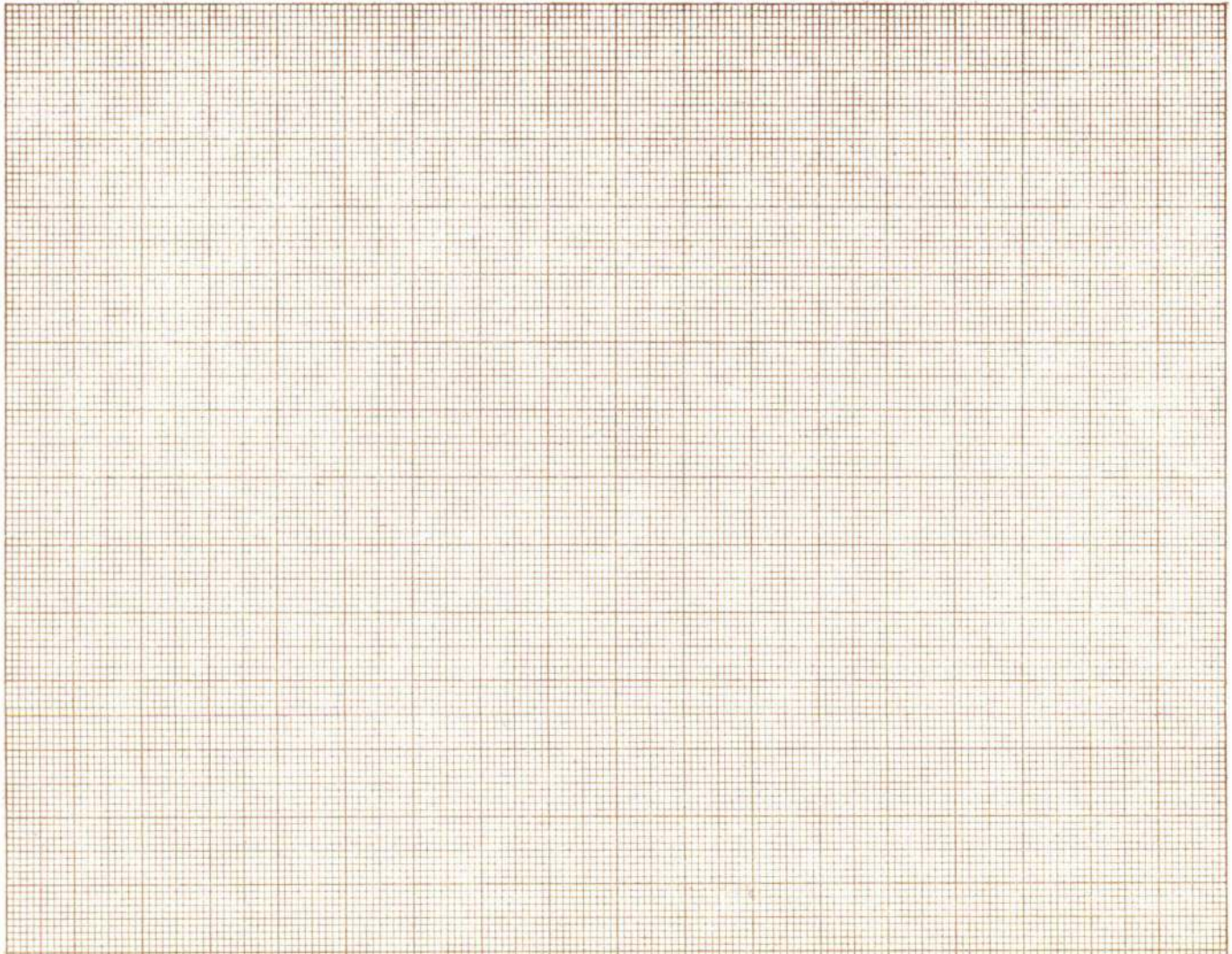
Exposição ao ar livre da câmara a vedar, sim/não _____

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Influências exteriores (por ex.º água, sujidade etc.) _____

NECESSIDADES PREVISTAS _____ peças/mês/ano/total

CROQUIS DE MONTAGEM com indicação do nível do óleo



Energy and Economics

J. J. DELGADO DOMINGOS
Instituto Superior Técnico
Lisbon, Portugal (*)

1. THE CREDIBILITY FACTOR

Three decades ago, Europe was fighting for survival on the aftermath of World War II. Carbon and steel were recognised as crucial and a supra-national organisation was achieved which still remains a cornerstone of European cooperation. Carbon and steel later declined and a spectacular economic boom started, propelled by imported cheap oil. In 1956, closing of the Suez canal was considered such a threat to vital European interests that a military intervention was considered as the first and most appropriate answer. In the near panic which followed its failure the vulnerability of Europe was widely recognised and the lesson quickly forgotten. The Suez crisis remained for a while as a convenient scapegoat for other kind of troubles, and with decaying oil prices in real terms for almost two decades enormous structural changes intervened in the economy of European industrial democracies. By the late sixties it was already known in many circles that such type of economic development could not be sustained and clear and clearer signs began to appear pointing to an increase in oil prices in the very near future.

Apart from predictable increases in oil prices, social strains due to rapid economic changes were already being felt. Pollution problems became a subject of public debate and environmental problems began to be felt as increasingly political pressures. The ingredients of an economic, social and political crisis existed already by the time of the Yom Kippour war, though no one dared to face the facts and prepared to manage transition. The situation was already so strained that the short lived selective oil embargo which followed the Yom Kippour war re-created the near panic of the Suez crisis, followed practically by the same promises and measures... to be shortly forgotten as if nothing deeply rooted had changed, or if the worst of all were the fourfold increase in oil prices, to be absorbed by an inflation wave which would bring down again the real energy prices. The ability of the oil producing countries to impose periodic adjustments on the prices does already reflect some of the essential changes at the very roots of the problem, namely a shift in the balance of economic and political power. Besides it stressed the largely increased dependence on imported

energy of the industrialised western world and the emergence of the U. S. A. as one of the biggest importers, so big as to put its energy habits as a world problem.

On a broader perspective, however, a unique feature of the new situation must be singled out due to its far-reaching implications which is the prospect, for the first time, of a shortage in the supply of oil in the near future due to physical constraints either as a resource depletion or as the inability to increase production. The perturbation introduced by events in Iran at the beginning of 1979 is just a reminder of how narrow the margin is in supply and why prices are not the crucial problem. Most dramatically we are also reminded of the scarcity of another crucial and so overlooked factor: TIME.

When looking at the time factor even an overview of what has been accomplished since the short oil embargo of 1973 rises the potentially disruptive effects of a strong credibility gap on existing political working. In fact, six years after the Yom Kippour war, one cannot say that meaningful steps were taken either in planning smooth structural changes or in the formulation and implementation of concerted efforts in the required scale on alternative forms of energy or even in its better technical use. Trying to fight unemployment and/or inflation same measures have even been taken which impaired the so much needed changes in the very near future. It must also be stressed that, as a recent survey (Worldwatch paper 31 by Collin Norman for the United Nations Environmental program) shows, R&D for Energy is still a tiny fraction of R&D for Defence which continues to absorb around fifty per cent of all spending on scientific R&D around the world. Besides, on the energy front, Nuclear R&D absorbs by far the largest slice. As A. Tucker pointed out (The Guardian 20.9.1979), six years after the oil embargo, less than seven per cent of Energy R&D of the major industrial countries is related with exploitation of renewable energy sources. This certainly justifies the quotation of Sir George Porter, Nobel prizewinner and president of the Royal Institution:

«If sunbeams could have been used as weapons we would have had solar systems in use years ago».

(*) Presently, Senior Visiting Research Fellow, Imperial College of Science and Technology, University of London.

It is not the purpose of this paper to address further the interrelations of all the aspects mentioned but rather to sketch some of the relevant factors which must be taken into account when the specific topic of Energy and Education is put on a broader perspective with the future in mind. So, let me stress again that even with such timely warnings as in 1956-57, 1973, and more recently in 1979 (with Iran) the crucial scarcity of time has been forgotten with our representative institutions not yet being able to develop a coherent strategy of transition or to take appropriate measures. Besides, blaming the so-called energy crisis for so many of our present difficulties — inflation, recession, unemployment, etc. — without the implementation of long-term policies which could be unpopular, can only worsen things and give rise to the possibility of a credibility crisis with political consequences which must not be overlooked.

2. THE NEED OF NEW METHODOLOGIES OF ECONOMIC FORECASTING

All of the main analyses concerned with future energy prospects which have recently appeared (CIA, WAES, FORD FOUNDATION, IEA, OECD, EXON, CLUB OF ROME...) converge on the prediction of a world energy gap between 1985 and 2000, unless some clear and positive actions are taken in a very short term. Such overall agreement, taking into account different assumptions and base data, is meaningful. Time and time again is pointed out, either implicitly or explicitly, as a crucial factor. It is also commonly agreed that market forces alone are unable to generate an acceptable equilibrium.

In the context of this paper a detailed discussion of the dozens of reports which appeared in recent years is out of question. However, when discussing Economy and Energy it seems appropriate to raise some points which necessarily touch Economics, Technology and Politics because typical macroeconomic analysis, which are still influencing economic policies, have too many shortcomings to be acceptable as the privileged tool and guide for action which they have been in the past.

To begin with, macroeconomic analyses rests on macroeconomic indices and implicitly assume internal equilibrium which does not exist in periods of deep rooted perturbations. It is true that we can build, and for certain facets it has been built, sophisticated mathematical models to deal with the most complex and dynamic situations. However, as everyone familiar with computer modelling knows well, there are too many unknowns for which no reliable data exist and too many aggregate behaviours whose modelling rests on unproved assumptions or pure extrapolations of past behaviour. Besides, and this is presently one of its fundamental drawbacks, classical economic models tend to overlook the constraints imposed by fundamental physical laws, sometimes the very nature of the scientific and technological processes not to mention the dynamics of large scale psychological effects. Though a complete solution for these problems is certainly out of reach, some steps can be taken in the appropriate direction with presently available knowledge, from other disciplines.

I mentioned macroeconomics because the poor behaviour of economic forecasts, particularly since 1973, supports my long felt reticences of the believe in their suggested almost magic powers of prophecy. This raises my worries, as a national of an European country in an intermediate stage of economic development, which is strongly committed to improve living standards and has to plan for the uncertain future without any substantial energy resources of non-renewable type and whose foreign advice is consistently based on concepts and know-how developed in advanced industrial democracies during the boom of abundant and cheap energy. Because loans and many forms of the so-called aid are dependent on the acceptance of such concepts and associated values, a little reflection on its mutual advantages is appropriate. To do so, let me choose a small example and use a little energy analysis together with some obvious physical concepts.

I assume energy analysis to be well familiar. As you know, it aims at the establishment of the energy cost of goods and services. It has no magic powers, but helps considerably understanding of our present situation and to anticipate the trends and consequences of many advocated policies. Unlike money which as-a-unit-of-measure misleads because of its variability, energy costs are stable on a large time scale and have clear and objective lower bounds imposed by physical laws.

To make short a long argument, let us consider briefly the case of Energy and Food. Both energy and food are widely regarded as potentially explosive problems in a world scale. However, the strong links between energy and food production are almost invariably overlooked at the policy level and lead to contradictions. Besides, for the prevailing economic thinking the percentage of active population in agriculture is a meaningful index of economic development and because it is so many development plans aim at the transfer of this population to other activities. An index of this type was introduced in those countries where agricultural industrialization had already taken place on a wide scale, and it reflects a cultural attitude towards development. In fact, if the aim is to feed people availability and price of food to the final consumer is important and not the transfer of population from one to another sector within the food system. One interesting aspect in this regard is that active population in the entire food system has not been reduced as much as one would be induced to think by the numbers which are usually given. These consider active population in agriculture as directly related to labour the farm and not in the whole food system. The other interesting aspect is the close link between the increase in energy consumption per unit of food produced and the transfer of active population from one sector to other inside the food system.

In times of cheap and abundant energy a close relationship certainly existed between active population in agriculture, improved agricultural techniques, and food prices; the pattern of this development being similar in industrialized countries. In times of a completely different situation regarding energy prices and availability a fundamental hidden factor disappears and the still currently

used macroeconomic index is devoided of its once meaningful attributes. Of course, the patterns of development in Western industrialized countries having been very similar, their food systems are alike and quantitative characterisation of one sector is likely to be well correlated with the whole system. The problem arises mostly in developing countries when trying to anticipate their future behaviour. As a matter of common sense, is it reasonable to forget the simple fact that the industrialised countries developed in times of cheap and abundant energy? In a completely changed situation regarding energy (and not only energy) is it acceptable to expect or sensible to advocate development along the same lines?

To address these questions, let us consider some results of energy analysis applied to food systems. In this respect, we will use some figures from the excellent work of G. Leach (*Energy and Food production* — IPC Press, 1976) regarding the United Kingdom. In the U. K., agricultural industrialization was essentially a post-World War II phenomena, well reflected in energy consumption. Considering all non-renewable energy inputs, in the twenty years period from 1952 to 1972, energy input rose by 160 %, labour decreased by 50 %, energy per £ remained almost the same. In terms of energy per worker, agriculture rose above the automobile industry. In the food system as a whole, i.e. farm to shop, the situation is well illustrated by 1 Kg of bread which in terms of non-renewable energy inputs consumed ~ 0.48 Kg of oil equivalent! Breaking down inputs per sector, wheat production took 19.4 %, grinding 12.9 % baking 64.3 % and the supermarket 3.4 %. If direct and indirect energy inputs are taken into account, it is found that more than 55 % came from indirect inputs.

When accessing the effects of energy price increases, classical economic analysis used to take into account only direct energy inputs and even then delayed effects on the final product were not completely accounted for. Indirect inputs, besides being dominant in many cases, became important at widely different times which reinforces delayed effects. Energy Analysis uncovers and quantifies these effects.

As referred to earlier, active population in agriculture is still commonly and uncritically associated with development on the unsupported dogma that moving population within the food system means increased land productivity and raises living standards. However, even if past trends of energy prices were prevailing, available data shows that the increase in productivity with energy input has been leveling off in developed industrialized countries.

With the background given above, consider now developing countries in Southern Europe willing at least to feed themselves or trying to find the best ways to integrate their plans for agricultural development taking into account a full partnership in the EEC in the near future. On the advice, or pressure, of their foreign helpers they tend to duplicate their food systems. Doing so they are going to increase an already crucial dependence on non-renewable energy resources and most likely to end up with higher food prices, among other things. This

brings us again to the point that a new approach is needed. I do not have a ready one... though it appears that some physical facts and presently available energy analysis are acceptable suggestions of new tools to take into account.

Continuing with the example of the food system, energy analyses show that in developed countries the non-farm energy inputs are 3 to 5 times greater than the farm energy input. This means that the use of advanced agricultural technologies, even in present forms, can be the best way to significantly increase food output without undue demand on energy. The biggest consumers of energy are those sectors of the food system which come downstream and these have more to do with social values and economic organisation than with production and availability of food. We could go further and discuss the reliability of quantitative relations already found between farm (or sea) output and energy subsidy and between these and other sectors of the food system. Those quantitative values are certainly only approximate due to the complexity and difficulty of finding accurate data; however, the emerging picture is indisputable and this is the aspect which I most willingly would like to stress.

I used energy and food production as one example. We could also consider many other sectors of the economy, their intimate relation with energy and how they gain perspective and unity when energy analysis is properly considered. Food is far from the largest energy consumer but is a good example of misleading classical analysis based on prices and aggregate behaviour due to the artificiality of their values dictated by local political reasons. How far and how long can politics go against physical laws and the realities of Nature is a question I leave open... as have many others.

3. THE BASIC RESOURCES

Taking a broader perspective and looking at the continuous development of our civilisation since the industrial revolution, we may find the interplay of four dominant productive factors, i.e. MATTER, ENERGY, INFORMATION and TIME. Three of these are well defined and easily measured physical quantities. The fourth, information, is also well defined and measurable if restricted to the scope of information theory. Here we take a much broader concept, though somewhat loose because it encompasses knowledge, cultura and social values and also the technical means by which they are conveyed.

Matter and energy are conserved quantities. Time is irreversible. Human labour combines energy and information to transform matter into goods, with the positive evolution of civilization being the one which most values the ability of MAN to generate and use information.

All living activity downgrades energy to shape matter. All of our industrial processes, in transforming matter, leave waste.

In the first phase of industrial development, matter (raw materials) and energy were locally available together with knowledge or information to transform them into goods and, increasingly, industrialized countries imported

energy and labour which they combined with local resources to produce exportable goods. Locally, waste and downgraded energy accumulated. When the rate of this accumulation exceeds the rate of absorption by the natural environment, pollution appears. However, in the process, information was created and became more and more valuable. Ability to generate information became the most valuable asset and information-based activities the most profitable exports.

In time of cheap and abundant energy, economic expansion in Northern and Central Europe imported raw materials, energy and also cheap labour which was mainly used as an intermediate link between use of energy and advanced information. The most profitable investments also began to shift from highly energy-intensive industrial activities to highly intensive activities in capital and information. Thus, even without profound changes in prices and availability of energy, the political and social strains due to rapid structural changes, the pressures arisen by increasing semi-skilled immigrant labour, the environmental problems, etc. spurred a transfer of industrial activities to peripheral and less developed countries. In fact, the combination of natural resources with cheap labour in those countries could always be shown to be of the greatest interest to them. Actually, effective control and the biggest share on profits remained with the ones which possessed the critical information.

The emergence of telematics even without any energy problem would also force an unavoidable transition. The energy crisis becomes an additional, though fundamental and specific factor, reducing the time scale for the imposing evolution. Time becomes then a crucial factor not only due to the lead times involved on the change of physical structures but also the lead times involved in creating new skills and attitudes of the human base.

When considering information let us stress again that many facets are involved. From an economic point of view the value certain information is the market value of the goods it can produce. If «Coca-Cola» is not an appreciated drink the specific information needed for its

production has no economic value, as the information related to the production of pigs is useless for faithfully islamic populations. These two simple examples indicate that the economic value of information has to do with social and cultural values, at least for some activities and the temptation arises to change those values to create a market or to create new values to create new markets. In this creation a different facet of the information weapon appears. This kind of information which creates needs and patters of behaviour is frequently called cultural influence. We could find better names, and elaborate in more detail what was only briefly sketched. However, and this is a strong believe which I would like to convey for discussion even without any type of moral judgement, will it be possible for the developed industrial countries in a world of limited natural resources to intend a cultural hegemony with all its associated values of profligate use of limited non-renewable equilibrium on a world scale? On pure physical grounds, I do not believe so. On moral grounds it would be utterly unacceptable unless in its name and under the name of civilization we mean war.

Coming back to the energy problems, they must be perceived within the context of the basic resources in a world scale. Europe, to pay for her vital energy imports has the most valuable assets in information-related goods. That information is valuable as long as it fulfills real human needs. Information which produces artificial needs with the aim of creating markets, even if it brings short-term advantages will only aggravate in the long run the global problems.

One of the most needed information concerns improved planning methodologies, the best use of available energy resources and the harnessing of the renewable ones in a way which is also useful and adapted to the needs of less developed countries.

Having the real world in mind it appears that even a selfish attitude, provided it is not too short-minded, shows that the most profitable approach is also a non-selfish one...

NOTICIÁRIO

LISNAVE-SANKO LINES: O MAIOR CONTRATO

O maior contrato de reparação naval jamais firmado em todo o mundo, foi assinado pela Lisnave e a Sanko Lines. Este armador japonês, escolheu, entre forte concorrência, a proposta da Lisnave para a reparação de 35 petroleiros, o que está orçado em cerca de 1 milhão de contos e ocupará 15 a 18% da capacidade do estaleiro da Margueira.

FUNDO PARA PAÍSES DO SUL DA EUROPA

O Conselho da Europa vai criar um fundo de cooperação destinado a ajudar os seus membros de menores recursos, ou seja, os países do Sul da Europa, revelou a um matutino lisboeta, o secretário-geral daquela instituição.

O fundo que será mensal, no montante de 10 milhões de francos franceses (cerca de 115 mil contos), é destinado sobretudo à educação, administração e investigação científica, áreas essenciais ao desenvolvimento económico daqueles países.

(Informação do «Expresso», de 22-3-1980)

(Continua na pág. 315)

Planeamento de Actividades — Um modelo de programação binária

RUI M. CARVALHO OLIVEIRA

Universidade Técnica de Lisboa (I. S. T.)

Centro de Sistemas Urbanos e Regionais
das Universidades de Lisboa (INIC)

RESUMO

Os problemas de planeamento de actividades interdependentes têm vindo a ser abordados por diversos métodos (Método do Caminho Crítico, PERT) que, no entanto, não têm em conta o carácter limitado dos recursos disponíveis. Desenvolve-se neste trabalho um modelo de Programação Binária que permite considerar tais limitações, apresentando-se também um pequeno exemplo de aplicação.

ABSTRACT

The scheduling of interdependent jobs is a problem usually treated through classic methods (e.g. C.P.M., PERT) assuming unlimited resources. In this paper a zero-one Programming method is developed to model these problems assuming restrictions on resources availability. An application example is also presented.

1 — INTRODUÇÃO

O Método do Caminho Crítico e o PERT são técnicas que têm vindo a ser aplicadas com razoável eficácia a problemas de planeamento de conjuntos de actividades interdependentes. No entanto, estas técnicas não contemplam o carácter limitado de muitos dos recursos necessários à realização dos empreendimentos em estudo, pelo que têm vindo a ser desenvolvidos outros métodos que consideram explicitamente tais limitações.

Uma destas metodologias baseia-se na formulação do problema em termos de um «grafo disjuntivo» em que através de pares de arcos disjuntivos (funcionando como «actividades fictícias») se expressam possíveis interdependências entre actividades que necessitam de um mesmo tipo de recurso ([2], [5], [8], por exemplo). Estas interdependências são marcadas em ambos os sentidos visto que quando duas actividades competem para um mesmo recurso, não é em geral possível indicar à partida qual das duas se deve iniciar primeiro. Há assim que seleccionar uma das duas direcções de cada par de arcos disjuntivos, ou até eliminar o par da rede no caso de a utilização do recurso em questão não exceder as disponibilidades, buscando-se com esta selecção definir a rede com um caminho crítico de duração mínima. Esta busca da selecção óptima é usualmente feita utilizando técnicas de enumeração implícita (como o «Branch and Bound») ou modelos de programação inteira.

Uma abordagem alternativa deste problema consiste em fazer menos uso da Teoria das Redes e explorar

antes as potencialidades da Programação Matemática. Tremolières, [9], por exemplo, formula o problema do planeamento de actividades com recursos limitados como um modelo clássico de transporte altamente degenerado que depois resolve usando o método do «stepping stone». Esta formulação é bastante eficiente, mas apresenta limitações graves uma vez que as actividades devem ter iguais durações e utilizar a mesma quantidade de recursos. O modelo de programação binária desenvolvido por Pritsker, Watters e Wolfe, [7], apresenta mais potencialidades, pelo que se julgou oportuno fazer a sua divulgação, adaptando-o a alguns casos mais correntes.

Antes de entrar no desenvolvimento do modelo convirá apresentar a Programação Binária, técnica infelizmente pouco divulgada entre nós.

2 — A PROGRAMAÇÃO BINÁRIA

É bem conhecido o modelo da Programação Linear que, sem perda de generalidade, pode ser apresentado da seguinte forma

$$\text{Minimizar } F = \sum_i C_i X_i$$

$$\text{Restrições } \sum_j a_{ij} X_j \leq b_i \quad j = 1, m \quad (1)$$

$$X_i \geq 0$$

ou seja, pretende-se determinar os valores das variáveis decisionais X_i (não negativas) que optimizam uma função, dita «função objectivo», linear nessas variáveis quando estas estão sujeitas a um conjunto de restrições também lineares.

Quando em (1) as variáveis decisionais apenas podem tomar os valores 0 ou 1 fica-se em presença de um problema de *Programação Binária* (Linear). Note-se a importante alteração do carácter das variáveis: enquanto que no primeiro modelo as variáveis indicavam quantidades de recursos utilizáveis (a optimizar), as variáveis binárias servem para indicar se uma dada acção deve ($X = 1$) ou não ($X = 0$) ser empreendida, sendo os níveis de recurso a empregar pré-fixados.

A simplicidade do modelo e a sua versatilidade de aplicação são responsáveis pelos progressos conseguidos nos últimos anos, tanto no campo da divulgação das suas aplicações como no do refinamento dos algoritmos optimizadores. De entes estes, é de referir o algoritmo aditivo de Balas [1] que, com alguns melhoramentos posteriormente introduzidos ([4], por exemplo), tem dado provas de razoável eficiência. O estudo destes algoritmos não poderá ser feito no presente trabalho, sugerindo-se a consulta das referências [1], [3] ou [6], por exemplo.

3 — APRESENTAÇÃO DO MODELO

Na formulação que a seguir se apresenta o horizonte de planeamento é discretizado num conjunto ordenado de «períodos de tempo» de duração arbitrária (1 dia, 1 semana...) mas uniforme. É evidente que quando maior for a discretização, maior será a precisão do planeamento, mas em contrapartida maior será também a complexidade do problema.

Todos os acontecimentos que interessam ao planeamento (início e conclusão de actividades e projectos, disponibilidades de recursos, etc.) são referenciados a estes períodos que funcionam assim como unidades de tempo fundamentais. A cada período está associado um índice, t , ordenado a partir do início da contagem dos tempos.

Na formulação do modelo utilizar-se-ão as seguintes variáveis com o significado que se indica.

- i — índice de referência das actividades, $i=1, \dots, N$
- t — índice de referência do período de tempo
- j — índice de referência do tipo de recurso, $j=1, \dots, J$
- N — número de actividades da rede
- J — número de diferentes tipos de recursos
- d_i — duração da actividade i
- C_i — período mínimo* de conclusão da actividade i , determinado de acordo com as precedências e durações das actividades

- C — período mínimo de conclusão do empreendimento (conjunto de todas as actividades)
- r_{ij} — número de unidades do recurso j necessários à realização da actividade i
- R_{jt} — número de unidades do recurso j disponíveis no período t

Admitir-se-á que o empreendimento tem uma data obrigatória de conclusão, podendo então definir-se

- M — período obrigatório de conclusão do empreendimento
- L_i — período de conclusão obrigatória da actividade i , determinado a partir do conhecimento de M e de acordo com as precedências e durações das actividades

As variáveis de controle do modelo são

$$X_t = \begin{cases} 1 & \text{se o empreendimento se conclui no período } t-1 \text{ ou antes deste } (t-2, t-3, \dots) \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$X_{it} = \begin{cases} 1 & \text{se a actividade } i \text{ se conclui no período } t. \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Note-se que nem todos os X_t e X_{it} têm de ser considerados visto que

1. $X_t = 0$ para $t \leq C$
2. $X_{it} = 0$ para $t < C_i$ e $t > L_i$

Para uma maior familiarização com a notação utilizada sugere-se a leitura do início do ponto 4 e a observação da fig. 1.

3.1 — Função Objectivo

a) Suponha-se que se pretende minimizar o tempo de execução do empreendimento. Este objectivo será conseguido maximizando o número de períodos de tempo compreendidos entre C e M^{**} para os quais X_t vem diferente de 0^{***}. Desta forma, a função objectivo pode ser escrita

$$\text{Max } F = \sum_{t=C+1}^M X_t \quad (2)$$

b) Sem prejudicar o anterior objectivo, podia ainda desejar-se que as actividades comessem o mais cedo possível. Se à anterior função objectivo subtraímos termos do tipo $t X_{it}$, os períodos mais próximos de data obrigatória de conclusão da actividade i terão maior peso (por virtude do factor t) e o início da actividade será

* «Período mínimo» deve ser compreendido como o período de índice mais baixo no qual a actividade pode ser concluída. Esta designação é equivalente à de «tempo mínimo» utilizada no Método do Caminho Crítico e PERT.

** Recorde-se que o empreendimento não pode ser concluído antes do período C nem depois do período M .

*** Note-se que, atendendo à definição das variáveis, $X_t = 1$ significa que o empreendimento se concluiu antes do período t .

deslocado para o período mais cedo permitido pelas restrições. A função objectivo tomaria então a forma:

$$\text{Max } F = \sum_{t=C+1}^M X_t - \frac{1}{A} \sum_{i=1}^N \sum_{t=C_i}^{L_i} t X_{it} \quad (3)$$

em que $\frac{1}{A}$ é um factor capaz de garantir que a minimização do tempo de realização do empreendimento não seja preterido em favor de inícios «mais cedo» das actividades, propondo-se que

$$A > \sum_{i=1}^N L_i \quad (4)$$

c) Outro objectivo possível poderá ser o da minimização das penalidades de atraso de conclusão do empreendimento em relação a uma data desejada de finalização T. A função objectivo seria então

$$\text{Max } F = \sum_{t=T}^M p_t X_t \quad (5)$$

em que p_t é a penalidade de atraso para o período t.

Outros objectivos podem evidentemente, ser desejados. Refira-se designadamente a uniformização da utilização de recursos, também por vezes denominada «regularização de cargas», também com grande interesse, mas que envolve termos quadráticos pelo que não será aqui abordado.

3.2 — Restrições

a) Conclusão das actividades

Cada actividade apenas pode ser concluída num só período, pelo que

$$\sum_{t=C_i}^{L_i} X_{it} = 1 \quad i = 1, N$$

Esta restrição pode ser escrita de uma forma mais conveniente da seguinte maneira

$$\sum_{t=C_i}^{L_i-1} X_{it} \leq 1 \quad i = 1, N \quad (6)$$

b) Conclusão do empreendimento

O empreendimento só estará concluído quando todas as actividades que o compõem estiverem terminadas. Uma dada actividade i estará terminada antes do período t quando

$$\sum_{k=C_i}^{t-1} X_{ik} = 1$$

Para garantir que as variáveis X_t mantêm o valor 0 até que todas as actividades estejam completadas pode escrever-se então

$$X_t \leq \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{k=C_i}^{t-1} X_{ik} \quad t = C+1, M \quad (7)$$

c) Precedências

Suponha-se que a actividade m procede a actividade n. Se t_m representar o período de conclusão de m, e t_n o período de conclusão de n, então a seguinte desigualdade tem de ser satisfeita.

$$t_m + d_n \leq t_n$$

Uma vez que $X_{it} = 0$ excepto para o período em que a actividade i se conclui, vem

$$t_m = \sum_{t=C_m}^{L_m} t X_{mt} \quad \text{e} \quad t_n = \sum_{t=C_n}^{L_n} t X_{nt}$$

As restrições relativas às precedências ficarão

$$\sum_{t=C_m}^{L_m} t X_{mt} + d_n \leq \sum_{t=C_n}^{L_n} t X_{nt} \quad (8)$$

d) Limitações de recursos

Uma dada actividade i, necessitando do recurso j, está a ser processada no período t se

$$t \leq q \leq t + d_i - 1$$

em que q representa o período em que i se conclui. Para os períodos compreendidos entre (t) e (t + d_i - 1) a variável X_{it} é igual a 1 apenas para t=q, e é igual a 0 nos períodos restantes. Desta forma.

$$\sum_{k=t}^{t+d_i-1} r_{ij} X_{ik}$$

representa a quantidade do recurso j necessária à realização da actividade i, e esta quantidade não poderá exceder os recursos disponíveis, pelo que, para a actividade i

$$\sum_{k=t}^{t+d_i-1} r_{ij} X_{ik} \leq R_{jt}$$

Estendendo esta limitação a todas as actividades do empreendimento, obtém-se

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=t}^{t+d_i-1} r_{ij} X_{ik} \leq R_{jt} \quad \begin{matrix} j=1, J \\ t=1, M \end{matrix} \quad (9)$$

4 — EXEMPLO

Aplica-se em seguida o modelo desenvolvido ao pequeno problema de um empreendimento com 5 actividades e 3 recursos fornecendo-se no quadro I (6 primeiras colunas) os dados necessários.

Se se fixar $M=12$, e aplicando um método simples conhecido, fácil se torna determinar os valores constantes das duas últimas colunas do quadro I e ainda con-

entrar em linha de conta com as limitações de recursos. Na fig. 1 indicam-se os valores que as variáveis de controlo tomam para esta solução e ainda os recursos a utilizar em cada período, podendo constatar-se que há restrições relativas aos recursos disponíveis que são violadas. Mesmo jogando com as folgas das actividades e não se querendo dilatar o período de execução do empreendimento, não é possível ultrapassar esta situação de não observância das limitações de recursos.

QUADRO I

Actividades i	Precedências	Durações d_i	Recursos Necessários			C_i	L_i
			R_1	R_2	R_3		
1	—	4	6	—	1	4	7
2	1	3	4	3	2	7	10
3	—	3	3	1	—	3	9
4	3	3	5	4	3	6	12
5	2	2	—	1	2	9	12
Recursos disponíveis			10	6	6	—	

cluir que o período mínimo de realização do empreendimento é $C=9$. Na fig. 1 apresenta-se um gráfico de barras que representa uma solução possível para o problema, utilizando o critério dos «tempos mínimos» e sem

a) Valores pré-determinados.

Tal como foi dito no início do ponto 3 há certas variáveis cujos valores são pré-determinados. Assim, o empreendimento não pode ser concluído antes do período $t=9$ e pode escrever-se

$$X_1 = X_2 \dots = X_9 = 0$$

Também a actividade 1 não pode ser completada antes do período 4, nem depois do período 7, pelo que

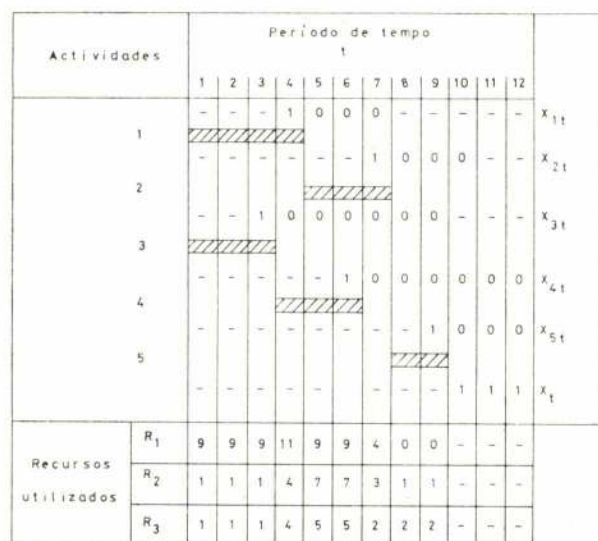
$$X_{1,1} = X_{1,2} = X_{1,3} = X_{1,8} = \dots = X_{1,12} = 0$$

Estendendo estas considerações às restantes actividades elimina-se um número importante de variáveis

b) Restrições de conclusão de actividades.

Utilizando a expressão (6), pode escrever-se

$$\begin{aligned}
 X_{1,4} + X_{1,5} + X_{1,6} &\leq 1 \\
 X_{2,7} + X_{2,8} + X_{2,9} &\leq 1 \\
 X_{3,3} + X_{3,4} + \dots + X_{3,8} &\leq 1 \\
 X_{4,6} + X_{4,7} + \dots + X_{4,11} &\leq 1 \\
 X_{5,9} + X_{5,10} + X_{5,11} &\leq 1
 \end{aligned} \tag{10}$$



(-) indica que a variável é à partida igual a 0.

FIG. 1

c) Restrições de conclusão do empreendimento.

A partir de (7) pode escrever-se

$$X_{10} \leq \frac{1}{5} \left[(X_{1,4} + \dots + X_{1,7}) + (X_{2,7} + \dots + X_{2,9}) + (X_{3,3} + \dots + X_{3,9}) + (X_{4,6} + \dots + X_{4,9}) + (X_{5,9}) \right]$$

$$X_{11} \leq \frac{1}{5} \left[(X_{1,4} + \dots + X_{1,7}) + (X_{2,7} + \dots + X_{2,10}) + (X_{3,3} + \dots + X_{3,9}) + (X_{4,6} + \dots + X_{4,10}) + (X_{5,9} + X_{5,10}) \right] \quad (11)$$

$$X_{12} \leq \frac{1}{5} \left[(X_{1,4} + \dots + X_{1,7}) + (X_{2,7} + \dots + X_{2,10}) + (X_{3,3} + \dots + X_{3,9}) + (X_{4,6} + \dots + X_{4,11}) + (X_{5,9} + \dots + X_{5,11}) \right]$$

d) Restrições relativas a precedências.

A actividade 1 deve preceder a 2, e atendendo a (8)

$$4 X_{1,4} + 5 X_{1,5} + 6 X_{1,6} + 7 X_{1,7} + 3 \leq 7 X_{2,7} + 8 X_{2,8} + 9 X_{2,9} + 10 X_{2,10}$$

Procedendo da mesma forma em relação às restantes precedências

$$7 X_{2,7} + 8 X_{2,8} + \dots + 10 X_{2,10} + 2 \leq 9 X_{5,9} + \dots + 12 X_{5,12} \quad (12)$$

$$3 X_{3,3} + \dots + 9 X_{3,9} + 3 \leq 6 X_{4,6} + \dots + 12 X_{4,12}$$

e) Restrições de limitação de recursos.

Começando pelo recurso R_1 , haveria que desenvolver (9) para os 12 períodos durante os quais as actividades poderão estar a ser processadas. No entanto, é facilmente constatável que não é necessário estabelecer restrições para todos os períodos visto que para alguns destes as actividades processáveis em alguns deles não esgotam os recursos disponíveis. É o caso, por exemplo do período 1 para o qual (7) se escreveria

$$6 X_{1,4} + 3 X_{3,3} \leq 10$$

Esta restrição é sempre verificada e pode ignorar-se. Esta situação verifica-se também para os períodos 2 e 3, surgindo a primeira restrição violável para $t=4$ e seguintes

$$t=4 \quad 6 (X_{1,4} + X_{1,5} + X_{1,6} + X_{1,7}) + 3 (X_{3,4} + X_{3,5} + X_{3,6}) + 5 X_{4,6} \leq 10$$

$$t=5 \quad 6 (X_{1,5} + \dots + X_{1,7}) + 3 (X_{3,5} + \dots + X_{3,7}) + 5 (X_{4,6} + X_{4,7}) + 4 X_{2,7} \leq 10$$

$$t=6 \quad 6 (X_{1,6} + X_{1,7}) + 3 (X_{3,6} + \dots + X_{3,8}) + 5 (X_{4,6} + \dots + X_{4,8}) + 4 (X_{2,7} + X_{2,8}) \leq 10 \quad (13)$$

$$t=7 \quad 6 X_{1,7} + 3 (X_{3,7} + X_{3,9}) + 5 (X_{4,7} + \dots + X_{4,9}) + 4 (X_{2,7} + \dots + X_{2,9}) \leq 10$$

$$t=8 \quad 3 (X_{3,8} + X_{3,9}) + 5 (X_{4,8} + \dots + X_{4,10}) + 4 (X_{2,8} + \dots + X_{2,10}) \leq 10$$

$$t=9 \quad 3 (X_{3,9}) + 5 (X_{4,9} + \dots + X_{4,11}) + 4 (X_{2,9} + X_{2,10}) \leq 10$$

Para $t \geq 10$ apenas as actividades 2 e 4 poderão ser processadas e estas não esgotam os recursos disponíveis podendo as restrições respectivas ser ignoradas.

Procedendo de igual forma para o recurso R_2

$$t=5 \quad 1 (X_{3,5} + X_{3,6} + X_{3,7}) + 4 (X_{4,6} + X_{4,7}) + 3 X_{2,7} \leq 6$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix} \quad (14)$$

$$t=10 \quad 4 (X_{4,10} + \dots + X_{4,12}) + 3 X_{2,10} + (X_{5,10} + X_{5,11}) \leq 6$$

E para o recurso R_3

$$t=8 \quad 3 (X_{4,8} + \dots + X_{4,10}) + 2 (X_{2,8} + \dots + X_{2,10}) + 2 X_{5,9} \leq 6$$

$$t=9 \quad 3 (X_{4,9} + \dots + X_{4,11}) + 2 (X_{2,9} + X_{2,10}) + 2 (X_{5,9} + X_{5,10}) \leq 6 \quad (15)$$

$$t=10 \quad 3 (X_{4,10} + \dots + X_{4,12}) + 2 X_{2,10} + 2 (X_{5,10} + X_{5,11}) \leq 6$$

f) Função objectivo.

Adoptando o objectivo definido em 3.1.b), a expressão da função objectivo será extraída de (3). Começamos por determinar o parâmetro A a partir de (4)

$$A > 7 + 10 + 9 + 12 + 12 = 50$$

Adoptando $A = 60$, a função objectivo ficaria

$$\text{Max } F = X_{10} + X_{11} + X_{12} - \frac{1}{60} (4 X_{1,4} + 5 X_{1,5} + 6 X_{1,6} + 7 X_{1,7} + \dots + 10 X_{2,10} + 3 X_{3,3} + \dots + 9 X_{3,9} + 6 X_{4,6} + \dots + 12 X_{4,12} + 9 X_{5,9} + \dots + 12 X_{5,12}) \quad (16)$$

Com a formulação proposta obteve-se um problema com 29 variáveis e 30 restrições [(10), (11), (12), (13), (14), (15)]. Este problema foi resolvido através do algoritmo de Balas mostrando-se no quadro II a solução ótima que se representa na fig. 2 através de um gráfico de barras. De notar que a observância das limitações de recursos existentes levou, neste caso, a que o tempo de execução do empreendimento se alargasse para além do seu período mínimo determinado no início do ponto 4 quando não se entrou em linha de conta com as limitações referidas.

5 — BIBLIOGRAFIA

[1] E. Balas — *An Additive Algorithm for Solving Linear Programs with Zero-One Variables*, Operations Research, 13, Jul-Ago. 1965.

[2] *Project Scheduling with Resource Constraints*, Proc. NATO Conference on the Applications of Mathematical Programming, Jun. 1968, Cambridge (U. K.), American Elsevier, 1970.

[3] R. S. Garfinkel & G. L. Nemhauser — *Integer Programming*, Willey, 1972.

QUADRO II

t \ Var	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$X_{1,t}$	—	—	—	1	0	0	0	—	—	—	—	—
$X_{2,t}$	—	—	—	—	—	—	1	0	0	0	—	—
$X_{3,t}$	—	—	1	0	0	0	0	0	0	—	—	—
$X_{4,t}$	—	—	—	—	—	0	0	0	0	1	0	0
$X_{5,t}$	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0	0	0
X_t	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	1	1

(—) variáveis previamente determinadas a tomar o valor 0

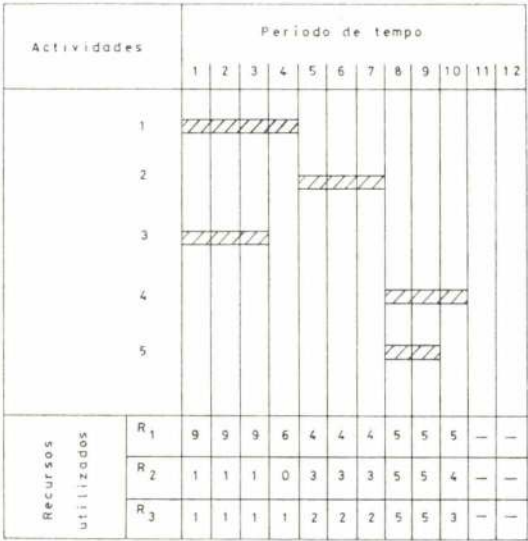


FIG. 2

[4] F. Glover — *A Multiphase Dual Algorithm for the Zero-One Integer Programming Problem*, Operations Research, 13, Nov-Dez. 1965.

[5] S. Gorenstein — *An Algorithm for the Project (Job) Sequencing with Resource Constraints*, Operations Research, 20, Jul-Ago. 1972.

[6] R. C. Oliveira — *Elementos de Programação Binária*, CESUR, 1976.

[7] A. Pritsker, L. Watters & P. Wolfe — *Multiproject Scheduling with Limited Resources: A Zero-One Programming Approach*, The Rand Corporation Report P-3800, Fev. 1968.

[8] J. F. Raimond — *Minimaximal Paths in Disjunctive Graphs by Direct Search*, IBM Journal of Research and Development, 13, 1969.

[9] R. Tremolières — *Scheduling Jobs of Equal Duration with Tardiness Costs and Resource Limitations*, The Journal of the Operational Research Society, 29, Março 1978.

Ensaio de fluência de um aço com 2,25% Cr-1% Mo (Molas cónicas helicoidais)*

H. CARVALHINHOS **

RESUMO

Foram efectuados ensaios de fluência de um aço com 2,25 % Cr-1 % Mo entre 485 e 660 °C e no intervalo de tensões 7,4-131,4 N/mm². O uso de molas cónicas helicoidais permitiu a medição de velocidades de deformação mínimas da ordem dos 10⁻⁹—10⁻⁸s⁻¹ e a avaliação do efeito da tensão com apreciável economia de tempo. Os parâmetros obtidos revelam que a deformação deste aço, nas condições em que foi ensaiado, poderá ser controlada por um mecanismo onde a difusão nos limites de grão tem um papel importante.

SUMMARY

A steel with 2.25 % Cr—1 % Mo was creep tested at temperatures between 485 and 660 °C and stresses between 7.4—131.4 N/mm². The specimens were given the shape of conical helicoidal springs which allowed minimum strain rates of 10⁻⁹—10⁻⁸s⁻¹ to be measured and the stress sensitivity of the strain rate to be determined with an appreciable time economy. The obtained parameters show that the deformation of this steel, under the present testing conditions, could be controlled by a mechanism where grain boundary diffusion plays an important role.

1 — INTRODUÇÃO

Resultados de ensaios de fluência a tensões baixas em regimes de temperatura para as quais as velocidades de deformação mínimas a medir são da ordem dos 10⁻⁸—10⁻⁹s⁻¹ são difíceis de obter. A utilização de provetes de dimensões normais leva a tempos de ensaios demasiado longos; a utilização de fios compridos tem o grande inconveniente de complicar demasiado o problema dos efeitos da não uniformidade e oscilação da temperatura. Um método para reduzir estes últimos inconvenientes é o de utilizar molas helicoidais produzidas com fio do material a ensaiar e que, sujeitas a uma carga constante a temperaturas para as quais se dê a fluência, se deformam plasticamente por torsão em torno de um eixo paralelo ao eixo do fio, ampliando consideravelmente as deformações tangenciais [1], [2].

Se se admitir que, por efeito do momento aplicado à mola, dois planos vizinhos e perpendiculares ao eixo do fio rodaram relativamente um ao outro de maneira rígida de forma que segmentos de recta na secção mantêm a sua forma geométrica, é relativamente simples calcular a tensão tangencial máxima τ_{\max} que ocorre, em regime elástico, sobre a superfície externa do fio mais próxima do eixo da mola; demonstra-se que [3]:

$$\tau_{\max} = \frac{2PR}{3\pi a} \left(\frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0,615}{c} \right) \quad (1)$$

onde a e R são os raios do fio e da mola respectivamente, $c = R/a$ e P é a carga aplicada à espira em consideração. Uma vez iniciada a deformação plástica, o que eventualmente acontecerá à superfície do fio como região mais solicitada que é, a tensão à superfície diminui e eventualmente o ponto de tensão tangencial máxima move-se para o interior até que a distribuição de tensões se estabiliza ao fim de um transiente que se prova ser muito curto em termos de deformação [2].

A deformação tangencial γ , resultante de um determinado alongamento δ de uma espira da mola, é também facilmente calculada considerando que $\gamma = a\Theta$, sendo Θ o ângulo de torsão por unidade de comprimento do fio. Como o alongamento elementar $d\delta$ é dado por $R d\Theta$ resulta que:

$$\delta = R \int d\Theta = R \times 2\pi R \times \Theta$$

ou seja

$$\gamma = \frac{\delta a}{2\pi R^2}$$

Costuma, para efeitos de comparação, converter-se estas tensões e deformações tangenciais nas equivalentes normais σ e ϵ que usualmente se obtêm por

* Comunicação ao Congresso da Ordem dos Engenheiros, Lisboa, Novembro 1977.

** Investigador coordenador do Departamento de Metalurgia do L. N. E. T. I.

Manuscrito recebido para publicação em 4/1/78.

ensaios de fluência uniaxiais. Para isso faz-se $\varepsilon = \gamma / \sqrt{3}$ e $\sigma = \tau \sqrt{3}$.

Visto que a fluência da mola cilíndrica helicoidal se pode dar por acção do próprio peso das espiras, uma vantagem adicional deste método é o de cada espira estar sujeita a uma carga diferente, pelo que os resultados obtidos de um único ensaio são constituídos por tantas curvas de fluência para diferentes tensões máximas quantas as espiras. Esta vantagem perde-se quando a temperatura é relativamente baixa; neste caso, têm de utilizar-se cargas adicionais aplicadas às molas, de forma a obter velocidades de alongamento mensuráveis em tempos relativamente curtos.

No entanto, o efeito da carga adicional pode ser tal que a correcção devida ao peso das espiras se torna desprezável. Para ultrapassar esta dificuldade foi nesta investigação concebida a utilização de molas cónicas helicoidais. Como o momento aplicado à espira aumenta com o seu raio (ver equação (1)), este tipo de molas permitiu restabelecer a possibilidade de num único ensaio obter o efeito da tensão nas características de deformação por fluência do material.

O material ensaiado foi um aço de baixa liga contendo cerca de 0,07 C % — 2,25 % — 1 % Mo. Este aço está a ser utilizado em reactores nucleares, onde é aplicado depois de tratada termicamente a fim de se obter uma bainite revenida.

2 — EXPERIMENTAÇÃO

A liga utilizada nesta investigação foi obtida fundindo os componentes num forno de indução sob uma atmosfera de argon e a seguir extrudida de forma a obter um varão de 0,56" de diâmetro. O varão foi depois deformado a frio numa forja rotativa obtendo-se um fio com 1,54 mm de diâmetro, tendo-se efectuado uma série de recozimentos intermédios aos diâmetros de 0,4 e 0,187" (700 C — 1 hora ao ar) e de 0,1" (700 C — 1 hora em vazio).

O fio foi cortado em segmentos de cerca de 72 cm cada, os quais foram depois enrolados em torno de um entalhe de forma a obter molas cónicas helicoidais. Cada mola possuía oito espiras separadas de 5 mm, com diâmetros médios de 12 a 20 mm aproximadamente. Para obter uniformidade de temperatura ao longo destas oito espiras (comprimento de prova) enrolaram-se mais duas espiras extra em cada um dos extremos do comprimento de prova da mola. Com as molas ainda presas aos moldes foi-lhes dado um tratamento de relaxação de tensões a 500 C durante 1 hora, após o que as molas foram retiradas dos moldes, apresentando agora a sua forma final.

Todas as molas sofreram o mesmo tratamento térmico, em vazio, num forno tubular, de forma a obter-se uma estrutura de bainite revenida. Consistiu este tratamento em homogeneizar o material durante 1 hora a 1100 C, seguida de mais 1 hora a 950 C de modo a evitar excessivo aumento do tamanho de grão de austenite; o tubo foi depois removido rapidamente do forno com o fim de provocar a formação de uma estrutura

completamente bainítica. Esta estrutura foi finalmente revenida a 750 C durante 16 horas.

O equipamento utilizado nos ensaios de fluência está esquematicamente representado na Fig. 1.

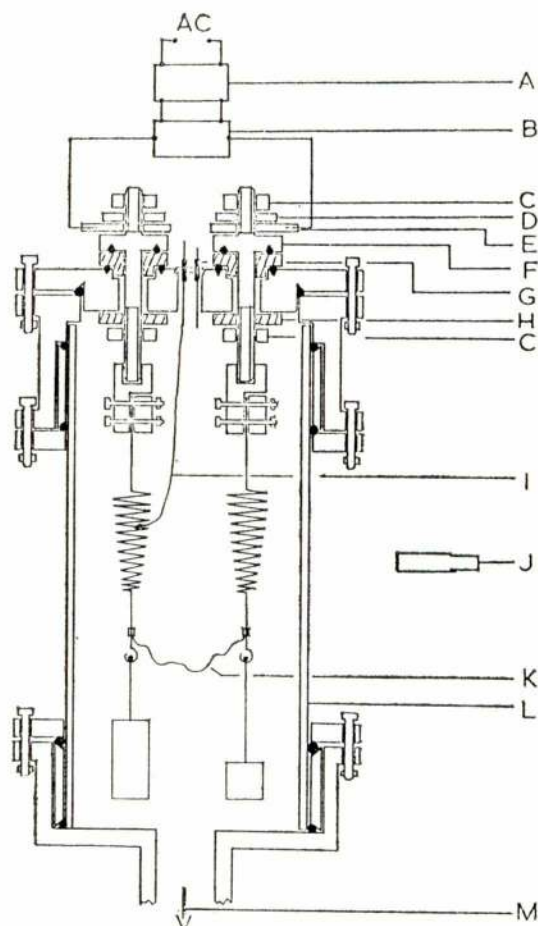
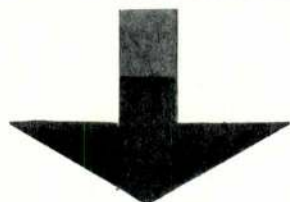
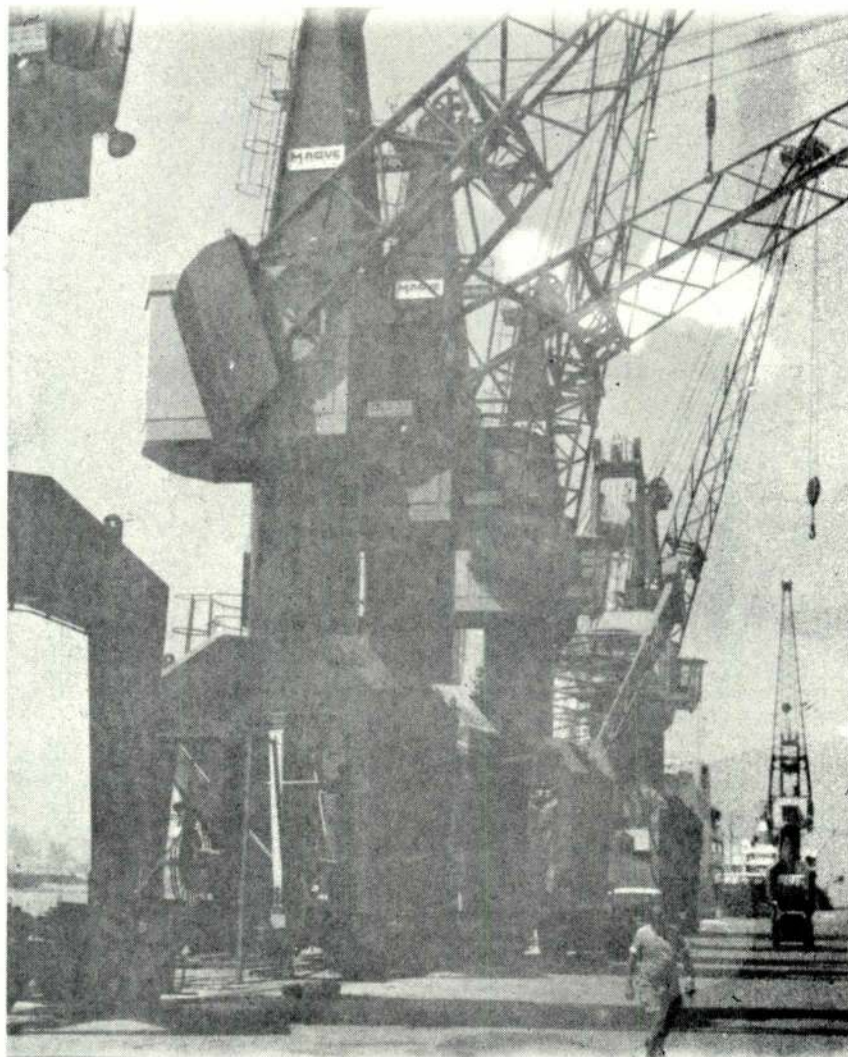


FIG. 1

Esquema do aparelho usado para o ensaio das molas cónicas helicoidais (A — estabilização de tensão; B — Transformador c.a., 100 A a 22 V máximo; C — porcas de aperto em latão; D — anilhas de latão; E — eléctrodos de ligação em latão; F — eléctrodos de cobre para ligação ao interior da câmara de vácuo; G — ligações para termopares; H — isolamentos em Teflon (a tracejado); I — termopares (Chromel-Alumel); J — catetómetro vertical; K — ligação flexível de cobre; L — tubo de Pyrex (~ 70 mm de diâmetro interno); M — ligação às bombas de difusão e rotativa)

O equipamento permitia o ensaio simultâneo de duas molas que eram aquecidas por resistência eléctrica própria numa câmara de vácuo (10^{-5} mm Hg) constituída por um tubo de Pyrex transparente. O circuito eléctrico fechava-se por um cabo de Cu flexível ligando os extremos inferiores das molas. Usou-se, para o aquecimento, alta corrente a baixa tensão à frequência da rede e com estabilização da tensão. Um termopar de Chromel-Alumel com um diâmetro de 0,18 mm foi soldado pontualmente a cada mola numa das espiras superiores extras, isto é, fora do comprimento de prova. Isto porque se reconheceu

MAGUE



"Aspecto parcial dos 12 guindastes para carga geral de 12 toneladas com 25 metros de alcance, fornecidos para o Porto de LA GUAIRA, na Venezuela".

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E
APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS

TURBINAS HIDRÁULICAS ———

TURBINAS A VAPOR ———

CALDEIRAS A VAPOR ———

EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES
INDUSTRIAIS

Projecto e fabrico

Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.

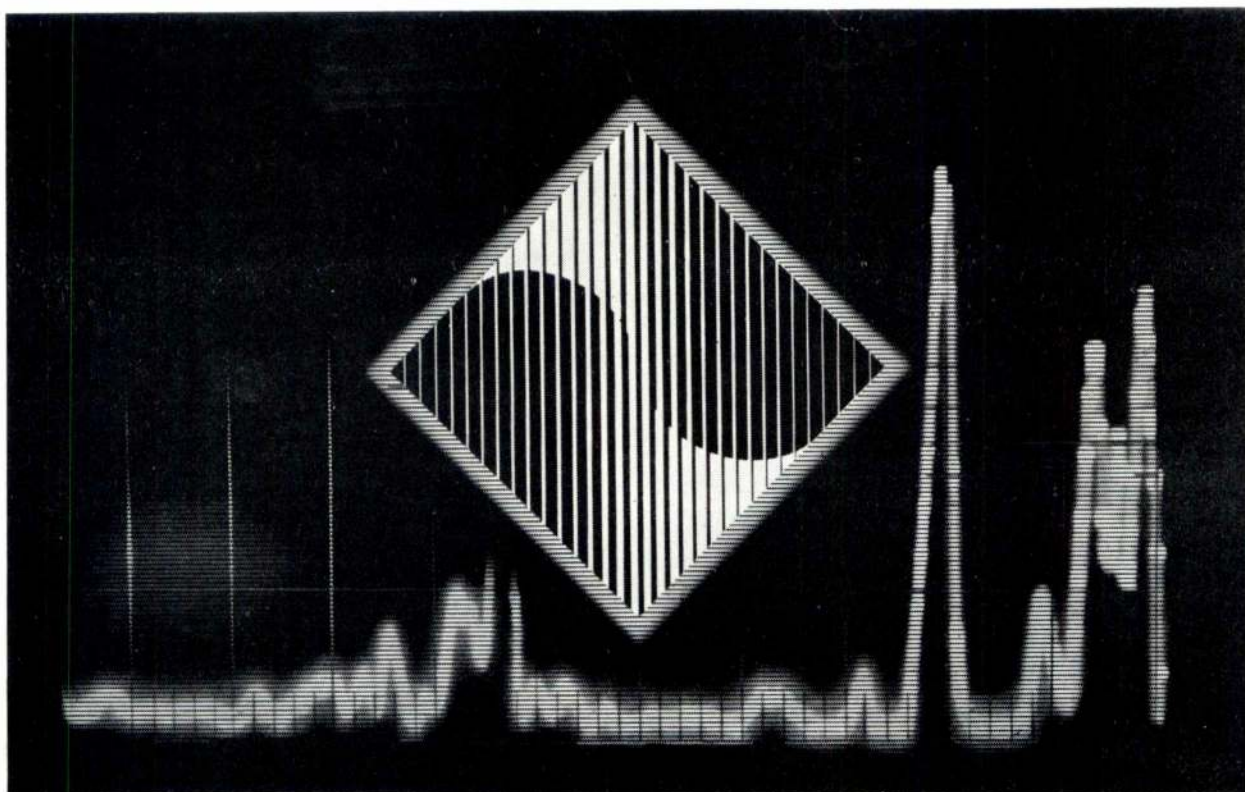
Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.

*Projecto e fabrico segundo licença de Foster
Wheeler, Co.*

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS

MAGUE S A R L

ALVERCA DO RIBATEJO - PORTUGAL



INTERKAMA 80

a maior feira profissional do mundo para técnica de medição e automatização, com congresso

PASSOS EM FRENTE PARA CADA RAMO

Quase não existe outra tecnologia que tenha chegado a uma tal velocidade de progresso como a técnica de medição e automatização. Quase não há outra tecnologia que tenha trazido tantas possibilidades de melhoramento a diversos ramos, tantas possibilidades de racionalização, tantas ideias para mais rentabilidade, segurança e precisão, como a oferta da INTERKAMA: Medir, comandar, controlar, automatizar — "hardware" e "software" mais perfeitos.

Os sistemas, os aparelhos, o "know-how", todas as sugestões que vai encontrar na INTERKAMA, transformarão o seu ramo. Porque a revolução da micro-electrónica também vai forçar a sua produção à ser revolucionariamente melhor. Microprocessadores e componentes acumuladores, altamente integrados, novos sensores e tecnologias de imagem possibilitam modernas soluções de sistemas e oferecem, a todas as empresas viradas para inovações, possibilidades para projectos de produtos e de produção.

Não venha só à INTERKAMA. Vale a pena trazer a sua gerência técnica e comercial. Dê passos em frente com a sua equipa inteira, porque a INTERKAMA é progresso para o seu e todos os ramos.

Düsseldorf, 9-15/10/1980
Congresso: 8-9/10 — Repetição 13-14/10

Düsseldorfer Messgesellschaft mbH — NOWEA —
Postfach 32 02 03 • Messgelände • 4000 Düsseldorf 30
Telefon: (02 11) 45 60-1 • Telex: 8 58 48 53 mes d

Mais informações e venda de bilhetes de ingresso:
Representante das Feiras Internacionais de Düsseldorf:
Walter & Cia., Lda., Largo de Andaluz 15, 3.º Dt.º -4, 1000 LISBOA,
Telefones: 53 24 23 / 55 62 54, telex: 12784 walter p.

que termopares directamente ligados às espiras a ensaiar perturbavam apreciavelmente a uniformidade de temperatura da mola.

Ao extremo inferior das molas foi dada a forma de gancho, com vista a se poderem suspender pesos cilíndricos de chumbo. Assim, com dois pesos de grandezas convenientemente escolhidas, cada ensaio permitia obter 16 curvas de fluência em dois intervalos de tensão parcialmente sobrepostos.

Mediu-se o diâmetro externo de cada espira e a distância entre duas espiras com um catetómetro, o qual permitia que cada medição fosse feita com um desvio padrão de 0,05 mm. O diâmetro médio da espira foi obtido subtraindo ao diâmetro externo o diâmetro médio do fio medido com um micrómetro antes de fabricar as molas.

Os ensaios eram então iniciados aumentando rapidamente a corrente eléctrica até se atingir a temperatura desejada. O catetómetro acima referido serviu também para medir a distância entre as espiras ao fim de diversos intervalos de tempo.

3 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios foram efectuados a 485, 544, 573, 600 e 660 C, fornecendo cada um 16 curvas de fluência para tensões máximas variando entre 7,4 e 131,4 N/mm², tendo-se seleccionado intervalos de tensão para os quais as velocidades mínimas de deformação fossem da ordem dos 10⁻⁹ — 10⁻⁸ s⁻¹.

A vantagem da utilização de molas cónicas helicoidais na obtenção de dados sobre a fluência de materiais, sobretudo a baixas tensões, é evidente considerando que os cinco ensaios efectuados, cada um com duas molas de oito espiras cada, corresponde de facto a 80 ensaios de fluência. Isto é, enquanto efectuados isoladamente estes 80 ensaios durariam um total de cerca de 2,1 anos, os cinco ensaios efectivamente realizados tiveram uma duração total não superior a 1,6 meses.

Além disso ensaios uniaxiais com provetes cilíndricos ou com fios, utilizando os mesmos meios de determinação do alongamento, levariam à utilização de comprimentos de prova de cerca de 80 cm para obter resultados semelhantes aos de cada uma das espiras no mesmo período de tempo. Ou, utilizando comprimentos de prova mais adequados como seja o comprimento médio de cada espira (~ 50 mm), o tempo necessário para obter a mesma velocidade de deformação com a mesma precisão seria cerca de 16,87 vezes maior do que no caso de uma espira. Isto é, resultados equivalentes só poderiam ter sido obtidos depois de um tempo de ensaio total de cerca de 35 anos, valor este a comparar com o de 1,6 meses que efectivamente demorou a realizar todos os ensaios.

Todas as curvas obtidas foram ajustadas à expressão

$$\epsilon = \epsilon_0 + \epsilon_t (1 - e^{-rt}) + kt, \quad (2)$$

tal como se vê na Fig. 2 para uma mola ensaiada a 600 C, em que as curvas são traçadas pelo computador depois de calculados os parâmetros ϵ_0 , ϵ_t , r e k pelo método

dos mínimos quadrados. Na equação (2) t é o tempo de ensaio.

Os transientes obtidos são várias ordens de grandeza superiores aos que se poderiam prever a partir dos efeitos de uma redistribuição de tensões durante os estágios iniciais da deformação. Tal como Crossland et al. [2] concluíram, também aqui estes transientes devem ser considerados como o efeito directo e real de um mecanismo de deformação não relacionado com a redistribuição de tensões nos momentos iniciais do ensaio.

Analisa-se aqui apenas o efeito da temperatura e da tensão no valor da velocidade de deformação mínima k . O melhor ajustamento das curvas de $k(\sigma)$, para cada temperatura, à função

$$k = k_0 \sigma^n,$$

onde k_0 depende da temperatura, revela que n varia em torno de 2 de forma não relacionada com a temperatura. O valor médio dos valores de n obtidos é igual a 2,02.

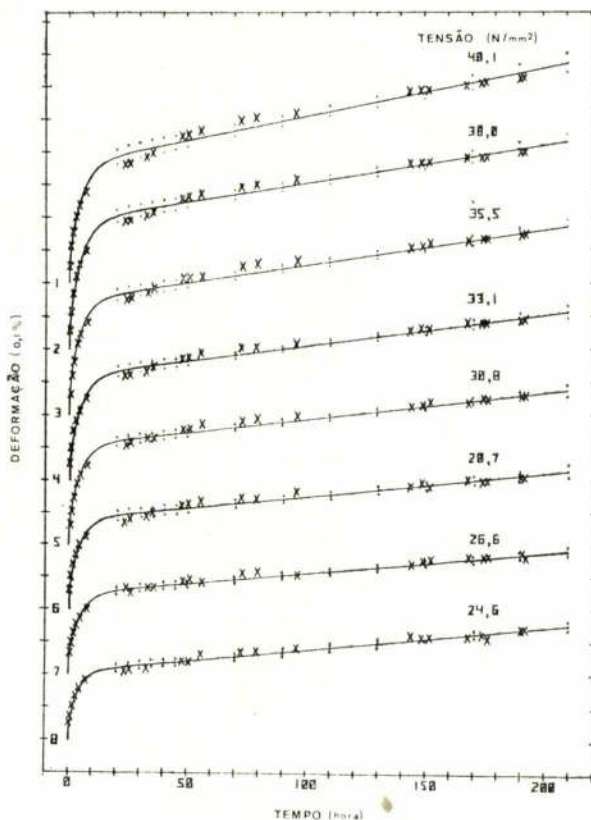


FIG. 2

Curvas de fluência relativas a 8 espiras de uma mola ensaiada a 600 C. Ajustamento aos pontos experimentais (X) feito pelo método dos mínimos quadrados. Intervalo de 95 % de confiança

Assim, fazendo $n=2$ para todas as temperaturas, obtém-se para cada temperatura um valor de k_0 o que permite representar $\log k_0$ em função de $1/T$ admitindo que:

$$k_0 = A \exp (-\Delta H/RT)$$

tal como se apresenta na Fig. 3. O valor de entalpia de activação aparente obtido pelo método dos mínimos quadrados é de $1,83 \times 10^5 \pm 0,26 \times 10^5$ J/mole ($43,7 \pm 6,2$ kcal/mole), o que representa cerca de 60 % da entalpia de activação para a difusão.

Admitindo pois que n não depende da temperatura, neutralizando o efeito da temperatura através da razão k/k_0 , pôde obter-se o gráfico da Fig. 4 onde o coeficiente angular da recta é $n = 1,998$ com um desvio standard de 0,014.

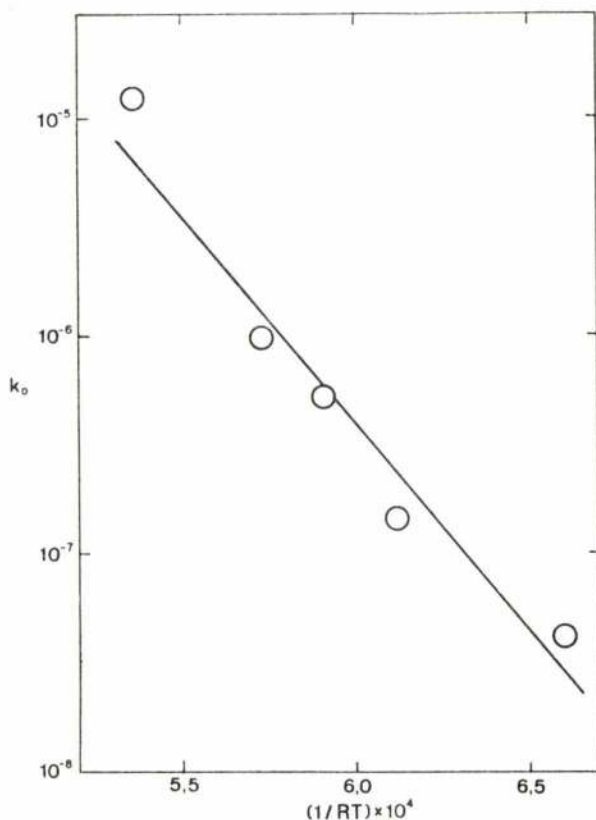


FIG. 3

Representação de k_0 (%/hora \times mm²/N) em função de $1/RT$ ($R=2$ cal/mole e T em K)

Os regimes de fluência para os quais o expoente n é pequeno ($n=1$) quando a temperatura é alta ou a tensão é baixa costumam ser explicados por mecanismos onde a difusão intracristalina (Nabarro-Herring) ou no limite de grão (Coble) controlam o processo. Os resultados obtidos nesta investigação revelam que, apesar da entalpia de activação aparente do mecanismo que parece controlar a deformação ser da ordem de 60 % da energia para a difusão própria, isto é, ter um valor aproximadamente igual ao da entalpia de activação para a difusão nos limites de grão, o valor de n que melhor se ajusta à descrição do efeito da tensão na velocidade de deformação é 2 para um intervalo de tensões em que o valor mais alto é cerca de 17 vezes o valor mais baixo.

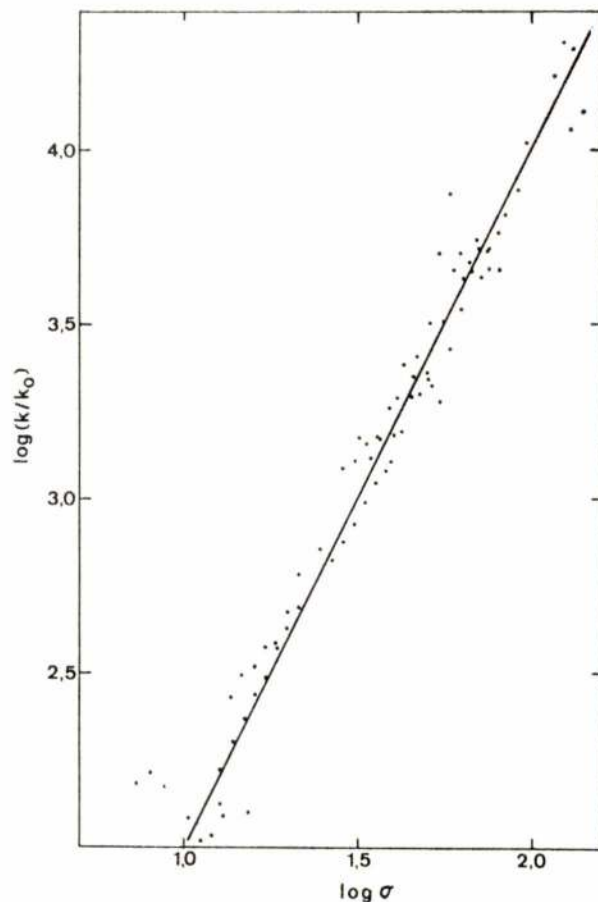


FIG. 4

Efeito da tensão (N/mm²) no valor de k/k_0 (N²/mm⁴). Cada ponto corresponde a uma espira e todos os valores obtidos para as 5 molas ensaiadas estão representados

Um modelo que prevê os efeitos da temperatura e da tensão aplicada, tal como verificados para o aço de 2 1/4 Cr — 1 Mo aqui estudado, foi proposto por Mukherjee [4]; neste modelo a deformação resulta de escorregamento nos limites de grão com acomodação por movimentação de deslocações. A velocidade de deformação exprime-se de acordo com a equação

$$\dot{\epsilon} = \frac{D_g G b}{RT} \frac{w}{b} \left(\frac{\sigma}{G} \right)^2 \left(\frac{b}{d} \right)^2$$

onde D_g é o coeficiente de difusão nos limites de grão, G é o módulo de Young, b é o vector de Burgers, w é a espessura de limite de grão ($w/b \simeq 2$), σ é a tensão normal aplicada e d é o diâmetro médio do grão.

A estrutura do aço é a de uma bainite revenida em que o tamanho de grão da austenite resultante do tratamento de austenitização é de cerca de 50 μ m e os limites de grão da ferrite resultante estão espaçados em média de 30 μ m. Introduzindo o valor da entalpia de activação aparente obtido nesta investigação na expres-

são de D_g , para 817 K, $\sigma = 84,5 \text{ N/mm}^2$ e um diâmetro médio da ferrite $30 \mu\text{m}$ o valor de $\dot{\epsilon}$ que se obtém é de $2,71 \times 10^{-4} \text{ \%}/\text{h}$ que pode ser comparado com o valor experimentalmente obtido de $9,37 \times 10^{-4} \text{ \%}/\text{h}$ para a espira ensaiada naquelas condições. Assim, embora os resultados experimentais estejam de acordo com as previsões teóricas deste mecanismo no que diz respeito aos efeitos da tensão e da temperatura, os valores de velocidade de deformação obtidos por cálculo são sensivelmente inferiores aos experimentais. Uma análise do efeito da tensão e da temperatura nos parâmetros relativos ao transiente ϵ_t e r da eq. (2), a apresentar noutra local [5], poderá permitir uma avaliação mais documentada do mecanismo responsável pela deformação do aço de 2 1/4 % Cr — 1 % Mo nas condições em que foi efectuada nesta investigação.

4 — CONCLUSÕES

- 1 — A utilização de molas cónicas helicoidais permite efectuar ensaios de fluência a velocidades da ordem de 10^{-9} — 10^{-8} s^{-1} em tempos relativamente curtos, além de, simultaneamente, fornecer dados sobre o efeito de diversas tensões na velocidade de deformação.
- 2 — O aço de 2 1/4 % Cr — 1 % Mo ensaiado sob a forma de mola revelou, para tensões entre 7,4 e $131,4 \text{ N/mm}^2$ e temperaturas entre 485 e 660 C, um comportamento à fluência em que a

velocidade de deformação mínima obedece à seguinte expressão:

$$\dot{\epsilon}_{\min} = A \sigma^2 \exp\left(-\frac{\Delta H}{RT}\right)$$

onde $\Delta H = 1,83 \times 10^5 \text{ J/mole}$ se aproxima do valor previsto para a entalpia de activação para a difusão nos limites de grão.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. G. W. Greenwood pela atribuição ao autor de uma bolsa para investigação (Research Fellowship) e pelas sugestões e incentivos que permitiram realizar este trabalho no Departamento de Metalurgia da Universidade de Sheffield.

REFERÊNCIAS

- [1] Burton, B e Greenwood, G. W., 1970, *Metal Sci. J.*, **4**, 215-8.
- [2] Grossland, I. G., Jones, R. B. e Lewthwaite, G. W., 1973 *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **6**, 1040.
- [3] Timoshenko, S., *Resistencia de Materiales*, Espasa-Calpe, S. A., Madrid, 1957.
- [4] Mukherjee, A. K., 1971, *Mater. Sci. and Eng.* **8**, 83.
- [5] Carvalhinhos, H., em preparação.

NOTICIÁRIO

(Continuação da pág. 304)

WORKSHOP SOBRE PROJECTO E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS HÍDRICOS (26/5/80 - 4/6/80)

No âmbito das Linhas de Investigação sobre «Gestão de Recursos Hídricos» e sobre «Investigação Operacional do Centro de Sistemas Urbanos e Regionais (CESUR) da Universidade Técnica de Lisboa» realiza-se este WORKSHOP em que se estudarão métodos modernos para a concepção e o dimensionamento de sistemas hídricos podendo os participantes trabalhar sobre modelos implementados em meios computacionais diversos. Este curso surge na sequência do NATO ADVANCED INSTITUTE sobre SYSTEMS ANALYSIS and RESERVOIRS MANAGEMENT realizado em Coimbra por este Centro em 1979 e conta com os seguintes docentes:

DEREK JAEMISON — DIRECTOR DA THAMES WATER (Londres)
 LUIS VALADARES TAVARES — PROF. CAT. DO IST e membro do CESUR
 GILES W. PHILLIPS — TÉCNICO SUPERIOR DA THAMES WATER (Londres)
 J. EVARISTO DA SILVA — ASS. DO IST

O custo das propinas é de Esc.: 12 000\$00 e este curso também pode ser utilizado para melhorar a formação de licenciados que pretendam vir a frequentar o curso de Mestrado em Investigação Operacional e Engenharia de Sistemas que se iniciará provavelmente em Novembro deste ano.

Os participantes serão seleccionados com base nas inscrições provisórias enviadas até ao dia 16-5-80 (com curriculum-vitae) para:

CESUR — IST — Av. Rovisco Pais — 1000 LISBOA — Telef. 88 29 92.

INQUÉRITO DA CIP À INDÚSTRIA: MELHORES EXPECTATIVAS

Nos últimos dois meses de 1979, a conjuntura industrial terá registado uma ligeira melhoria quanto à tendência do mercado interno e à situação financeira corrente, segundo as respostas do inquérito que a CIP lançou aos industriais no princípio de Janeiro. Isto, muito embora se tenha mantido o clima geral de estacionariedade, quer no mercado interno quer no externo, que a CIP diz haver caracterizado todo o ano de 1979, condicionado ainda pelo «adiamento da aplicação de medidas fundamentais, o acumular de problemas decorrentes de situações financeiras difíceis, das dificuldades de aprovisionamento, das pressões altistas nos custos de produção da fraca produtividade, a que se adiciona uma política de crédito de pendor contraccionista contra-indicada para o desenvolvimento das actividades produtivas».

Quanto às perspectivas para o curto prazo, os industriais estão menos pessimistas, o que a CIP não estranha «face à evolução política recente que aponta inequivocamente em termos programáticos para o fomento das actividades produtivas privadas».

Indústria transformadora: estagnação

A nível das indústrias transformadoras, os últimos dois meses de 1979 assistiram, segundo os empresários inquiridos, a uma estabilização na actividade. O volume de facturação e a utilização da capacidade produtiva não registaram alterações sensíveis, bem como a procura continuou a caracterizar-se por uma estagnação como revela a análise da carteira de encomendas.

Das empresas inquiridas, 28 % consideram ser «má» a situação financeira, principalmente em resultado de prejuízos acumulados. Quanto às condições de aprovisionamento, 35 % das respostas caracterizam-nas «abaixo do normal», devido à escassez de materiais no mercado (63 % daquelas respostas) e a dificuldades na obtenção de crédito (36 %). 99 % dos empresários afirmam a tendência para subida dos custos de produção, em consequência dos preços das matérias-primas (92 %), dos encargos com pessoal (84 %) e do aumento dos custos de combustíveis (76 %).

Quanto às expectativas para o futuro próximo, 36 % das respostas prevê que não se altere o volume de vendas, 60 % espera estagnação na tendência de encomendas (11 % consideram essa tendência decrescente) e 73 % prevê uma igual utilização do potencial produtivo.

Extractivas: alguns sinais positivos

No que toca às indústrias extractivas, e não obstante a situação de crise, registaram-se sinais positivos durante o bimestre Novembro/Dezembro. Assim, notou-se uma «franca recuperação» da tendência do mercado externo, bem como significativa melhoria no mercado interno. Nenhuma empresa acusou diminuição da facturação (11 % no bimestre anterior) e 67 % das respostas indicavam a total utilização da sua capacidade de produção (contra 56 % no bimestre anterior). Em consequência 45 % das empresas consideraram «normalizada» e 22 % «boa» a sua situação financeira corrente. Quanto aos «stocks» de produtos acabados, a situação é «normal» para 63 % dos inquiridos.

No entanto, 89 % das respostas revelam a continuação de graves estrangulamentos na exploração no que se refere à produtividade, à escassez de matérias-primas e aos custos de produção.

Construção civil: crise continua

Na construção civil, 78 % das empresas consideram o seu mercado tendencialmente paralisado (contra 58 % no bimestre anterior), em resultado da estagnação na procura interna.

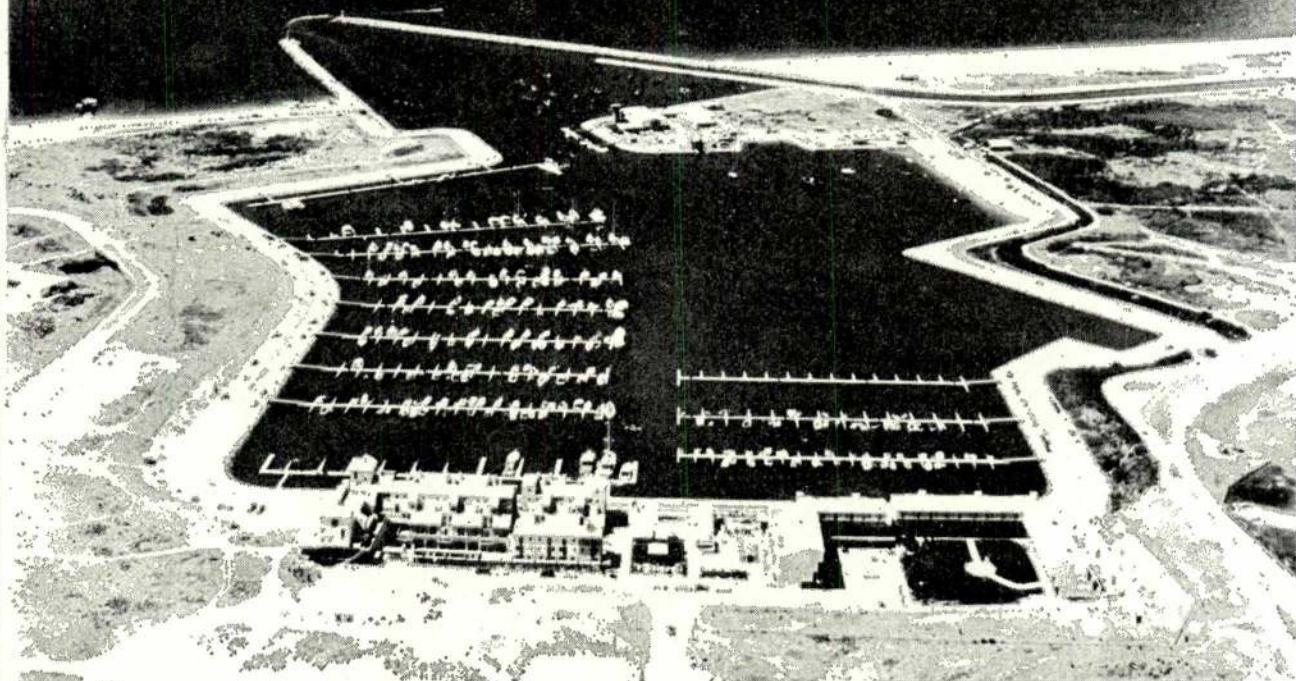
O nível de actividade continua assim muito baixo, com 69 % de respostas acusando estagnação nas vendas e 33 % um fraco nível de utilização da capacidade produtiva. Para 22 % das empresas, existe dificuldade na venda de construções já efectuadas e 23 % revelam uma carteira de encomendas pouco preenchida. A situação financeira corrente normalizou para uma parcela de empresas ligeiramente superior em relação ao período anterior, mas persiste uma elevada percentagem que a considera «má», sobretudo devido a «maiores exigências dos fornecedores» e ao alargamento dos prazos de recebimento.

Dos construtores inquiridos, 54 % consideram preocupante a situação de aprovisionamento dos materiais de construção, manifestando ainda a tendência de aumento dos custos de produção. No que toca ao balanço do ano de 1979, o inquérito da CIP salienta a descida da procura, quer nas obras públicas, devido às restrições orçamentais, quer na construção civil, e mais concretamente na construção de habitações para venda, em resultado da deterioração do poder de compra e das deficientes condições de crédito para aquisição de habitação.

(Informação do «Expresso», de 15-3-80)

(Continua na pág. 328)

**Com a experiência do passado
e a tecnologia do presente
construímos o futuro**



Porto de recreio Vilamoura-Portugal

**OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS
CENTRAIS TERMOELÉCTRICAS
APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS
CIMENTARIAS
SIDERURGIAS
SILOS, TORRES E CHAMINÉS
HOTEIS E EDIFÍCIOS
PONTES E VIADUTOS
FUNDAÇÕES E GEOTECNIA**



CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, S.A.R.L.

Av. 24 de Julho, n.º 24-1200 Lisboa
telef.: 675051 • telex: 16431 CT LISB
endereço telegráfico: CONTEL-Lisboa



a "via"
mais rápida
no domínio dos
transportes
urbanos

METROPOLITANO DE LISBOA

A incidência da física no aproveitamento da energia solar*

MARIA AMÉLIA CUTILEIRO INDIAS **

RESUMO

Considerando a crise da energia como um problema inerente a todas as sociedades actuais, realça-se, nesta comunicação, a importância das formas não convencionais de energia, cujas fontes são inesgotáveis. Em vista disso, sugere-se à Sociedade Portuguesa de Física que intervenha junto do M. E. I. C., para que faça introduzir no programa de Física, do ensino secundário, um capítulo dedicado ao aproveitamento das fontes de energia não convencionais.

Apresenta-se ainda um resumo das aplicações da energia solar, conseguidas desde 1960, quer à escala nacional, quer à escala internacional, e fornecem-se algumas referências bibliográficas sobre os vários aspectos da utilização dessa forma de energia.

INTRODUÇÃO

Surgiram sérias dúvidas quanto à validade desta comunicação numa sociedade de Física; e, de início, pareceu que não caberia em nenhum dos itens designados pela S. P. F., visto que não se vinha aqui apresentar resultados de um trabalho de investigação, nem tampouco participar algum aperfeiçoamento introduzido em tecnologias industriais.

Mas visto que o ítem 5 se refere à Física na sociedade e atendendo a que um dos problemas mais graves com que se debatem as sociedades actuais é o esgotamento progressivo das fontes de energia até agora utilizadas, resolveu a autora apresentar, como comunicação, não só um resumo do que se tem feito sobre aproveitamento da energia solar, como também uma sugestão à S. P. F., para que pugne, junto do MEIC, pela introdução, nos programas do ensino secundário, de uma rubrica dedicada às possibilidades de utilização das formas de energia não convencionais (energia solar, energia eólica, energia das ondas, energia das marés e energia geotérmica).

ABSTRACT

A review of some experiments of the applications of solar energy, in several countries, is presented.

An appeal to the MEC, in Portugal, for inserting a chapter about the non conventional forms of energy in the teaching of Physics, in the Schools, is made.

References concerned the last four years are presented at the end.

A disciplina mais indicada para esse efeito deverá ser a Física, visto que é no programa desta cadeira que se estuda a Energia.

Por esta razão cabe à S. P. F. a apresentação de uma proposta ao MEIC, no sentido de incluir no programa de Física um capítulo sobre as formas não convencionais de energia.

A UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR

Seguir-se-á um breve resumo sobre o estado actual das realizações conseguidas sobre utilização da energia solar, quer a nível nacional, quer a nível internacional.

Certamente haverá muitas omissões, pois, se por um lado, não foi possível esgotar toda a numerosa bibliografia sobre o assunto, por outro existem experiências em curso que não são comunicadas para revistas científicas. Destas, só muito esporadicamente se toma conhecimento e, nesta categoria, se incluem algumas que decorrem em Portugal.

Comunicação apresentada à Sociedade Portuguesa de Física em 23/2/78.

* Manuscrito recebido para publicação em 2/3/78.

** Assistente do Instituto Universitário de Évora Bolseira do INIC, no País, no Centro de Termodinâmica Aplicada e Mecânica dos Fluidos das Universidades de Lisboa.

No entanto e embora com todas as limitações referidas, pensou a autora que não será inútil o seu trabalho, pois dele poderá resultar uma ténue visão do que já se fez em aproveitamento da energia solar e do muito que está ainda por realizar.

I — O APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR EM PORTUGAL

Em 1960 realizou-se, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, um colóquio sobre utilização da energia solar. Presentes, neste colóquio, trabalhos de bastante interesse, quer no campo da destilação solar, quer no do aquecimento solar, por meio de colectores de baixas temperaturas.

Não houve desenvolvimento, no LNEC, da actividade iniciada nessa década, acabando por se extinguir o interesse então despertado. Apenas alguns investigadores desse estabelecimento, incluindo o seu antigo director, Eng.º Manuel Rocha, continuaram a fazer parte da COMPLES (Coopération Métirranéenne pour l'Énergie Solaire). Note-se que o engenheiro Manuel Rocha foi um dos fundadores da COMPLES, em 1961.

Continuaram a surgir, no entanto, algumas iniciativas de carácter privado e dessas, só muito acidentalmente se tem conhecimento e, além disso, restringem-se ao campo do aquecimento de habitações e de piscinas, por meio de colectores solares.

As que chegaram ao conhecimento da autora são:

- 1) Vivenda, com piscina, na região de Colares, do Eng.º Laginha Serafim.
- 2) Externato de S. João de Brito, em Lisboa.
- 3) Balneários da Escola Afonso Domingues, em Lisboa.
- 4) Estalagem de S. Paulo, em Castelo de Vide.
- 5) Escola dos Salesianos em Évora.
- 6) Escola dos Salesianos em Carcavelos.

Da primeira não se possuem quaisquer elementos quanto ao seu resultado (*).

Sobre a segunda, a decorrer há 12 anos, existe a confirmação dos proprietários do colégio, de que o aquecimento das águas, nele consumidas, fica mais económico com a energia solar do que somente com a eléctrica.

Quanto à terceira, que foi visitada pela autora no início da sua instalação, em Fevereiro de 1977, continua em funcionamento e com resultados satisfatórios.

Em relação ao aquecimento da estalagem de S. Paulo, em Castelo de Vide, não obteve a autora informações recentes, embora tivesse enviado uma carta, pedindo esclarecimento, logo que teve conhecimento da existência dessa experiência.

Sobre o aquecimento das escolas Salesianas também as referências são boas. Recentemente, no Instituto Universitário de Évora, iniciaram-se ensaios sobre protótipos de colectores solares construídos no Alentejo, com o apoio de oficinas de Metalurgia.

De referir aqui, com uma menção muito especial, o oportuno trabalho do professor engenheiro J. J. Delgado Domingos, publicado na revista Técnica, n.º 437, de Dezembro de 1976, pg. 49, no qual, após considerações de muito interesse sobre as perspectivas da utilização da energia solar em Portugal, apresenta um programa de actuação, quer imediata, quer a curto e longo prazo.

II — O APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR NOUTROS PAÍSES

1) Aquecimento e arrefecimento de casas

Segundo elementos do vol. 13, n.º 2, de 1977, pg. 50, da revista «Applied Solar Energy», que é uma tradução americana da revista russa «Geliotekhnika», os países onde o investimento em dólares, nos programas científicos (solares) de aquecimento de habitações, é maior, são por ordem decrescente desses investimentos, os seguintes: Estados Unidos, Japão, Austrália, França e Rússia.

Tornar-se-ia demasiado extenso referir pormenoradamente as realizações conhecidas, em cada um desses países; por esse motivo, dar-se-á apenas um ou outro apontamento e remeter-se-á o leitor mais interessado para a lista de referências bibliográficas, publicada no final.

Assim, na Grã-Bretanha, onde o clima não prima, certamente, por excesso de insolação, existem já hotéis e piscinas que são aquecidos por meio da energia solar; e há mais de 14 anos que isto acontece!

Em França são numerosas as realizações já conseguidas, quer no campo de investimento privado, quer como produto do programa científico nacional.

Em Setembro, numa curta visita a Odeillo, ao Laboratoire d'Energétique Solaire (do C. N. R. S.), nos Pirenéus Orientais, situado a 1500 metros de altitude, verificou a autora a eficácia do aquecimento solar, num edifício de nove pisos, o do próprio Laboratório.

O método usado deve-se ao antigo director do Laboratório, Felix Trombe, hoje reformado, e consiste, essencialmente, na utilização do ar como fluido transmissor do calor recebido do sol.

As paredes viradas a sul e a ocidente estão cobertas por chapa ondulada, enegrecida, que por sua vez, é protegida com uma placa de vidro, colocada a uns centímetros de distância da chapa. No interior das habitações existem orifícios por onde penetra o ar quente, e outros, por onde sai o ar frio.

Já o processo de aquecimento utilizado nas casas solares de Odeillo, a mais antiga construída em 1967 e as três mais recentes em 1974, é ligeiramente diferente, se bem que baseado no método Trombe.

Nestas casas, as paredes expostas aos raios solares durante mais tempo, são construídas em betão, com 40 cm de espessura. Sobre o betão, pintado de cor muito escura e a uma pequena distância deste, coloca-se uma placa de vidro duplo; o ar que circula entre a pa-

(*) Posteriormente à redacção desta comunicação, foi a autora informada de que os resultados têm sido bons.

rede e o vidro é aquecido pelo sol, penetra e circula no interior das habitações. A inércia calorífica da parede de betão permite que o interior da habitação continue a receber calor, nas 12 horas seguintes ao desaparecimento do sol.

Não há neste processo aquecimento de água como no dos colectores solares, mas, segundo o autor, com quem foram trocadas impressões sobre o seu método, este resulta muito mais económico do que o anterior.

De notar, que o bloco de três habitações de 1974 foi construído por iniciativa de três investigadores do Laboratoire d'Énergétique Solaire, que o habitam, sendo um deles o próprio M. Trombe.

*
* *
*

Quanto à refrigeração das habitações, durante o verão, várias experiências estão em curso, nos países onde os verões são mais quentes.

Assim, para citar apenas um, a Rússia, cujas repúblicas da Ásia Central estão nas condições climáticas referidas, far-se-á referência à construção de 32 apartamentos, em Uzbek, onde o aquecimento durante o inverno e o arrefecimento durante o verão é conseguido por meio da energia solar.

2) Obtenção de altas temperaturas

Far-se-á referência, apenas, ao Forno Solar de Odeillo, onde decorrem ensaios de materiais refractários, ensaios metalúrgicos e onde se estudam os problemas relacionados com o funcionamento de uma mini-central eléctrica.

A obtenção das altas temperaturas é conseguida pela concentração dos raios solares num espelho parabólico, em cujo foco se chega a atingir os 3000° C. Esta temperatura é utilizada no estudo de materiais refractários (choques térmicos), em ensaios metalúrgicos (a autora teve ocasião de observar uma chapa de aço de 1 cm de espessura, com uma abertura circular produzida por fusão do aço durante 1 minuto de exposição no foco do paraboloide) e na transformação da energia solar em energia eléctrica.

Acompanhada pelo técnico que estuda, neste momento, o problema do armazenamento da energia — que é, certamente, o problema n.º 1 da central — visitou ainda a mini-central já montada no Laboratório.

Todos os estudos realizados no Laboratoire d'Énergétique Solaire, em Odeillo, fazem parte de um vasto plano de operações do C. N. R. S., que envolve realizações em vários pontos da França.

3) Outras realizações

Numerosos são os campos onde se pode utilizar essa fonte inesgotável de energia que é o Sol.

Desde a cozinha solar, estudada e desenvolvida por Tabor, em Israel até à utilização da energia solar para fazer funcionar instalações de televisão escolar, em Dakar, passando pela bombagem de água e dessalificação da água do mar, por destilação, muitas e variadas são as utilizações da energia solar.

Torna-se, pois, necessário, uma grande coordenação, à escala internacional, dos esforços dispendidos no estudo destas aplicações, de modo a permitir que os países de forte insolação, mas de fracos recursos económicos, possam beneficiar dos progressos conseguidos nos países onde são grandes os investimentos nos programas científicos de aproveitamento de energia solar.

III — ALGUMAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1) Sobre destilação solar

Solar Energy: os volumes 3 e 4 de 1973 são inteiramente dedicados a este assunto. Nos outros volumes, existem artigos, em

vol. 16, n.º 1, 1974

vol. 17, n.º 2, May. 1975

vol. 17, n.º 6, Dec. 1975

2) Sobre aquecimento e arrefecimento de habitações

Energie solaire et habitat, 1975, Pierre le Chapellier. L'Affranchi

Applied Solar Energy (tradução americana da revista russa *Geliotekhnika*): vol. 13, n.º 2, 1977.

Solar Age: vol. 2, n.º 8, Aug. 1977

Solar Energy: vol. 16, n.º 1, Aug. 1974

vol. 16, n.º 3/4, Dec. 1974

vol. 17, n.º 1, Ap. 1975

vol. 17, n.º 2, May. 1975

vol. 17, n.º 3, Jul. 1975

vol. 17, n.º 6, Dec. 1975

vol. 18, n.º 1, 1976

vol. 18, n.º 2, 1976

vol. 19, n.º 1, 1977**

vol. 19, n.º 2, 1977

vol. 19, n.º 3, 1977

vol. 19, n.º 5, 1977

vol. 19, n.º 6, 1977

3) Sobre ar condicionado

Solar Energy: vol. 16, n.º 3/4, Dec. 1974

vol. 17, n.º 3, Jul. 1975

vol. 18, n.º 2, 1976

4) Sobre o estudo e aperfeiçoamento dos colectores solares

Solar Energy: vol. 16, n.º 2, 1974

vol. 16, n.º 3/4, Dec. 1974

* Estas referências dizem apenas respeito aos últimos 4 anos.

** vol. 18, n.º 4, 1976

vol. 18, n.º 5, 1976

vol. 18, n.º 6, 1976

vol. 17, n.º 1, Apr. 1975
 vol. 17, n.º 2, May. 1975
 vol. 17, n.º 3, Jul. 1975
 vol. 17, n.º 4, Sept. 1975
 vol. 17, n.º 5, Nove. 1975
 vol. 17, n.º 6, Dec. 1975
 vol. 18, n.º 1, 1976
 vol. 18, n.º 2, 1976
 vol. 18, n.º 3, 1976
 vol. 19, n.º 1, 1977
 vol. 19, n.º 2, 1977
 vol. 19, n.º 3, 1977
 vol. 19, n.º 3, 1977
 vol. 19, n.º 5, 1977
 vol. 20, n.º 1, 1978

Trans. of the Asme — Journal of engineering for power:

vol. 96, A, Apr. 1974

Técnica — Revista de Engenharia, n.º 444, Nov. 1977.

5) Sobre os problemas do armazenamento da energia solar

Solar Energy *: vol. 19, n.º 6, 1977
 (vários artigos dedicados ao mesmo tema)
 vol. 19, n.º 4 e n.º 5, 1977
 vol. 20, n.º 1, 1978

M. Dubois. 1977. Energie Solaire et Stockage d'Energie.

Librairie Science et Vie.

6) Sobre células fotovoltaicas

Solar Energy: vol. 17, n.º 3, Jul. 1975
 vol. 17, n.º 4, Sept. 1975

vol. 17, n.º 6, Dec. 1975
 vol. 18, n.º 3, 1976
 vol. 19, n.º 1, 1977
 vol. 19, n.º 2, 1977
 vol. 19, n.º 3, 1977
 vol. 19, n.º 4, 1977
 vol. 19, n.º 5, 1977

Técnica — Revista de Engenharia, n.º 437, 1976.

Técnica — Revista de Engenharia, n.º 442, Jul. 1977.

7) Sobre energia fototérmica e superfícies seletivas

Applied Physics Letters, vol. 26, n.º 10, 15 May, 1975.

Applied Energy, vol. 3, n.º 4, Oct. 1977.

Journal of Vacuum Science and Technology: vol. 11, n.º 4, Jul./Aug. 1974; vol. 12, n.º 1, 1975; vol. 13, n.º 1, Jan./Feb. 1976; vol. 13, n.º 2, Mar./Apr. 1976.

**

Optics News, Summer, 1976.

Solar Energy: vol. 19, n.º 3, 1977

vol. 19, n.º 4, 1977

Sun World, n.º 4, May. 1977.

Thin solid films, vol. 45, 1977.

8) Sobre política da energia

Energy Policy, vol. 5, n.º 3, Sept. 1977

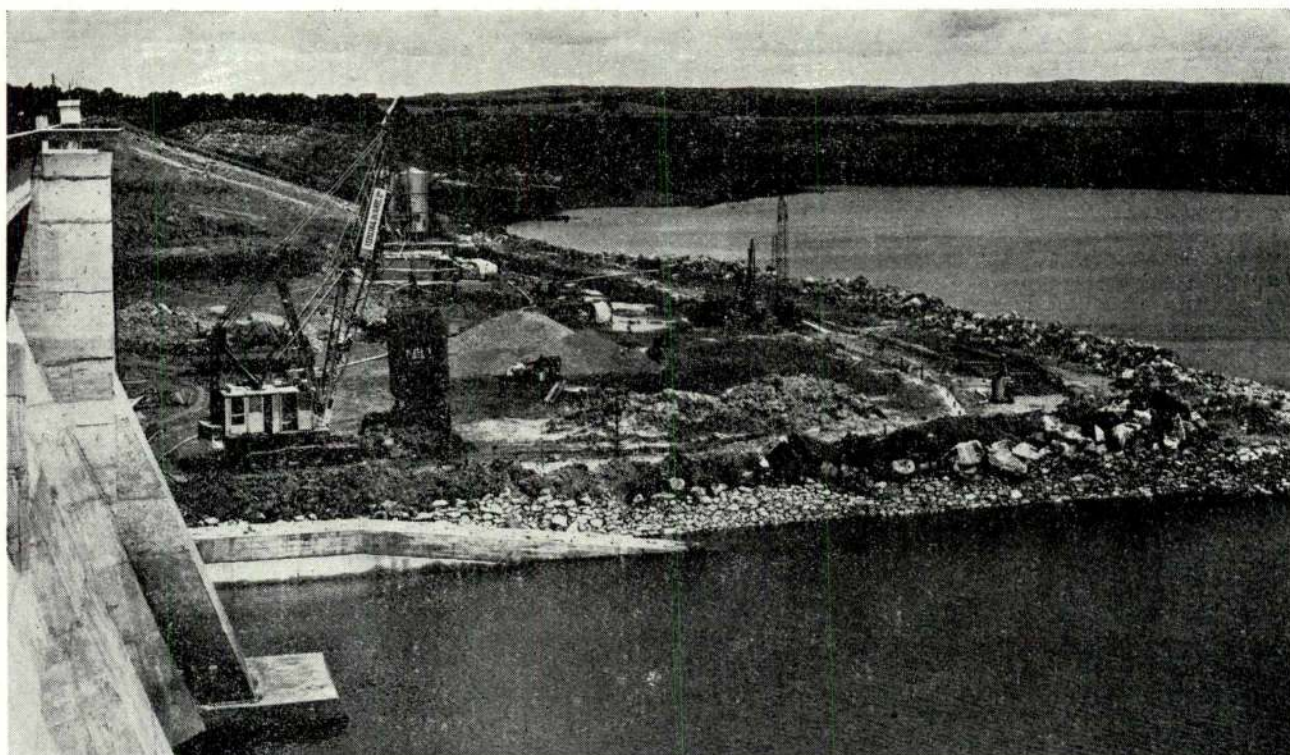
Solar Energy, vol. 18, n.º 4, 1976

Técnica, n.º 437, 1976.

American Gas Association Monthly, vol. 59, n.º 11, Nov. 1977.

* Vol. 18, n.º 4, 1976.

** Metal Finishing, vol. 12, n.º 3, 1974.



TRABALHOS DE REPARAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DA BARRAGEM DO ROXO

Tratamento do talude de contenção da albufeira, no encontro da margem direita, do lado montante, de forma a permitir a escavação com cerca de 23 m. de profundidade para o prolongamento da barragem gravidade.

Natureza dos trabalhos realizados:

- Cortina plástica de estanqueidade, moldada no solo.
- Sondagens — amostragem integral.
- Furação para injeções — ensaios tipo Lugeon.
- Injeções para impermeabilização do maciço rochoso no prolongamento da cortina plástica.
- Instalação de piezómetros e inclinómetros.
- Drenagem de maciço rochoso.



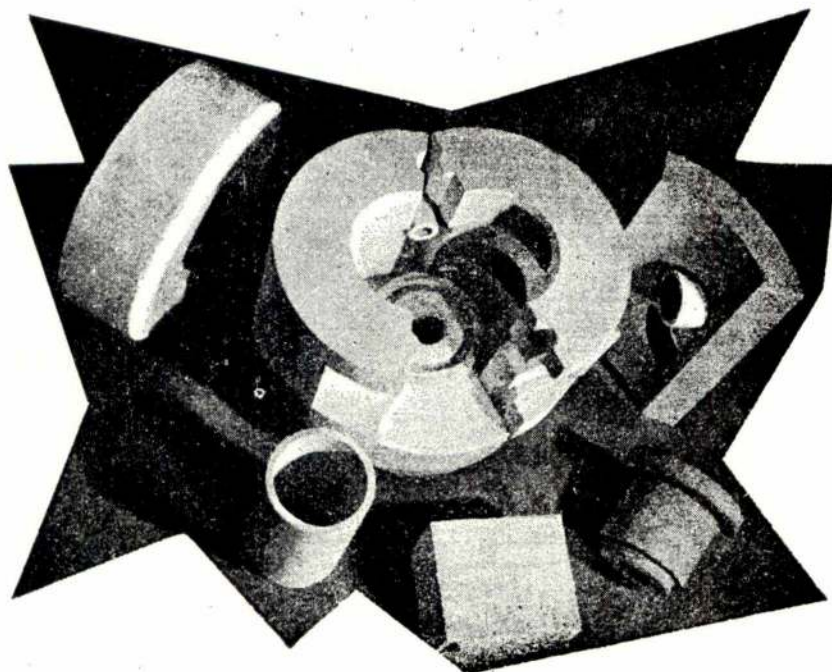
TEIXEIRA DUARTE, LDA.

SEDE:

Av. da República, 42 / Telef. 73 30 86 / Telex 18548 TEDEX P / 1094 LISBOA Codex

a técnica moderna emprega

BETÕES REFRACTÁRIOS



à base dos cimentos

FONDU LAFARGE

e
SECAR 250

porque são

práticos
eficientes
económicos

REFRACTÁRIOS ATÉ 1800° C

REFRACTÁRIOS ISOLANTES ATÉ 1700° C

Os nossos serviços técnicos, especializados, estão à vossa inteira disposição para estudar, sem qualquer encargo da vossa parte, a adaptação dos BETÕES REFRACTÁRIOS a todos os vossos problemas

AGUIAR & MELLO L.^{DA}
P. do Município, 13-1.º — LISBOA — Tel. 32 11 51/2