



Jean Rosmorduc (ed.), *Histoire de la physique. Tome 1 — La formation de la physique classique*, Lavoisier, Paris 1987, brochado, 13,5 × 21 cm, 328 pág., 66 fig., ISBN 2.85206.382.4, preço 158 FF.

Integrado na «Pequena Coleção de História das Ciências», este livro sintetiza os passos fulcrais da ciência desde a Antiguidade clássica até à física da revolução industrial, passando pelas fases da física pré-galileica, revolução de Galileu e física newtoneana, para descrever as etapas fundamentais no séc. XIX, quanto à termodinâmica, electricidade e magnetismo, óptica e constituição da matéria. Trata-se portanto de um livro dirigido ao estudo da história científica, tanto para quem se dedica a essas ciências como para aqueles que se preocupam com o conhecimento em geral. Leitura fácil e documentada em factos decisivos ao longo do tempo. ■

Condutores metálicos

Hermínio Duarte-Ramos

Prof. Dr. Eng. Elect. (FCT/UNL)

1. Especificação de materiais condutivos

A condutividade constitui a principal característica a que se deve atender na escolha dos materiais condutivos em aplicações tecnológicas. Mas existem outras propriedades importantes, inerentes à especificidade das aplicações, além de razões económicas.

O equipamento ou a instalação onde se aplica um material condutivo poderá exigir atenção especial a uma ou outra propriedade, como seja a tensão de rotura (caso das linhas aéreas de comunicações ou de transporte de energia), comportamento à corrosão (indústrias petroquímicas e instalações galvanotécnicas) ou simplesmente a flexibilidade (cabos de alumínio com múltiplos fios de alumínio duro ou em alumínio maciço no estado semi-duro). É claro que a concretização de uma propriedade especial pode prejudicar o comportamento eléctrico do material condutivo. Por exemplo, o alumínio semi-duro possui condutividade inferior ao alumínio no estado duro.

Genericamente, as características que especificam os materiais condutivos repartem-se segundo os seis critérios seguintes:

- **Propriedades eléctricas:** alta condutividade, baixo coeficiente de temperatura;
- **Propriedades mecânicas:** elevada tensão de rotura, boa elasticidade, resistência a vibrações, ausência de escorregamento nas ligações terminais;
- **Propriedades térmicas:** bom escoamento do calor, fraco amaciamento por aquecimento;
- **Propriedades químicas:** escassa tendência à corrosão, aderência ao material isolante;
- **Propriedades tecnológicas:** possibilidade de isolamento, soldabilidade, facilidade de trabalho mecânico;
- **Propriedades económicas:** baixo preço, existência de suficientes reservas de matérias-primas, possibilidade de substituição (alumínio em vez de cobre).

Na prática das aplicações em engenharia electrotécnica e electrónica a escolha dos materiais condutivos costuma ser feita entre o cobre, o alumínio e suas ligas (Quadro 1), muito embora localmente se usem outros materiais (prata, ouro ou platina).

Em qualquer caso deve-se atender a reflexões de natureza económica. Questões como as seguintes devem ser ponderadas: Pode-se substituir o cobre por alumínio? Qual o agravamento de outras despesas (com a armadura do cabo) devido ao alumínio exigir maior diâmetro que o cobre?

QUADRO 1
Características de materiais condutivos usuais

MATERIAL	COMPOSIÇÃO [%]	DENSI- DADE [g/cm ³]	CONDUTI- VIDADE [Sm/mm ²]	COEFICIENTE DE TEMPERA- TURA ENTRE 0 E 100°C [1/°C]	TENSÃO DE ROTURA [kg/mm ²]
Cobre	o mais puro	8,9	60	0,0043	—
Cu-Electrot.	99,95	8,9	54 a 58	0,00414	22
Bronze I	Cu+Mg 0,1 ou Cu+Cd 0,2 a 1	8,9	≥48	0,004	50 a 52
Bronze II	Cu+Mg 0,5 a 0,8 ou Cu+Sn 1+Cd 1	8,9	≥36	0,004	56 a 68
Bronze III	Cu+Sn 2,4 ou Cu+Sn 1,2+Zn 1,2	8,9	18	0,004	66 a 74
Alumínio	o mais puro	2,7	38	0,00467	—
Al-Electrot.	99,5	2,7	36	0,0042	12
Aldrey	Al+Mg 0,3 a 0,5+ +Si 0,5 a 0,6	2,7	30 a 38	0,0036	30 a 35
Aço	Fe	7,86	7	0,005	40 a 150

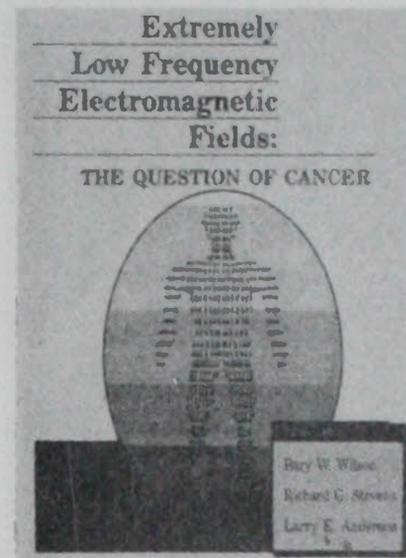
2. Dimensionamento de condutores

No dimensionamento da secção de um condutor intervêm pontos de vista técnicos e económicos antagónicos. Se o critério técnico for ditado pela máxima densidade de corrente admissível, poupa-se material mas aumenta-se a resistência e portanto elevam-se as perdas em serviço; se se preferir reduzir a energia de perdas, o condutor será mais espesso que o mínimo admissível e portanto gastar-se-á mais material no condutor.

Idealmente, a decisão deveria ser orientada pelas vantagens inerentes a uma perspectiva de conservação da Natureza, tendo em conta o estudo energético global. Mas os interesses particulares impedem a aplicação de tão nobre princípio. O exemplo mostra claramente como o engenheiro, na sua actividade sectorial, costuma ser levado a afastar-se da prática ideal, justificando-se o procedimento por interesses imediatos de competitividade perante a carência de uma política sistémica coerentemente desenvolvida.

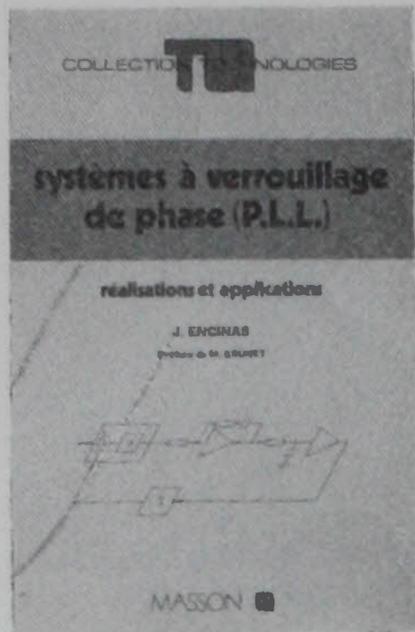
O dimensionamento da secção mínima de condutores nus faz-se tecnicamente a partir do calor desenvolvido pela corrente eléctrica, visto que nas temperaturas excessivas o material sofre amaciamento por recristalização. As intensas correntes de curto-circuito e a respectiva duração também se relacionam com a temperatura de amaciamento do material condutivo.

Estas considerações dirigem-se sobretudo ao cálculo de barramentos e de linhas aéreas. Nos cabos isolados ainda se tem de atender aos



B. W. Wilson, R. G. Stevens, L. E. Anderson,
Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields: The Question of Cancer,
Battelle, Columbus (USA),
1990, 16 × 23,5 cm, 392
pág., 101 fig., 19 qua-
dros, preço USD 57.50.

Os campos eléctricos e magnéticos podem afectar os sistemas biológicos com efeitos que ainda não se encontram devidamente apreciados. Nos últimos dez anos têm sido analisados os possíveis efeitos de campos electromagnéticos de frequências muito baixas sobre o corpo humano. Este livro trata destes bioefeitos sob um ponto de vista genérico, focando os problemas centrais que se investigam em epidemiologia e nos laboratórios: será que os campos electromagnéticos de frequência muito baixa aumentam o risco de cancro? Percebe-se pois que se trata de obra importante para quem queira ter uma visão global do meio ambiente e das tecnologias. Muito bem organizado. ■



J. Encinas, *Systèmes à verrouillage de phase (P. L. L.). Réalisations et applications*, Masson, Paris, 1990, brochado, 16 × 24 cm, 232 pág., 124 fig., ISBN 2.225.8198.6, preço 150 FF.

As aplicações do princípio dos sistemas de encravamento de fase (Phase Locked Loops) deram ao autor a ideia de publicar este livro, em resultado da sua experiência na indústria de componentes electrónicos, particularmente na realização de transistores e circuitos integrados analógicos, e na docência de cursos em escolas de engenharia. A interdisciplinaridade com os automatismos, electrónica analógica, electrotécnica e microelectrónica enriquecem o conteúdo, através da análise pela teoria dos sistemas e realizações por meio do amplificador operacional. Bom livro para estudantes e engenheiros de electrónica industrial, sobretudo pela persistente utilização das técnicas de análise frequencial. ■

materiais isolantes (papel ou polímeros), pois estes materiais não suportam temperaturas muito altas.

Enunciados tão genéricos enquadram o cálculo de circuitos eléctricos com um dado material.

3. Características do cobre

O cobre é sem dúvida o material condutivo mais usado, em consequência das suas elevadas condutividades eléctrica e térmica, boas propriedades mecânicas e resistência à corrosão, fácil fabricação de perfis tecnológicos e simples interconexão, disponibilidade natural, alto valor de reciclagem e como substância básica para a formação de uma grande variedade de ligas com fins específicos.

A **resistividade** do cobre puro a 20°C é igual a $1,679 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$, inferior à dos outros metais exceptuando a prata. De facto, à mesma temperatura, verificam-se as seguintes relações das respectivas resistividades: 104% na prata, 60% no alumínio, 25% no níquel, 17% no ferro, 16% na platina, 13% no estanho e 8% no chumbo. Sob o ponto de vista prático, houve que definir uma resistividade de referência correspondente a uma pureza standard do cobre, conhecida pela sigla IACS (International Annealed Copper Standard), que foi estabelecida em 1913 pela Comissão Electrotécnica Internacional através da resistência de $0,17421 \Omega$ em 1 m de cobre com a secção transversal de 1 mm^2 à temperatura de 20°C. Assim, a condutividade de qualquer material de cobre, dependente das impurezas contidas, costuma ser referida a esse valor normalizado, admitido como 100, falando-se então de «condutividade relativa».

A influência da temperatura na resistividade do cobre traduz-se numa variação linear de $6,78 \cdot 10^{-11} \Omega \text{ m/K}$ na gama de temperaturas entre 200 K e 400 K, ou seja, de -73°C a $+127^\circ\text{C}$. Neste domínio térmico, o **coeficiente de temperatura**, tendo em conta a expansão térmica do material, será dado por $\alpha = 1/(T-45,723)$ com a temperatura T expressa em kelvin, ou $\alpha = 1/(\theta + 227,457)$ se a temperatura θ for expressa em graus celsius. Nestas condições, o coeficiente de temperatura a 0°C será $4,396 \cdot 10^{-3}/^\circ\text{C}$ e a 20°C é $4,04 \cdot 10^{-3}/^\circ\text{C}$, para o cobre 100 % IACS a 20°C. Note-se que em geral o aquecimento altera as dimensões do condutor, pelo que o verdadeiro coeficiente de temperatura difere do valor a massa constante, mas no caso do cobre essa variação é insignificante, mantendo-se abaixo de $0,02 \cdot 10^{-3}/^\circ\text{C}$.

A **tensão de rotura** do cobre fundido varia entre 150 MN/m^2 e 170 MN/m^2 , mas posteriores operações de estiramento a quente e a frio elevam esse valor para 230 MN/m^2 no caso de material temperado, chegando ao máximo de 450 MN/m^2 em fios de cobre duro estirado. Nesta gama de esforços mecânicos, o módulo de elasticidade aumenta de 110 GN/m^2 para 130 GN/m^2 , a dureza Vickers cresce de 50 para 110-130 e a ductilidade diminui de 45-60 % para 5-20 %. A elevação da resistência mecânica com o trabalho a frio está associada a uma redução da condutividade: no cobre duro estirado a tensão de rotura τ na gama $300\text{-}450 \text{ MN/m}^2$ corresponde a uma perda de condutividade de $0,007 \tau \%$ relativamente ao cobre IACS.

As propriedades mecânicas e térmicas do cobre são alteráveis pela adição de pequenas percentagens de outros componentes, que provocam reduções da condutividade mas garantem as características requeridas em aplicações especiais.

4. Competitividade do alumínio

O cobre constitui o material condutor comercialmente mais divulgado. O enorme desenvolvimento das instalações eléctricas nas sociedades industrializadas obriga a um grande consumo de materiais condutivos. Tradicionalmente tem sido usado o cobre, mas a escassez mundial de minérios de cobre deu viabilidade económica à utilização do alumínio, a partir da passada década de 60.

A substituição do cobre pelo alumínio acentuou-se em diversas aplicações: enrolamentos de motores, barramentos para grandes potências, cabos de linhas aéreas, enrolamentos de transformadores, condutores de cabos de potência em baixa tensão e cabos locais de comunicações.

Na escolha do alumínio relativamente ao cobre haverá que pesar as suas vantagens e inconvenientes:

- A **secção** do alumínio electricamente equivalente à do cobre (mesmo aquecimento para igual intensidade de corrente) é maior em cerca de 60%, pois nessas condições $A_{Al}/A_{Cu} = \rho_{Al}/\rho_{Cu}$ (Quadro 2).
- Os condutores de alumínio electricamente equivalentes aos de cobre têm maior **diâmetro** em cerca de 1,27 vezes, devido à menor condutividade do alumínio (Quadro 2).
- Apesar do maior volume de alumínio nas secções electricamente equivalentes, o condutor tem maior **leveza** que se for de cobre, pois a respectiva massa é metade (Quadro 2) por ter uma densidade cerca de 3,5 vezes inferior (Quadro 1), o que facilita o transporte e a montagem.
- O alumínio tem pior **resistência mecânica** que o cobre (Quadro 1), obrigando muitas vezes a construções tecnológicas mais complexas.
- A **cedência** do alumínio a frio, tendendo a reduzir a secção quando submetido a esforços prolongados, exige afinação das linhas e das conexões por aperto e desaconselha ligações por parafuso.
- As **conexões** entre condutores de alumínio são mais complicadas que no cobre.
- A fácil **oxidação** do alumínio à superfície forma uma película de óxido pouco condutiva, dificultando a conexão entre condutores de alumínio, pelo que se devem usar sempre conectores de compressão, escovar previamente a superfície e colocar uma massa neutra e condutiva que evite a oxidação.
- O alumínio em contacto com o cobre e na presença de água forma uma **pilha eléctrica**, provocando maior tendência à corrosão, pelo que se usam sempre conectores de compressão e se coloca uma massa quimicamente neutra para impedir a penetração de humidade.

QUADRO 2

Condutores metálicos electricamente equivalentes aos condutores de cobre

GRANDEZA	Cu-Electrot.	Al-Electrot.	Aldrey	Zn	Fe
Secção	100	160	180	340	800
Diâmetro	100	127	135	184	284
Massa	100	50	55	265	700

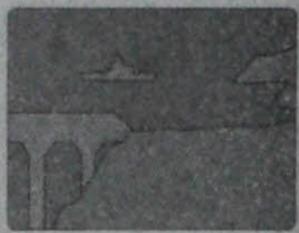


G. Segquier, F. Labrique, *Les convertisseurs de l'électronique de puissance*. Vol. 4 — *La conversion continu-alternatif*, Lavoisier, Paris, 1989, brochado, 15,5 × 24 cm, 422 pág., 259 fig., 2 quadros, ISBN 2.85206.539.8, preço 340 FF.

Obra anunciada com 4 volumes, já aqui foi analisada nos 3 tomos iniciais: conversão alterna-contínua, alterna-alterna e contínua-contínua. Este livro trata da conversão contínua-alternada, isto é, dos equipamentos chamados onduladores. Digamos que é a parte mais importante da moderna electrónica de potência. Por isso a leitura (estudo) desta obra se recomenda aos estudantes, docentes e profissionais de electrónica industrial. As assinaturas de Segquier (um «clássico» da electrónica de potência francesa) e Labrique (professor em Lisboa na UTL e director do Laboratório de electrotécnica e instrumentação da universidade católica de Louvaine) dão crédito ao excelente nível literário.

INTRODUCTION TO SENSOR SYSTEMS

S.A.
HOVANESSIAN



S. A. Hovanessian, *Introduction to Sensor Systems*, Artech House, London, 1988, cartonado, 15,5 x 23,5 cm, 316 pág., 182 fig., 38 quadros, ISBN 0.89006.271.4, preço £ 61.

Um dos problemas essenciais na vigilância de espaços, guiamento de móveis e reconhecimento de alvos consiste na recolha de informação através de sensores de microondas, sistemas de radar com ondas milimétricas, imagieria térmica electro-óptica e busca com infravermelhos ou feixes laser. Este livro ocupa-se desta abordagem, de um modo simples sobre os parâmetros característicos para o projecto de sistemas e especificação dos respectivos componentes, mostrando a limitação à distância dos sensores, bem como a sua precisão conforme a posição angular. Obra útil na engenharia moderna, sobretudo no controlo industrial e comando à distância. Para docentes, estudantes universitários e engenheiros electrotécnicos. ■

5. Características do alumínio

Hoje a indústria electrotécnica utiliza muito o alumínio e suas ligas devido às boas condutividades eléctrica e térmica, óptimas propriedades mecânicas em geral e resistência à corrosão, fácil fabricação de perfis tecnológicos, reduzida densidade e ausência de propriedades magnéticas. No entanto, a extracção do alumínio e a respectiva refinação consomem avultadas quantidades de energia, despertando a pesquisa de soluções alternativas menos gravosas para a conservação da Natureza.

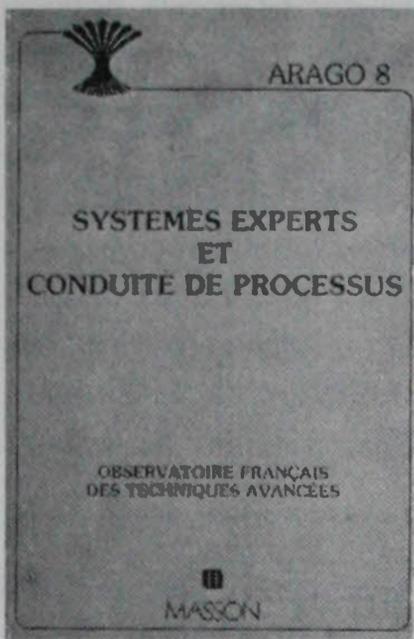
A **resistividade** do alumínio a 20° C é de $2,64 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$, superior à do cobre puro em cerca de 66 %. Todavia, considerando a mesma massa dos dois metais a condutividade do alumínio a 20° C é 2,11 vezes superior à do cobre e excede a de todos os materiais conhecidos, excepto os metais alcalinos. Nas linhas aéreas os condutores de alumínio, mesmo os reforçados com alma de aço, devem ter a máxima resistividade admissível de $2,83 \cdot 10^{-8} \Omega$ a 20° C.

O **coeficiente de temperatura** médio do alumínio puro é $\alpha = 4,2 \cdot 10^{-3} / ^\circ \text{C}$ na gama de 0° C a 100° C. Nos cabos aéreos de alumínio este coeficiente de temperatura a massa constante deve medir $4,03 \cdot 10^{-3} / ^\circ \text{C}$ a 20° C.

A **tensão de rotura** dos cabos multifilares de alumínio aplicados nas linhas aéreas deve ser 160 MN/m² até 180 MN/m² para fios entre 2,06 mm e 4,65 mm. Na tecnologia de alta tensão, a 400 kV e acima, é crescente o uso de condutores só em ligas de alumínio, com 0,3% a 1 % de silício, 0,4 % a 0,7 % de magnésio e pequenos conteúdos de ferro e manganês, que endurecem por precipitação através de aquecimento e praticamente duplicam a tensão de rotura, atingindo-se 310 MN/m² a 415 MN/m² com condutividades de 52% a 60% da do cobre IACS. As especificações da sua fabricação impõem a máxima resistividade de $3,28 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$, ou seja, 53% da condutividade IACS, um coeficiente de temperatura a massa constante de $3,6 \cdot 10^{-3} / ^\circ \text{C}$ a 20° C e uma tensão de rotura entre 295 MN/m² e 335 MN/m² conforme o diâmetro dos fios.

Observa-se ainda que o alumínio e suas ligas também se aplica em **barramentos** nus, com secções circulares ou rectangulares. A composição destas ligas é semelhante à dos condutores usados nas linhas aéreas, mas exigem-se menores cargas de rotura, que não excedam 200 MN/m², e especifica-se uma resistividade de $3,133 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$ ou menos e um coeficiente de temperatura inferior ao do alumínio ($3,6 \cdot 10^{-3} / ^\circ \text{C}$ a 20° C), de modo que a 85° C a sua capacidade de passagem da corrente é 97% da conseguida com um barramento de alumínio. Nestes barramentos de alumínio a secção é maior em 64% que a do barramento de cobre com igual resistência por unidade de comprimento (tendo porém cerca de metade do peso); para a mesma corrente de carga e igual elevação de temperatura, um barramento cilíndrico de alumínio precisa de ter o diâmetro apenas 18 % maior que no caso do cobre e terá peso 58 % inferior. Todavia o efeito pelicular limita o diâmetro admissível dos barramentos em corrente alternada e como os valores nominais em corrente alternada e corrente contínua verificam a relação $I_a/I_c = \sqrt{R_c/R_a}$, com a razão do efeito pelicular $R_a/R_c > 1$, terá de ser $I_a < I_c$ numa dada barra condutora.

As quantificações apresentadas dão uma ideia das relações tecnológicas. Falta no entanto envolver parâmetros económicos de custos dos materiais e dos respectivos processos de aplicação.



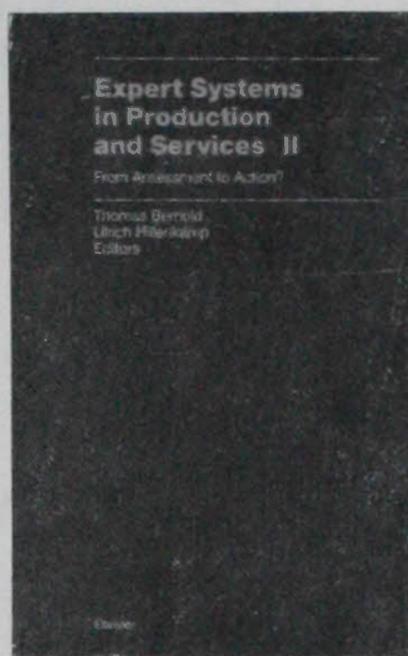
OFTA, *Systèmes experts et conduite de processus*, Masson, Paris, brochado, 16×24 cm, 136 pág., 21 fig., preço 480 FF.

A competitividade tem sido sempre uma das condições de existência das empresas. A capacidade de fabricar produtos de qualidade constante a um custo mínimo é uma componente essencial. Reduzir os gastos, melhorar a eficiência da produção e aperfeiçoar a qualidade são objetivos dos gestores industriais, através de diferentes acções, entre as quais se conta como fundamentais a automação e a condução de processos. A resposta a estas inquietações começa hoje a ser dada pelos sistemas periciais. No entanto ainda se questiona se a inteligência artificial responde eficazmente ao desafio. Daí o lançamento deste estudo estratégico. Após a precisão de certos pontos do contexto industrial e informático, os autores analisam a possibilidade de utilização dos sistemas periciais, as suas vantagens e os inconvenientes.

Sobretudo apreciada é a situação actual, para daí serem inferidas as condições de uma evolução favorável. Para isso são observados vários exemplos concretos de aplicações dos sistemas periciais, que muito enriquecem a análise. Trata-se de um documento organizado pelo Observatório Francês de Técnicas Avançadas, que se mostra útil a docentes e investigadores universitários, principalmente ao nível de mestrado, mas também para profissionais de infraestruturas tecnológicas. ■

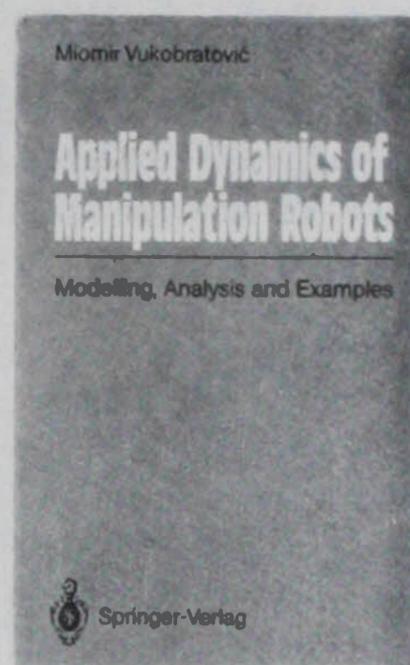
Les technologies de l'information et l'éducation. Choisir les bons logiciels, OCDE, Paris, 1989, brochado, 16 × 23 cm, 138 pág., ISBN 92.64.23287.7, preço 80 FF.

Os contínuos progressos nas tecnologias da informação têm originado uma proliferação de programas informáticos para a educação de diversos tipos e diferente qualidade. Assim, a escolha de software susceptível de ser integrado nos programas escolares exige que se disponha de informações pormenorizadas, exames críticos e avaliações fiáveis. Este relatório analisa os mecanismos realizados pelas instituições educativas para o efeito, examina os principais problemas encontrados e sublinha a necessidade de um apoio governamental e da cooperação internacional neste novo domínio. ■



T. Bernold, U. Hültenkamp (ed), *Expert Systems in Production and Services II. From Assessment to Action?* Elsevier, Amsterdam, 1989, cartonado, 15 × 23 cm, 296 pág., 38 fig., 17 quadros, ISBN 0.444.88471.8, preço USD 107.25.

Neste livro estão contidas 23 contribuições apresentadas em 1988 num simpósio internacional sobre sistemas periciais na produção e serviços, realizado em Chicago. A natureza aplicada da inteligência artificial transparece logo no título e confirma-se na leitura das abordagens acerca do impacto dos sistemas periciais (8 papéis), relatórios de progresso na avaliação e sistemas operacionais (6), formação e reciclagem de profissionais (5), implicações dos sistemas periciais e em geral da inteligência artificial (4). Naturalmente que toda esta informação interessa aos engenheiros de produção, automação e informática, em especial nos mestrados e doutoramentos. ■



M. Vukobratovic, *Applied Dynamics of Manipulation Robots. Modelling, Analysis and Examples*, Springer, Berlin, 1989, cartonado, 16 × 24 cm, 486 pág., 176 fig., ISBN 3.540.51468.6, preço DM 138.

Autor jugoslavo muito conhecido, com vários livros sobre o controlo dinâmico de robôs publicados nesta editora, todos com excelente repercussão no mercado internacional, resume neste livro a sua própria experiência, actualizando muitos dos aspectos dissecados nas obras anteriores e sistematizando as ideias fundamentais da modelagem do controlo de robôs. Trata-se de um trabalho recomendável para os investigadores de robótica. Os capítulos ocupam-se das especificações de robôs, modelos matemáticos de manipuladores, sua linearização e sensibilidade paramétrica. Nove apêndices enriquecem o estudo dos modelos cinemático e dinâmico do controlo de braços articulados. Excelente. ■