

J. PINTO PEIXOTO * F. R. DIAS AGUDO * J. TIAGO DE OLIVEIRA * J. CAMPOS FERREIRA
MARGARITA RAMALHO * A. RIBEIRO GOMES * ARMANDO POLICARPO * F. DUARTE SANTOS
J. GOMES FERREIRA * L. A. MENDES VICTOR * MANUEL LARANJEIRA * M. GOMES GUERREIRO
J. CÂNDIDO DE OLIVEIRA * ROBALO CORDEIRO * J. CELESTINO DA COSTA * A. CASTRO CALDAS
BARAHONA FERNANDES * ARANTES E OLIVEIRA * A. F. CARVALHO QUINTELA * A. BARBOSA
DE ABREU * GOUVÊA PORTELA * L. BRAGA CAMPOS * J. J. DELGADO DOMINGOS * A. F.
OLIVEIRA FALCÃO * DOMINGOS MOURA * H. CAMPOS NETO * A. LARCHER BRINCA * J. F.
QUINTINO ROGADO * M. AMARAL FORTES * M. BAPTISTA BRAZ * M. PEREIRA COUTINHO
FERNANDO ESTÁCIO * P. O. PEREIRA SANTOS * A. A. MONTEIRO ALVES * BRITALDO RODRI-
GUES * L. AIRES DE BARROS * MATOS ALVES * M. PORTUGAL FERREIRA * ANTÓNIO RIBEIRO
FRANCISCO GONÇALVES * TELLES ANTUNES * LUÍS ARCHER * J. MONTEZUMA DE CARVALHO
J. FIRMINO MESQUITA * ABÍLIO FERNANDES * J. MALATO-BELIZ * ARSÊNIO PATO DE
CARVALHO * A. XAVIER DA CUNHA * ALLEN DEBUS * J. SIMÕES REDINHA * SEBASTIÃO
J. FORMOSINHO * A. M. A. ROCHA GONSALVES * L. ALMEIDA ALVES * OLIVEIRA CABRAL
FRAÚSTO DA SILVA * JOSÉ V. PINA MARTINS * AMÉRICO COSTA RAMALHO * FERNANDO
REBELO * C. ALBERTO MEDEIROS * ILÍDIO DO AMARAL * MANUEL GARRIDO ARAÚJO
MANUEL VIEGAS GUERREIRO * A. SIMÕES LOPES * A. SOUSA FRANCO * ONÉSIMO T. ALMEIDA
JUSTINO MENDES DE ALMEIDA * FRANCISCO GAMA CAEIRO * RÔMULO DE CARVALHO

HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA EM PORTUGAL NO SÉC. XX

I VOLUME



PUBLICAÇÕES DO II CENTENÁRIO DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA
LISBOA • 1992

ENGENHARIA MECÂNICA NO SÉCULO XX

ANTÓNIO GOUVEIA PORTELA *
JOSÉ JOAQUIM DELGADO DOMINGOS *
ANTÓNIO FRANCO DE OLIVEIRA FALCÃO *
LUÍS MANUEL BRAGA DA COSTA CAMPOS *

Introdução

As introduções têm por objecto apresentar o quadro semântico onde se desenrola a descrição dos acontecimentos reais ou fictícios e também indicar ao leitor qual o posicionamento do autor no referido quadro.

O entendimento final do leitor vai ser uma complexa função do quadro geral, do relato e do referencial, porque, entre os acontecimentos reais ou fictícios e a imagem que o leitor vai deles formar, interpõe-se uma longa e ramificada árvore de «traduções» efectuada por várias personagens que nas suas intervenções, de algum modo, deformam a referida imagem.

Os relatos das testemunhas primárias, os registos desses relatos em suporte material ou na memória dos povos, as sínteses e outras formas de interpretação produzidas por autores, em geral, não testemunhas primárias do acontecimento, os órgãos divulgadores de informação são exemplos de interventores modeladores do conteúdo informativo, mesmo que tal não seja seu propósito.

O diminuto recuo histórico é igualmente um factor que pode intervir negativamente e é frequente observar que grandes vultos e/ou ideias revolucionárias só se revelaram ou foram reconhecidas pela gerações futuras e, inversamente, outras há que marcaram as sociedades coevas, para caírem no esquecimento com a passagem do tempo.

* Instituto Superior Técnico.

No domínio da divulgação verifica-se um fenómeno paralelo, os numerosos acontecimentos triviais têm um fácil acesso aos meios de comunicação, mas os factos de excepção e raros encontram barreiras à sua divulgação e incompreensão dos leitores.

O tema cometido, a evolução da Engenharia Mecânica em Portugal neste inacabado século e as projecções nos domínios da ciência, ensino e na sociedade, em geral, oferece as dificuldades acima mencionadas mas agravadas por certos comportamentos nacionais enraizados e antigos, v. g.:

- inventores, inovadores e introdutores de tecnologias e processos, pouco publicam ou registam;
- as testemunhas primárias não comunicam as suas observações sobre descobertas, desenvolvimentos ou aplicações;
- os depoimentos que vêm a lume são, em geral, digestões de acontecimentos relatados por testemunhas secundárias e onde prevalece a interpretação do respectivo autor.

Assim, e fundamentalmente o receio dos autores de:

- sendo contemporâneos dos acontecimentos e até actores no período considerado, terem enviesado a imagem apresentada;
- apesar da informação estar disponível e a ela terem tido acesso, por incapacidade ou falta de compreensão os autores não lhe imputaram o mérito devido;
- inversamente, foi conferida importância ao que a história vai esquecer.

O cenário descrito é bem diferente do conspícuo quadro de recolha de informação científica, onde a consulta de publicações consagradas em centros de documentação e bancos de dados idóneos não só garante uma sólida e fundamentada plataforma informativa como protege o investigador do omnipresente pecado de não ter sido exaustivo na sua busca.

Concomitantemente, a tarefa representou, para os autores, um rompimento com os hábitos adquiridos no exercício da sua actividade docente, na medida em que os forçou a recorrer a fontes de informação tais como entrevistas, material escrito em publicações não científicas, terreno menos habitual e pouco praticado.

Em ciência, conjectura é o vocábulo empregado para designar as declarações de cuja verdade o proponente está convencido porém não saber demonstrar.

Entende-se este documento como uma descrição conjectural de engenharia mecânica no supracitado período, porque o texto produzido constitui um depoimento construído a partir de uma escassa base factual e onde a subjectividade prepondera.

Não estaria completa esta introdução sem abordar o tema das fronteiras da Engenharia Mecânica.

Estas são difusas e têm variado com o decurso do tempo, até porque não existe um perfil referencial adoptado pacífica e universalmente para classificar domínios profissionais e respectivas aplicações.

Para apresentar a posição dos autores no que respeita a este tema são adiante descritos alguns domínios profissionais que tipificam o problema das fronteiras.

Construção naval:

- o objecto é construir um navio apropriado ao desempenho de um conjunto de funções que cobrem um largo espectro: transporte de passageiros, de carga, reboques, navios destinados a fins militares, navegando em lagos, rios ou mar aberto;
- os profissionais e especialidades a que há que recorrer não se reduzem à engenharia mecânica, embora estes sejam os maiores contribuintes;
- as escolas superiores distinguem as duas formações e tomam posições diversas quanto ao seu ensino:
 - uma opção do curso de Engenharia Mecânica;
 - um mestrado ou post-graduação, acessível aos engenheiros mecânicos;
 - um curso com condições de admissão autónomas.
- A indústria comporta-se distintamente consoante o objectivo for o projecto, as aptidões e o profissionalismo de arquitecto são postos em evidência e requiere-se essencialmente um bom curriculum profissional.
- Finalmente pode distinguir-se entre arquitectura naval e construção naval, esta repartição profissional pode ser constituída e estabelecida a distinguir entre engenheiros navais e mecânicos.

Engenharia Aeronáutica e Espacial.

Pode aplicar-se a estas profissões, *mutatis mutandis*, o que se apresentou acima.

Engenharia Metalúrgica.

Constitui um bom exemplo duma diferenciação profissional que é imposta pelo enorme interesse e importância económica das indústrias metalúrgicas.

As universidades responderam às solicitações de profissionais, criando: mestrados e doutoramentos e cursos especializados, em cujo elenco docente participam elementos de cursos diversos: mecânica, química, física, etc.

Os exemplos paradigmáticos apresentados, aconselham a conferir à Engenharia Mecânica um mais restrito e específico domínio, não abrangendo a arquitectura naval, aero-espacial ou metalúrgica.

Para esta decisão também contribuíram as seguintes reflexões:

- Apesar do progresso dos métodos de ensino e dos instrumentos coadjuvantes de investigadores, docentes e profissionais é contudo relativamente limitado o que um humano pode conhecer e dominar com proficiência.
- A ciência, os processos, as tecnologias e os instrumentos económicos que os aplicam estão em acelerada progressão.
- Os docentes e profissionais que procuram acompanhar os progressos referidos, têm de dispender um continuado esforço que consome uma parte importante do seu tempo útil e profissional.
- A forma adoptada para resolver a ininterrupta expansão do conhecimento, tem consistido em especializar o que conduz à parcelarização dos domínios de conhecimento.
- Este processo de discretização do conhecimento humano deu origem a duas formas de pensar e de actuar:

Reduccionista: que procede na senda do aprofundamento do conhecimento, produzindo especialistas.

Holista: que procura sobretudo estudar o sistema complexo e os processos de interface.

- Já passaram os tempos em que se discutia a importância relativa destas duas correntes e se aqui se recorre a estes conceitos é apenas para referir que a arquitectura, *lato sensu*, é essencialmente holista, enquanto que na engenharia mecânica uma atitude reduccionista deverá estar igualmente presente.

Conta-se com a benevolência do leitor e espera-se que se confrontado com incorrecções ou descrições de acontecimentos sobre os quais formou interpretação distinta, tenha o incómodo de as revelar e assim contribuir para uma melhor e mais acabada imagem da Engenharia Mecânica em Portugal no período em estudo.

O tema é exposto em três capítulos:

CAP. 1 — *Fundamento Científico.*

CAP. 2 — *Inovação Industrial.*

CAP. 3 — *Ensino e Investigação.*

Cada capítulo, será iniciado com uma introdução específica.

CAP. I

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Introdução

O acto científico é mais uma remota e vital prática humana:

- observar a natureza;
- mensurar grandezas.
- explicar fenómenos observados;
- construir instrumentos e objectos ajustados a finalidades bem definidas, usando os conhecimentos da natureza adquiridos.

Estas actividades seriam de consequências relativamente menores se modelos e artefactos não tivessem implicações económicas, sociais e político-militares de grande importância para as sociedades humanas, sendo decisivos nos períodos de crise onde a sobrevivência está em causa.

Dai que o conhecimento, nomeadamente o científico, configure também um recurso indispensável e insubstituível para conferir aos seus detentores e patronos o poder para alcançarem a vitória comercial, militar ou política.

No decurso deste século a Engenharia Mecânica desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento e construção de: unidades fabris químicas, metalúrgicas, têxteis, oficinas de processar materiais diversos, meios de transporte terrestres e marítimos, aero-espaciais, centrais nucleares, instrumentos científicos e tecnológicos usados na física, astronomia, biologia.

O desenvolvimento da Engenharia Mecânica pode explicar-se pela capacidade revelada em transferir e utilizar as descobertas científicas e os desenvolvimentos tecnológicos para melhorar e/ou criar artefactos novos. Veja-se:

- o desenvolvimento das tecnologias de fundição, soldadura e corte, abrasão, etc.;
- os progressos na concepção, projecto e construção de artefactos empregando metais leves, plásticos, compósitos, cerâmicos, vidros, carbono, silício, etc.;

- as aplicações nos domínios naval, aero-espacial, nuclear, e dos instrumentos e investigação de alta precisão.

Este sucesso encontra explicação:

- na diversidade de clientes a servir, que impõe ao engenheiro mecânico a necessidade de aprender a estabelecer um diálogo construtivo com interlocutores tão diversos como: matemáticos, físicos, geógrafos, biólogos, médicos, colegas das outras especialidades;
- na posição que ocupam de responsáveis pela implementação da concepção, projecto, construção e experimentação do artefacto;
- na exigência profissional de uma disponibilidade mental para aceitar a inovação, que se revela nos exemplos seguintes:
 - enorme sucesso e uso dado a computadores no cálculo e na inferência lógica, com relevante e fundamental participação na feitura de linguagens e programas;
 - participação no desenho e fabrico dos instrumentos oficiais de alta precisão;
 - intervenção na automatização de fábricas, oficinas e meios de transporte;
 - construção de componentes destinados à informática e robótica.

Fundamentos científicos da Engenharia Mecânica

A engenharia mecânica é uma actividade excepcionalmente diversificada, visto que além de ter um domínio próprio que é tudo o que pode ser animado de movimento, serve também como instrumento de projecto e de fabrico do que outras especialidades concebem. Não seria portanto possível num curto espaço indicar todos os tipos de veículos, máquinas e processos dinâmicos de que o engenheiro mecânico se ocupa, e ainda menos descrever tudo o que o engenheiro mecânico projecta e fabrica em apoio do seu colega químico, electrotécnico, de materiais ou outras especialidades. Começamos esta exposição por indicar o tipo de actividades exercidas pelo engenheiro mecânico, que servem para

motivar a lista breve dos fundamentos físicos em que se baseia, e métodos matemáticos a que recorre; como ilustração do elo que liga a actividade tecnológica do engenheiro mecânico aos fundamentos físico-matemáticos, damos a concepção de instrumentos e sensores e o projecto de veículos modernos, na esperança de que estes dois exemplos representem algo da enorme variedade de outras aplicações que omitimos.

Tipos de aplicações

O engenheiro mecânico ocupa-se da matéria em movimento, quer sejam sólidos ou fluidos, ou casos intermédios, como meios porosos e multifásicos, interfaces e interacções estrutura-fluido. Sob o ponto de vista dos sólidos o engenheiro mecânico estuda o movimento de corpos rígidos e mecanismos, as deformações, fracturas e fadigas de estruturas, e a sua utilização para conceber veículos, máquinas e aparelhos. Sob o ponto de vista dos fluidos, utiliza-os para transferir energia, servindo-se de fluidos para accionar máquinas, ou máquinas para impelir fluidos, ou promovendo processos em fluidos (como combustão) ou ainda minimizando os efeitos do deslocamento em fluidos (redução da resistência aerodinâmica) ou otimizando-o (maximizando a sustentação ou a razão sustentação-resistência). O guiamento dos veículos, o controlo das máquinas, o accionamento de mecanismos, a garantia de qualidade no fabrico, são alguns dos muitos aspectos sistémicos da engenharia mecânica. Em resumo, o engenheiro mecânico ocupa-se da utilização e controlo do movimento da matéria, e dos processos, como transferência de energia, que lhe estão associados.

A actividade do engenheiro mecânico inclui uma componente de projecto muito diversificada mesmo no âmbito estrito da engenharia mecânica. O engenheiro mecânico projecta veículos (automóveis, comboios, aviões, navios), aparelhos (guindastes, pontes rolantes, robots, escadas e tapetes rolantes, etc. ...), estruturas complexas (de máquinas, veículos, motores e aparelhos sujeitos a cargas dinâmicas), máquinas de vários tipos (hidráulicas, a vapor, eléctricas, accionadas por engrenagens), motores (de explosão, turbinas a vapor e a gás, motores de foguete, turbojactos, hélices, jactos de água), e uma grande variedade de mecanismos e accionamentos (máquinas, ferramentas, actuadores hidráulicos, pneumáticos e eléctricos). Além de fazer projecto, o engenheiro mecânico é responsável pelo ensaio, construção e fabricação em série não só do que ele projectou, mas também do que engenheiros

de outras especialidades conceberam. Uma unidade química é concebida sob o ponto de vista de processo e reacções pelo engenheiro químico, mas quem faz o projecto de tubagens, caldeiras, permutadores, accionamentos, reservatórios, etc. ... é o engenheiro mecânico. Numa central nuclear, o comportamento das partículas atómicas é estudado pelo engenheiro ou físico nuclear, mas o maior volume de instalações é ocupado pelo processo de transferência de energia, meios de arrefecimento, accionamentos de segurança, que caem sob a alçada do engenheiro mecânico. O apoio que o engenheiro mecânico dá aos seus colegas de outras especialidades estende-se do projecto e fabrico à manutenção e operação: há mais engenheiros mecânicos que químicos ou nucleares numa fábrica de produtos químicos ou numa central nuclear, ficando os primeiros no laboratório, onde poderá haver também engenheiros mecânicos. O papel do engenheiro mecânico na investigação e ensaio não é menos relevante, pois cabem-lhe de novo tarefas de concepção, construção, operação e garantia de segurança nos ensaios.

A multidisciplinaridade da tarefa do engenheiro mecânico torna-o não só o apoiante das outras engenharias, mas também o integrador de tecnologias multidisciplinares. Um veículo moderno, como um navio, avião, automóvel ou comboio, é uma síntese de várias tecnologias, algumas do foro do engenheiro mecânico (como a estrutura, propulsão, aero ou hidrodinâmica, desempenho) e outras de especialidades distintas (electrónica, energia eléctrica, materiais). O integrador final destas tecnologias acaba por ser o engenheiro mecânico, que concebe o veículo no seu conjunto, ensaia-o na sua totalidade, planeia o fabrico e montagem final, concebe o esquema de operações e manutenção, utilizando os dados parcelares fornecidos por outros. A actividade do engenheiro mecânico como o fabricante, operador e reparador, põe-no em contacto com o gestor, o economista e o planificador, ao ponto de ser frequentemente difícil separar a sua actividade da destes: o sucesso de um produto depende da combinação qualidade-preço, a eficiência da produção, da tecnologia e gestão utilizadas, e as previsões de produtos futuros, das técnicas emergentes e do seu impacto no mercado — tudo combinações de engenharia com outras disciplinas. Cabe aqui referir que a engenharia de construção naval e a engenharia aeroespacial, embora originando da engenharia mecânica, são em nações maiores ou mais desenvolvidas, especialidades independentes. Fazemos a sua inclusão por em países mais pequenos estarem normalmente associadas à engenharia mecânica.

Fundamentos físicos

O próprio nome de engenharia mecânica sugere qual o domínio da física mais relevante; no entanto, é um grave erro reduzir esta especialidade da engenharia à mecânica, visto que ela envolve em alto grau outros domínios da física, além dos mais variados aspectos da especialidade que lhe dá o nome. A engenharia usa a mecânica das partículas e corpos rígidos para estudar movimentos de mecanismos e veículos, numa primeira aproximação em que as deformações se desprezam, e as interações com fluidos se reduzem a forças e momentos totais ou distribuídos. Tais simplificações são raramente satisfatórias, e o engenheiro mecânico ocupa-se mais de sólidos elásticos, plásticos e outros modelos. O projecto de uma estrutura depende das deformações sob carga de vigas, placas, cascas, membranas, elementos maciços e ocos. Para além de cargas estáticas, como o peso, existem cargas e excitações dinâmicas, que provocam vibrações e fadiga. Há que examinar casos e modos de fractura, propagação de fendas, métodos alternativos de construção, etc. ...

Sob o ponto de vista de fluidos a variedade de problemas não é menor: otimizar a forma aerodinâmica de um avião, ou o casco de um navio, ou o invólucro de um comboio ou automóvel de alta velocidade, ou a de um foguetão ou satélite, envolve todos os tipos de escoamentos: incompressíveis e compressíveis, estes transónicos, supersónicos e hipersónicos, escoamentos potenciais, viscosos laminares e turbulentos, fenómenos de cavitação, separação, instabilidade. Quando se passa à concepção de motores de explosão, foguete ou a jacto, há que considerar a combustão, a relação entre reacções químicas, transferência de massa e calor, escoamento, tensões térmicas nas pás, cargas aeroelásticas, etc. É difícil isolar fenómenos na matéria, pois o mesmo fluido ou material transmite calor e movimento. A divisão entre sólidos e fluidos, à primeira vista evidente, esbate-se em aeroelasticidade: deformações de uma estrutura devidas a cargas aerodinâmicas, que alteram o escoamento e afectam a optimização global; a distinção entre condução de calor e escoamento em combustão turbulenta ou em voo hipersónico é igualmente impossível. A matéria é sede de todos os acoplamentos que a física na sua forma mais simples desejaria ignorar.

O engenheiro mecânico ocupa-se tanto da matéria como da energia. A termodinâmica clássica é suficiente para estudar alguns ciclos de motores e máquinas frigoríficas, e trocas de trabalho e calor, mas cedo

se passa à física estatística para chegar às propriedades constitutivas da matéria, ou à termodinâmica dos meios contínuos. Na forma mais simples, esta trata da condução, convecção e radiação de calor; as tensões térmicas, que ocorrem em muitos processos de fabrico e motores, são um exemplo de transferência de energia térmica acompanhada de deformação. Um processo de arrefecimento por fluido pode envolver, além da troca de calor, um escoamento, e na presença de reacções químicas ou combustão haverá ainda transferência de massa entre fases. Mesmo os fenómenos electromagnéticos podem ter efeitos mecânicos, quando as forças que lhes estão associadas são importantes, como é o caso da electro- e magnetoestricção, ou dos cristais piezoeléctricos. O engenheiro mecânico trabalha com todos os materiais, e mesmo que não os produza, precisa de conhecer em detalhe o seu comportamento, tarefa que transcende a engenharia química ou de materiais, e tem implicações na tecnologia de fabrico, métodos de verificação e reparação, etc. ...

Apresentou-se o engenheiro mecânico como o perito por excelência de tudo o que envolve movimentos da matéria e dos processos de difusão de massa e energia. Pensa-se usualmente que outra grande classe de fenómenos, os de propagação, é do domínio do engenheiro electrotécnico. No entanto o engenheiro mecânico tem a maior variedade e complexidade de fenómenos de propagação: vibrações em barras, membranas, placas, cascas, sólidos ocos e maciços, estruturas, ondas sísmicas, ondas sonoras em fluidos, ondas de superfície (no mar, lagos, canais e tanques), ondas gravíticas e internas na atmosfera e oceanos, ondas hidromagnéticas na ionosfera e máquinas magnetohidrodinâmicas, ondas não lineares (saltos hidráulicos ou ondas de choque em aerodinâmica), acoplamentos de ondas elásticas em sólidos em contacto com ondas sonoras em fluidos. Acresce que as equações fundamentais da mecânica são não lineares, e as distinções entre movimento, propagação e difusão são apenas aproximações com domínio de validade restrito.

Métodos matemáticos

O engenheiro mecânico tem necessidade de métodos matemáticos que são comparáveis às de todas as outras especialidades de engenharia juntas, e muitas vezes as excedem. As necessidades de métodos matemáticos do engenheiro mecânico resultam de três factores: (i) as equações fundamentais da mecânica, por exemplo, dos fluidos, são não lineares, e a sua resolução para além de casos ilustrativos requer ou

linearizações cuidadas ou computação intensiva; (ii) a função de projectar quase tudo, e da integração de veículos complexos, obriga o engenheiro mecânico ao estudo de múltiplas configurações e problemas de optimização envolvendo vários domínios, cuja resolução, mesmo aproximada, utiliza até ao limite os conhecimentos existentes; (iii) muitos fenómenos não são modelizáveis adequadamente sem incluir interacções complexas, por exemplo, o arrefecimento de uma pá de turbina, com forma aerodinâmica optimizada, num escoamento de alta velocidade, ou o funcionamento de uma câmara de combustão turbulenta. As afirmações feitas acima sobre as necessidades da engenharia mecânica como as maiores consumidoras de capacidade de cálculo matemático exemplificam-se pelo uso dos maiores computadores actuais para calcular o escoamento viscoso, não-linear supersónico e instacionário em torno de um avião completo, ou para optimizar a estrutura de uma asa tendo em conta as cargas aerodinâmicas, a constituição interna e o efeito de movimento de superfícies de controlo que reduzem os esforços. Estes últimos introduzem o aspecto de automação e controlo, que tem incidência em vários domínios da engenharia mecânica.

A resolução dos problemas de engenharia mecânica usando intensivamente computadores só é possível se existir à partida um modelo físico-matemático capaz de descrever com alguma fidelidade os fenómenos em causa. E a interpretação dos resultados de uma trituração de números em grande escala supõe um conhecimento dos fenómenos em causa que dê algum sentido a saídas de dados copiosas. Os métodos matemáticos mais simples são os elementos de construção de modelos: funções reais vectoriais para descrever trajectórias, métodos matriciais para discretizar estruturas, funções complexas para descrever os escoamentos mais simples (potenciais) e funções generalizadas para descrever cargas impulsivas e sinais. Os sistemas de equações diferenciais ordinárias descrevem o movimento de corpos rígidos, mas tudo o que envolve escoamento de fluidos, deformação de estruturas ou transferência de massa e energia, rege-se por sistemas de equações às derivadas parciais. A grande maioria desses sistemas são não-lineares e teoremas como os de existência ou unicidade não se vislumbram. A formulação dos problemas em engenharia mecânica raramente se contenta com geometria analítica simples. A geometria diferencial é necessária para estudar o movimento de partículas e corpos ao longo de curvas e sobre superfícies, e o cálculo tensorial surge nas relações constitutivas da matéria. O estudo da deformação de uma casca, por exemplo os modos

de vibração de uma fuselagem de avião, é um exemplo de geometria para estudar a forma, cálculo tensorial para as equações fundamentais, análise para estabelecer os métodos de resolução, e técnicas numéricas para chegar às funções próprias e valores próprios.

O facto de a maior parte das obras e veículos que o engenheiro mecânico estuda só poderem ser projectadas por métodos numéricos, explica o grande incentivo que este ramo da engenharia tem dado à computação, de que tem sido nas últimas duas décadas o maior utilizador. A importância de métodos analíticos em engenharia mecânica resulta da necessidade de construir um modelo fisicamente realista, e de ser capaz de estudar em detalhe alguns casos simples, antes de passar a uma computação onerosa e com resultados de interpretação difícil, se não acompanhada de compreensão dos fenómenos em causa. A resolução de modelos relevantes à engenharia mecânica conduz às áreas mais avançadas da matemática, mesmo quando se limita a geometrias simples, e deixa para a computação as configurações complexas da prática tecnológica. Optimizações não-lineares, fenómenos de caos e bifurcação, necessidade de usar funções especiais e variadas técnicas de resolver sistemas de equações às derivadas parciais com condições iniciais e aos limites, são métodos necessários para abordar problemas que surgem em engenharia mecânica, por vezes em mais de um domínio. A engenharia mecânica é rica em analogias, indicando-se a título de exemplo a mais simples: a equação de Laplace descreve o escoamento irrotacional incompreensível, as tensões planas num meio elástico, a torção de uma vigia esbelta, além dos campos gravítico e electro e magneto-estático. Estas analogias estendem-se a fenómenos de difusão e propagação, por exemplo ondas em cordas elásticas, tubos sonoros, canais hidráulicos, vibrações de barras. As analogias físicas permitem a transposição de métodos matemáticos e ajudam a sistematizar a diversidade da engenharia mecânica.

Concepção de instrumentos

Damos como exemplo da relação entre a engenharia mecânica e os seus fundamentos físico-matemáticos um tipo de aplicação que menos frequentemente se associa ao engenheiro mecânico: o instrumento ou material de laboratório. Para precisar, consideremos um espelho parabólico de grande dimensão destinado a focar a imagem de uma estrela distante. Trata-se aparentemente de um tema de óptica ou astronomia.

No entanto, a qualidade da imagem depende de o espelho ter a forma tão aproximada da parábola quanto possível, o que põe problemas de: (i) fabrico de alta precisão, e tecnologia a ele associada; (ii) deformação do espelho sob o peso próprio; (iii) efeitos de cargas como diferenças de pressão; (iv) deformações térmicas, devidas a aquecimento. Todos estes problemas recaem sobre o engenheiro mecânico. A qualidade do espelho também depende da uniformidade do revestimento; o tipo de revestimento usado pode ser trabalho de um engenheiro de materiais, mas a técnica de deposição, o controlo de qualidade, a remoção ou reparação do revestimento, a protecção contra a usura, recaem de novo sobre o engenheiro mecânico. A qualidade da observação dependerá também da precisão de apontamento do espelho; esta é determinada pelo mecanismo de apoio e deslocamento do espelho, pelo servocontrolo de estabilização, etc. ... de novo temas que caem necessária ou provavelmente sob a responsabilidade do engenheiro mecânico.

Veículos de transporte

A concepção de veículos de transporte (automóveis, comboios, barcos ou aviões) é uma das actividades que correctamente se toma como típica da engenharia mecânica (ou naval ou aeronáutica); no entanto, talvez se justifique assinalar os múltiplos aspectos da intervenção do engenheiro mecânico na concepção do veículo. O projecto parte do desempenho, isto é, as características desejadas, digamos do avião, em termos do número de passageiros a ser transportados uma certa distância a velocidade e altitudes dadas; daí há que deduzir todos os restantes requisitos: (i) forma aerodinâmica mais adequada, que é um problema de mecânica dos fluidos; (ii) tipo de propulsão mais eficiente, em geral um turbojacto de temperatura à entrada da turbina o mais elevada possível (1500 K) para pás em rotação rápida (10000 rpm); (iii) estrutura leve e resistente a cargas aerodinâmicas, turbulência e impuso de aterragem, que é um problema de mecânica de sólidos e aeroelasticidade; (iv) sistema de controlo que permita manobrar o avião, assegurar a estabilidade e minimizar as cargas estruturais, reagindo adequadamente a perturbações atmosféricas; (v) sistemas hidráulicos, pneumáticos, eléctricos usados para actuar superfícies de controlo, transferir combustível, pressurizar a cabine, etc. ... Para além destes aspectos mecânicos, há que integrar os contributos de outras especialidades, por exemplo: (i) um radar pode detectar obstáculos, mas para

os evitar é necessário o cálculo da trajectória que evite a colisão, e a transmissão de comandos ao sistema de controlo; (ii) sistemas vários de navegação permitem determinar a posição do avião sem visibilidade, mas o voo automático requer informação e comandos de pilotagem correspondentes; (iii) no caso de um avião com grande capacidade de manobra, a protecção do piloto contra acelerações excessivas pode requerer dispositivos especiais, como inclinação do assento, ou pressurização do fato. O veículo moderno é portanto um bom exemplo do engenheiro mecânico como projectista de aerodinâmica, propulsão e estruturas, e como integrador de sistemas e meios electrónicos.

O ambiente operacional do veículo, e não só a sua concepção, também ocupam o engenheiro mecânico em várias tarefas tais como: (i) dentro da tecnologia disponível, qual o tipo de veículo com mercado mais significativo?; (ii) quais as técnicas de ensaio e validação mais adequadas para a certificação de cada sistema e do veículo completo?; (iii) que simuladores e bancos de ensaios devem ser construídos e que testes realizados antes de congelar a configuração final de produção?; (iv) quais as técnicas de produção de cada componente, a repartição de tarefas por sub-contratantes e o método de montagem final?; (v) que controlo de qualidade fazer, e que garantias de qualidade e apoio dar aos utilizadores?; (vi) como fazer o uso mais eficaz do veículo em termos de rentabilidade e satisfação das necessidades?; (vii) como planear a manutenção e garantir a segurança de operação?; (viii) que novas versões devem ser desenvolvidas por forma a explorar as margens existentes no projecto e alargar o mercado?; (ix) quando deve parar o desenvolvimento de novas versões do veículo existente, a favor de um projecto inteiramente novo? Nenhuma destas questões pode ser respondida sem a intervenção do engenheiro mecânico, que fornece os elementos essenciais de decisão.

CAP. II

INOVAÇÃO INDUSTRIAL

Introdução

As limitações do homem para abarcar domínios de conhecimento muito vastos, conduz ao recurso ao método de particionamento do referido domínio e:

- estudar cada partição isoladamente, considerando que os efeitos do resto do universo são ou desprezíveis ou susceptíveis de descrição simplificada;
- quanto à partição do tempo, nomeadamente o histórico, é frequente esquecer o passado remoto na esperança, aliás infundada, de que já não influencia os resultados.

Um outro exemplo destes procedimentos simplificativos é o particionamento da actividade humana em sociedade, v. g.: educacional, científica, saúde, económica, militar, etc., e esperar, com fórmulas simples, descrever as interações entre as partes.

Porém Credos, Política, Ciência, Educação, Saúde, Justiça, Economia, Defesa, constituem aspectos de uma realidade única e porque a descrição das interações entre as partes implica o uso de modelos cíclicos, nem sequer tem sentido procurar descrever a antinomia causa/efeito, uma vez que todas as partes interventoras podem desempenhar qualquer das duas funções referidas.

A história mostra que os povos passam por períodos áureos onde tudo parece disponível e ao seu alcance, porque há recursos políticos, económicos, de defesa, artes e ciências, onde a criatividade e a capacidade de inovação subjacentes encontram ambiente favorável para desabrocharem e atingirem a plenitude.

Mas, outros há, onde ou se verificam carências de certos tipos de recursos resultantes de perdas de posições políticas, militares e/ou económicas, estas motivadas frequentemente por atrasos no domínio científico e tecnológico, insuficiência de recursos humanos adequados ou simplesmente a estrutura societal já não está adequada e então tudo parece empenho na sua destruição.

No período de 1900-1974, verifica-se a seguinte situação quadro:

- Uma economia preponderantemente baseada numa mão-de-obra abundante e recrutável a salários bastante inferiores aos praticados nos países vizinhos, não fomentava a investigação nem a formação de técnicos altamente especializados porque estes não constituíam recursos críticos nessa economia.
- Dum modo geral, nenhuma actividade económica nacional era tributária da investigação nacional para resistir à concorrência, porque os processos, projectos, a concepção dos instrumentos fabris e até estes não eram o resultado da actividade mas simplesmente importados.
- A defesa nacional não estava na dependência da investigação nacional para garantir a sobrevivência político-militar da nação.
- Não estava implementada a função de fornecedor de tecnologia ou ciência a outros países que assim poderiam contribuir nas despesas inerentes a esta investigação.
- A indisponibilidade de meios de ensino e investigação e a imperfeita política de incitamento, não criaram o clima conducente à germinação e desenvolvimento de actividades económicas baseadas em tecnologias hodiernas e suportadas por investigação nacional.
- A reduzida dimensão demográfica, um mercado interno diminuto, sobretudo nos domínios da tecnologia e dos artefactos industriais e dominado pelos fornecedores internacionais.
- A inexistência de um passado industrial que pudesse servir de plataforma ou de inspiração para novos desenvolvimentos e inovações.
- Nenhuma rede comercial dirigida à exportação de produtos ou serviços de elevado nível tecnológico e suportados por investigação nacional foi organizada.

As carências apontadas, cumulativamente, contribuíram para a não satisfação de condições e requisitos mínimos para o lançamento duma investigação moderna, consumidora voraz de meios humanos evoluídos, de materiais especializados e necessitando de vastos mercados para escoar os artefactos industriais resultantes dessa investigação.

Tendo por pano de fundo o quadro acima descrito, a Engenharia Mecânica apresenta algumas características peculiares, que convém apontar:

- Os artefactos que terá de estudar, projectar e construir, são agregados complexos que implicam o domínio de várias disciplinas, v. g.: mecânica dos sólidos e fluidos, elasticidade e plasticidade, termodinâmica, tribologia e o conhecimento com pormenor de uma vasta gama de materiais metálicos, refractários, plásticos, etc. Motores, turbinas, automóveis, navios, aeronaves, máquinas, ferramentas, instrumentos de observação e medida, robots e estabelecimentos industriais automatizados, são alguns exemplos.
- O desenvolvimento é inovação em mecânica e recorre com frequência à construção de protótipos para demonstrar a validade duma solução e/ou corrigir defeitos. Este método implica enormes dispêndios que só as grandes empresas internacionais e/ou os estados podem suportar.
- Os modelos formais a usar em mecânica são, em geral, não lineares, de topologia não convexa, usando espaços de elevada dimensionalidade e incluem uma projecção económica com figura de mérito a estreimar. Convém referir que na resolução destes modelos, são usuais as explosões combinatórias, o comportamento caótico e a multivocidade de soluções.
- Só com o advento de meios informáticos poderosos foi possível dar solução aos referidos modelos. A introdução da informática permitiu uma substancial redução nas despesas com a feitura de protótipos e respectivos ensaios, na medida em que uma grande parte da concepção, arquitectura e «experimentação» do artefacto se faz ao computador.

- A informática deu à Engenharia Mecânica os meios necessários à abertura de novos horizontes ao permitir a utilização de modelos formais, o que explica a enorme dedicação de docentes e alunos de mecânica e disciplinas tais como: ciência da computação, inteligência artificial, robótica, códigos, investigação operacional, etc.

Inovação industrial

Sendo o número de engenheiros mecânicos num país índice seguro do seu desenvolvimento industrial, não seria de esperar um contributo de grande relevância dos engenheiros mecânicos portugueses para a inovação industrial até que surgisse o limiar de um desenvolvimento económico que desse sentido e impacto aos seus contributos.

Esse limiar surgiu no início da década de sessenta e um índice factual e seguro encontra-se no crescimento brusco e sustentado do número de licenciados em engenharia mecânica, com um contributo sempre destacado e liderante do Instituto Superior Técnico, cujo papel no arranque ou desenvolvimento do ensino deste ramo da engenharia em todas as outras universidades portuguesas, tal como nas de Angola e Moçambique foi muito importante. Esta particularidade, a que se junta o facto de os autores terem sido actores convictos e empenhados no processo cria-lhes particulares embaraços na citação documentada dos contributos que entendem corresponder genuinamente ao espírito deste capítulo.

Em Portugal, seja qual for o ramo da engenharia, a envolvente externa e estruturante foi idêntica, com inícios temporais porventura diferentes. Não foi a falta de percussores nem de planeadores esclarecidos e avançados que fez chegar com tanto atraso a revolução industrial, nem a ausência de pioneiros que impediu grandes obras de fomento de desabrochar numa indústria de bens de equipamento, como poderia ter sido o caminho de ferro no virar do século; foi a falta de continuidade no esforço por ausência de uma esclarecida vontade colectiva e a aceitação da dependência externa a troco de exaltantes quimeras compensatórias.

O Instituto Superior Técnico foi criado em 1911 com aspiração e objectivos semelhantes aos do Imperial College da Universidade de Londres. Mas o doutoramento no Instituto Superior Técnico apenas foi instituído legalmente em 1956!

No que à engenharia mecânica se refere, os seus licenciados eram conhecidos por engenheiros de máquinas e a realidade industrial existente condicionava-os para reparadores, operadores ou vendedores de máquinas importadas, não para seus autores, integradores ou projectistas.

Após a primeira oportunidade do virar do século, a segunda perdeu-se no período que imediatamente antecede a segunda guerra mundial e durante esta. No período que a antecede, a crise económica que a precede conduz a desindustrializar, e o período da guerra, dificultando abastecimentos e obtenção de peças de substituição, cria uma necessidade que promove o florescimento de fundições metalomecânicas e o aparecimento de uma indústria de bens de equipamento com base na cópia que todavia entra em crise logo que a situação externa se normaliza. Alheados da reconstrução da Europa e do impulso que traria o plano Marshall, só a partir de meados da década de 50 o enquadramento começa a ser propício ao aparecimento duma indústria que suscite e aprecie o contributo que a engenharia mecânica lhe poderia trazer. O contributo é múltiplo e em inúmeros sectores. A indústria de fundição do aço alcança nível de qualidade e começa a exportar. As máquinas e ferramentas de fabrico nacional para a indústria mecânica começam a incorporar o projecto nacional, sendo de assinalar o contributo que nesse domínio deu a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. A reparação naval ganha projecção internacional e o *know-how* associado à concepção e operação de grandes estaleiros navais começa a ser internacionalmente reconhecido e exportado.

A fabricação de armamento com significado inicia-se com a fabricação de morteiros e continua-se com a das respectivas munições, surgindo paralelamente a fabricação de armas ligeiras e fomenta uma indústria de precisão que forma a mão-de-obra altamente qualificada que mais tarde permite o fulgurante aparecimento da indústria de moldes.

O projecto mecânico de grande responsabilidade estrutural surge no projecto de pontes rolantes, pórticos, etc., cujo impulso inicial surge com as grandes barragens, continua com os grandes estaleiros e se impõem no mercado mundial como concepção e realização da engenharia mecânica portuguesa.

No mercado da energia, associado à electrificação do país, é imediato o contributo na fabricação das grandes turbinas hidráulicas, a que se seguem as turbinas a vapor e sobretudo as caldeiras das grandes centrais térmicas. Surge também o fabrico de carruagens, e dos grandes

equipamentos electromecânicos nos nichos de fabrico que o mercado nacional permite e os mecanismos de apoio à penetração internacional consentem.

As primeiras empresas de *engineering* surgem impulsionadas por engenheiros mecânicos que promovendo a apropriação de conhecimento ligado à aquisição de equipamento importado e à sua integração em unidades fabris rapidamente o transformam em veículo de exportação para equipamento e conhecimento nacional.

Com o aparecimento das novas tecnologias da informação, a engenharia mecânica nacional situa-se desde o princípio numa situação de fronteira por ter reconhecido que as potencialidades computacionais que surgiam constituiriam o veículo privilegiado de utilização pragmática e ao grau mais elevado do conhecimento científico habitualmente associado à mecânica e termodinâmica dos meios contínuos e expressa em termos matemáticos em equações em derivadas parciais não lineares. Simultaneamente, a necessidade de validar experimentalmente e de propulsionar os desenvolvimentos em áreas agora acessíveis à modelação levou ao desenvolvimento de instrumentação e técnicas de medida anteriormente desconhecidas, como sejam a anemometria laser, a aquisição e processamento digital de dados, etc., na maioria dos casos financiados do exterior por nele se encontrarem os primeiros e mais interessados utilizadores.

A mesma atitude motivou e propulsionou o projecto e o fabrico assistido por computador, que permeia em todos os escalões o ensino e investigação e estabelece com a indústria nacional e europeia uma interacção dinâmica em crescimento permanente.

Finalmente, refira-se a crescente intervenção da engenharia mecânica em temas ligados ao ambiente, seja no estudo e controlo de poluição do ar e da água, seja nos estudos de impacto que exijam a modelação matemática envolvendo fluidos em movimento, difusão turbulenta, combustão e, mais recentemente, hidrodinâmica estuarial e marítima.

Para concluir, poder-se-á dizer que a revolução tecnológica que vivemos conjugada com o aparecimento das condições propícias a um desenvolvimento económico sustentado trouxe à engenharia mecânica portuguesa oportunidades que a história sempre lhe vinha negando, mas que inúmeros pioneiros e percursos lhe permitem vir hoje plenamente a aproveitar.

CAP. III

ENSINO E INVESTIGAÇÃO

Introdução

Algumas considerações de carácter geral não são despropositadas ao encetar o tema ensino e investigação.

O conceito de ensino consubstanciado como uma transferência, do docente para o discente, de um património informativo, por mais valioso que este seja, não esgota a função do ensino. A informação automática e os sistemas especializados de consulta de dados, progressiva mas inexoravelmente, vão reduzindo o uso da memória dos homens como banco de dados ambulante. O ensino deverá ter como um dos seus objectivos essenciais desenvolver no discente uma mentalidade de abertura à inovação e mostrar-lhe que os conhecimentos ou «verdades» científicas não se assimilam a credos invioláveis, nem constitui uma heresia duvidar e pôr em causa os seus princípios mais fundamentais.

A história da evolução da ciência é uma disciplina com um enorme valor pedagógico para mostrar as mutações da verdade científica nas diversas épocas históricas e assim preparar o discente para mais tarde, quando tiver responsabilidades profissionais, se dispor a examinar e eventualmente aceitar as novas «verdades» científicas que vierem a ser descobertas, não as rejeitando em nome da «verdade» aprendida na escola. A busca da verdade científica, que faz parte da busca da verdade em geral, bem como a aprendizagem dos respectivos processos e técnicas, deverão ser desenvolvidas no discente e no jovem que se inicia na investigação. A resolução de problemas, mesmo os triviais, implica a busca das causas, a proposição de soluções, eventualmente experimentar para verificar do respectivo mérito, procedimentos análogos aos do método científico.

A inovação tem sido o inexaurível recurso da humanidade para sobreviver e progredir. Observar, medir, conjecturar, emular a Natureza, imaginar modelos, construir artefactos, experimentá-los, descrevem acções que conduzem à criação de «inovações virtuais», mas, por um processo ainda pouco estudado, a sociedade escolhe e aplica alguns e assim é encetado um processo de inovação. Uma sociedade estagna quando deixa de inovar, tornando uma futura actualização numa penosa

e até sangrenta operação. Qualquer das actividades referidas acima pode, pelo seu mau funcionamento, impedir a inovação porque todas são ingredientes insubstituíveis.

A investigação na Universidade promove a concentração de cultores da verdade científica e respectiva busca, vocacionados para a prática de acções conducentes à inovação. É um pressuposto fundamental que na interacção dos docentes com os discentes sejam transferidos, além de conhecimentos e técnicas, a capacidade e o gosto pela busca da verdade e a vontade de inovar.

A Engenharia Mecânica, como responsável pela construção do objecto final e tributária de variados domínios da ciência, é forçada a estar aberta à inovação para que os artefactos que concebe, projecta e constrói sejam dela portadores. O respeito pela verdade é essencial, até porque as leis da Natureza não são susceptíveis de ser iludidas.

Uma exposição sobre o ensino e investigação em Engenharia Mecânica em Portugal deveria abordar pelo menos os seguintes grupos e temas:

- O ensino nas universidades e nas escolas de ensino superior não universitário.
- A investigação nas universidades e nos centros dependentes do Ministério da Educação.
- A investigação nos laboratórios e centros de investigação dos outros ministérios.

Quanto à investigação nas empresas, ela tem sido quase inexistente, ou pode considerar-se como incluída na inovação industrial, tema que atrás foi tratado.

Esta comunicação aborda essencialmente o que é específico da Engenharia Mecânica, com referência pontual a aspectos mais gerais da história do ensino e investigação em engenharia em Portugal.

Ensino

O ensino da Engenharia Mecânica de nível universitário durante longas décadas e até aos anos setenta restringiu-se a duas instituições que são ainda as duas maiores escolas universitárias de engenharia: o Instituto Superior Técnico, fundado em 1911 e integrado em 1930 na Universidade Técnica de Lisboa; e a Faculdade de Engenharia da Uni-

versidade do Porto, que foi fundada em 1915 com o nome de Faculdade Técnica e adoptou a sua actual designação em 1926. Muito mais recente é o ensino de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra (1972), na Universidade Nova de Lisboa (1977) e na Universidade do Minho (1979). Os antigos Institutos Industriais de Lisboa, Coimbra e Porto, onde eram leccionados cursos médios de Engenharia Electrotécnica e Máquinas, deram origem em 1975 aos Institutos Superiores de Engenharia, onde passaram a ser conferidos bacharelatos em Engenharia Mecânica. Os cursos de bacharelato dos Institutos Politécnicos são já dos anos oitenta.

O Instituto Superior Técnico, a maior e a mais antiga das escolas universitárias de engenharia, pode ser tomado como um bom exemplo das sucessivas transformações por que passou o ensino de Engenharia Mecânica nas universidades. O primeiro curso do que agora denominaríamos licenciatura em Engenharia Mecânica foi aí leccionado a partir de 1911, e desde o início revelava já todos os elementos de uma concepção moderna: o curso preparatório de dois anos, comum a todos os ramos de engenharia, punha ênfase nas Matemáticas (em especial a Análise), na Física (em especial a Mecânica) e incluía os métodos de representação (Desenho, Geometria Descritiva e Topografia) e áreas científicas complementares (Química, Geologia e Mineralogia). Os três anos seguintes, denominados «Engenharia Mecânica», cobriam o estudo da Mecânica dos Sólidos e dos Fluidos, os veículos de transporte e os vários tipos de máquinas (eléctricas, hidráulicas, a vapor, ferramentas), para além de noções de contabilidade, economia e gestão. Este tipo de organização do curso resistiu bem ao teste do tempo, visto que, embora as tecnologias e matérias tenham evoluído enormemente, a concepção de base e o equilíbrio de temas mantêm-se em muitos aspectos exemplares ainda nos nossos dias. Não será de surpreender portanto que pouco se tenha alterado nos anos seguintes: as revisões curriculares de 1921 e 1927 limitaram-se a ajustamentos de disciplinas, porventura com maior motivação circunstancial do que necessidade de fundo.

O ano de 1937 foi marcado por uma revisão curricular que alongou a curso para seis anos, e parece revelar uma influência das tendências germânicas dos anos trinta. Embora o aumento da duração do curso tenha reforçado um pouco a formação básica, os principais acréscimos verificaram-se na gama de disciplinas técnicas e no peso dos projectos, trabalhos de laboratório e oficinas. Daqui resultou um curso que, embora dando uma visão muito completa da engenharia contemporânea, era

talvez excessivamente longo. Datam dos anos quarenta e são reveladores do maior peso que a componente experimental assumiu no ensino, o Laboratório de Motores, criado pelo Prof. Abram Droz, e o primeiro, e durante duas décadas o único túnel aerodinâmico português, projectado e construído pelo Dr. Eng.º Artur Varela Cid. Embora dificilmente se possa dizer que estes laboratórios tenham sido utilizados para genuíno trabalho de investigação, eles permitiram a muitas gerações de alunos iniciarem-se em trabalho experimental e conhecerem um pouco do sabor da investigação.

O grande surto de desenvolvimento da engenharia nos anos sessenta viria a tornar inadequado este tipo de ensino de ambições enciclopédicas, mesmo num curso de seis anos. Houve portanto que regressar ao conceito inicial de ensinar os fundamentos e ilustrar as principais aplicações, sem a pretensão de fazer a exposição exaustiva dos conhecimentos existentes. Assim, com a reforma de 1970, regressou-se à licenciatura de cinco anos, introduzindo-se simultaneamente o sistema semestral cujas vantagens e desvantagens podem ser debatidas *ad infinitum*. A redução do número de anos do curso foi parcialmente compensada pela criação de dois ramos diferenciados a partir do 4.º ano: Termodinâmica Aplicada, e Produção e Construção Mecânica.

A última reforma curricular, datada de 1982, resistiu às tentativas de pressões algo imponderadas de reduzir de novo a duração do curso de licenciatura, desta vez de cinco para quatro anos, invocando o modelo dos países anglo-saxónicos ou procurando uma economia fácil, que teriam prejudicado a formação básica e/ou a especialização técnica de um curso excessivamente limitado no tempo. A diversificação da Engenharia Mecânica levou à criação dum terceiro ramo, de Sistemas, igualmente diferenciado a partir do 4.º ano, reflectindo a importância crescente da modelação, informática e automação na Engenharia Mecânica, tal como de resto nos outros domínios da engenharia.

Como resposta ao aumento da procura de engenheiros com formação na área naval, estabeleceu-se na Universidade Técnica de Lisboa em meados da década de setenta um curso complementar de três semestres para conversão de engenheiros mecânicos em engenheiros navais. Após algumas edições, esta solução de recurso foi substituída pela criação no Instituto Superior Técnico duma licenciatura em Engenharia Naval independente que ainda hoje se mantém.

Seguindo o modelo das universidades anglo-saxónicas onde muitos dos seus docentes se tinham entretanto doutorado, o curso de licen-

ciatura em Engenharia Mecânica no Instituto Superior Técnico a partir de 1979 (e na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pouco depois) foi complementado por cursos de mestrado que o prolongam até aos limiões da investigação.

A nível de licenciatura, no Instituto Superior Técnico tal como de resto nas outras escolas de engenharia nacionais, verificam-se duas tendências complementares: a especialização em ramos ou a criação de novas áreas como a engenharia naval e, possivelmente num futuro próximo, a Aeronáutica; e as licenciaturas interdisciplinares como a informática e a engenharia industrial. Quanto a estas últimas, a tendência para a interdisciplinaridade que se verifica actualmente na ciência e tecnologia começa a pôr em causa a tradicional divisão em Engenharia Civil, Mecânica, Electrotécnica, etc., levando não só à criação de novas engenharias mas também à cobertura de áreas comuns como a electromecânica ou o uso de métodos informáticos no projecto e fabrico tradicionais.

A perspectiva que emerge desta breve análise da evolução do ensino da Engenharia Mecânica no Instituto Superior Técnico é a de uma concepção notavelmente perene e actual desde o seu início no princípio deste século, e que, pela subdivisão em ramos e a criação de licenciaturas derivadas, soube responder à diversificação e desenvolvimento das últimas duas décadas.

Exceptuando as áreas de formação científica básica, as restantes matérias foram leccionadas, pelo menos até ao início da década de sessenta, por professores e assistentes que na sua quase totalidade desenvolviam a restante actividade fora da escola, normalmente em empresas industriais. Esta dupla função tinha a virtude de manter o ensino da engenharia mecânica em contacto com a prática corrente da profissão de modo a dar resposta às necessidades imediatas da indústria nacional, e era simultaneamente causa e efeito do modo como os docentes eram recrutados nos vários escalões da carreira. Em contrapartida, tal situação produziu frequentemente efeitos negativos bem conhecidos: estagnação e falta de actualização das matérias leccionadas, reflexo do incipiente desenvolvimento e baixo grau de exigência tecnológica do meio industrial onde a maioria dos docentes exerciam a sua actividade profissional complementar do ensino. Esta situação começou gradualmente a modificar-se com a institucionalização da investigação na universidade e a fixação dos docentes à escola em tempo integral.

Investigação

Embora, em especial a partir dos anos quarenta, tenha havido algum desenvolvimento experimental de assinalável valor em laboratórios do estado e nas universidades, pode considerar-se que a investigação em Engenharia Mecânica em Portugal teve início em 1961 com a criação, no Instituto Superior Técnico, do Núcleo de Estudos de Engenharia Mecânica, patrocinado e financiado pelo Instituto de Alta Cultura. Embora com meios humanos e financeiros escassos, aí se realizaram com preocupações de rigor científico os primeiros trabalhos, que incidiram nos domínios da Termodinâmica Aplicada, em especial a Transmissão de Calor, e da Mecânica dos Sólidos. Em 1967 é completada a primeira tese de doutoramento, que versou sobre a teoria das vibrações de corpos contínuos elásticos. Resultante da actividade deste Núcleo e por iniciativa dos seus dirigentes e colaboradores, é de assinalar a realização em Portugal em 1973 duma importante conferência sobre os Fundamentos da Termodinâmica dos Meios Contínuos, que reuniu durante uma semana como convidados cerca de uma dúzia dos mais notáveis cientistas especialistas estrangeiros, entre os quais personalidades tão famosas como Ilya Prigogine (mais tarde laureado com o Prémio Nobel) e Ronald Rivlin.

A criação do Centro de Cálculo da Universidade Técnica de Lisboa com a instalação no Instituto Superior Técnico em 1971 dum computador IBM 360/44 é um marco histórico no ensino e investigação em Engenharia em Portugal, e deveu-se em grande parte à iniciativa e à actividade desenvolvidas no seio do curso de Engenharia Mecânica e do Núcleo de Estudos de Engenharia Mecânica. Duas teses de doutoramento completadas em 1972 e 1973 na área da mecânica computacional revelam já o esforço desenvolvido no sentido de tirar partido dos novos meios de cálculo.

A concessão de bolsas pelo Instituto de Alta Cultura e pela NATO para estudos de pós-graduação em universidades estrangeiras permitiu acelerar a formação de docentes e estabelecer contactos permanentes com equipas de investigação em outros países, em especial o Reino Unido. O primeiro doutoramento no estrangeiro, efectuado em 1970, incidiu sobre o estudo das turbomáquinas, constituindo o início duma linha de investigação que tem prosseguido no Instituto Superior Técnico desde essa data.

Em meados dos anos setenta leccionavam no curso de Engenharia Mecânica do Instituto Superior Técnico cerca de meia dúzia de doutorados. Dois outros tinham entretanto ido leccionar para outras universidades após o seu doutoramento. Em 1975 o Núcleo de Estudos de Engenharia Mecânica era ainda o único centro de investigação universitário nesta área de engenharia existente no país. A partir do fim dos anos sessenta a sua actividade tinha-se concentrado principalmente na Termodinâmica Aplicada e Mecânica dos Fluidos, com uma importante componente nos aspectos computacionais, áreas que continuaram a dominar a actividade de investigação em engenharia mecânica no Instituto Superior Técnico durante a década de setenta.

Em 1975, com a vaga de criação de novos centros pelo Instituto Nacional de Investigação Científica, organismo que tinha substituído o Instituto de Alta Cultura, surgiram, no Instituto Superior Técnico, o Centro de Termodinâmica Aplicada (CTAMFUTL), herdeiro do já referido núcleo, e o Centro de Mecânica e Materiais (CEMUL), este último agrupando engenheiros mecânicos das áreas de Projecto e Tecnologia Mecânica, engenheiros civis da área de Mecânica e Estruturas, e ainda docentes da área de Metalurgia e Materiais. Pouco tempo depois completava-se a cobertura da Engenharia Mecânica no Instituto Superior Técnico com a criação do Centro de Automática (CAUL), um centro interdisciplinar que abrangia a área de sistemas do Departamento de Engenharia Mecânica e incluía também as Máquinas Eléctricas. A Engenharia Mecânica do IST ficou assim distribuída por três centros do INIC, situação que ainda hoje se mantém. O mesmo não sucedeu na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, onde também em 1975 foi criado pelo INIC o Centro de Engenharia Mecânica, englobando todas as áreas deste ramo de engenharia. Estes quatro centros, três no Instituto Superior Técnico e um no Porto, continuam ainda em 1989 a ser os únicos centros do INIC na área da Engenharia Mecânica. Embora com meios relativamente modestos eles têm desempenhado um papel fundamental e permitiram lançar e manter as infraestruturas da investigação universitária em Engenharia Mecânica. Em particular na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, a criação do Centro do INIC constituiu um poderoso estímulo e marcou o início da revitalização e renovação da Engenharia Mecânica depois dum longo período de apagamento.

Na Universidade de Coimbra, os financiamentos relativamente generosos na fase de instalação dos cursos de engenharia em 1972 permi-

tiram à Secção de Engenharia Mecânica adquirir equipamento laboratorial moderno e criar as condições para o arranque da investigação. Datam dessa fase inicial o projecto e construção dum grande túnel para ensaios de aerodinâmica industrial, área científica que foi também a do primeiro grau de Doutor em Engenharia pela Universidade de Coimbra, atribuído em 1975.

Com raras excepções, a investigação universitária em Engenharia Mecânica era, até meados dos anos oitenta, na sua maior parte financiada com as verbas relativamente modestas provenientes do Ministério da Educação, o que explica que a maioria dos trabalhos tinham tido índole e finalidade marcadamente académicas. Foi apenas nos últimos anos que alguns contratos financiados pelo Ministério da Indústria, os programas da JNICT, e ainda mais recentemente a participação em projectos da Comunidade Económica Europeia, permitiram desenvolver projectos de investigação de maior dimensão e aproximar a investigação universitária das aplicações, nomeadamente nas empresas industriais e nos serviços.

O aumento do número de doutorados nos departamentos universitários de Engenharia Mecânica é um bom indicativo da actividade desenvolvida: no Instituto Superior Técnico esse número passou de cerca de uma centena no conjunto das universidades portuguesas. Muitos dos doutoramentos, provavelmente a maioria até 1985, foram efectuados no estrangeiro em universidades com um elevado grau de exigência de qualidade científica. Se por um lado foram frequentes as dificuldades de adaptação e integração após o regresso a Portugal, por outro lado foi-se estabelecendo uma rede de contactos internacionais, e, o que não é menos importante, criou-se um clima de exigência de qualidade na investigação e no ensino.

A extensão da área coberta pela investigação efectuada ou em curso nos departamentos universitários de Engenharia Mecânica é um bom indicativo da vastidão e interdisciplinaridade deste ramo de engenharia e da versatilidade dos engenheiros mecânicos. Muitos dos projectos situam-se em áreas tradicionalmente ligadas à Engenharia Mecânica:

- a energia, associada à termodinâmica, mecânica dos fluidos e fenómenos de transporte;
- o projecto, construção e tecnologia mecânica, associados à mecânica dos sólidos, à análise estrutural e às propriedades dos materiais;

— a automação e controlo.

Numerosos projectos nestas e em outras áreas têm assumido um elevado grau de interdisciplinaridade e por vezes situam-se em campos tradicionalmente conotados com outros ramos de engenharia e da ciência: inteligência artificial, matemática aplicada, acústica, hidrodinâmica marítima, bioengenharia, gestão industrial, incêndios florestais, são apenas alguns exemplos.

A mecânica computacional, tanto em sólidos como em fluidos, tornou-se, em particular na última década, uma componente importante ou a essência de grande parte dos projectos. A investigação experimental tem dum modo geral conhecido maiores dificuldades resultantes de limitações financeiras, e tem por vezes sido efectuada em laboratórios fora da universidade, quer no país (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, e outros), quer no estrangeiro. Ainda assim é de assinalar o excelente trabalho resultante do desenvolvimento no Instituto Superior Técnico duma técnica tão sofisticada como é a anemometria laser, e, num campo mais aplicado, a utilização do grande túnel aerodinâmico da Universidade de Coimbra para ensaios de aerodinâmica industrial.

Nos laboratórios do Estado, a actividade com maior grau de inovação tem assumido em geral o carácter de desenvolvimento experimental. No Laboratório Nacional de Engenharia Civil, tem sido relevante a actividade de engenheiros mecânicos, em particular a partir dos anos sessenta, tanto no desenvolvimento de equipamento experimental para uma larga gama de aplicações, como no domínio da aerodinâmica industrial, em particular a acção do vento sobre as estruturas. Os antigos laboratórios da Direcção Geral dos Combustíveis, onde é de assinalar o trabalho inovador sobre combustíveis de substituição para motores durante a segunda guerra mundial, vieram mais tarde a ser incorporados no que é agora o Departamento de Energias Convencionais do LNETI, cuja actividade se tem centrado principalmente nas áreas da conservação da energia e da combustão. Igualmente no LNETI é de salientar, a partir do início dos anos oitenta, a actividade do Departamento de Energias Renováveis, nalguns casos em colaboração com a Universidade, nas áreas da energia solar, eólica, da biomassa e das ondas marítimas.

ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA



ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE LISBOA