

19-20 de Novembro, em Braga: Dia Nacional do Engenheiro

INGENIUM



Fixe este símbolo

Nasceu no seio da Academia de Engenharia o projecto que vai definir os cenários prospectivos e as tendências do tecido empresarial português para os próximos vinte anos.

A Ordem dos Engenheiros é, desde o início, uma das suas instituições promotoras e dedica-lhe esta edição.

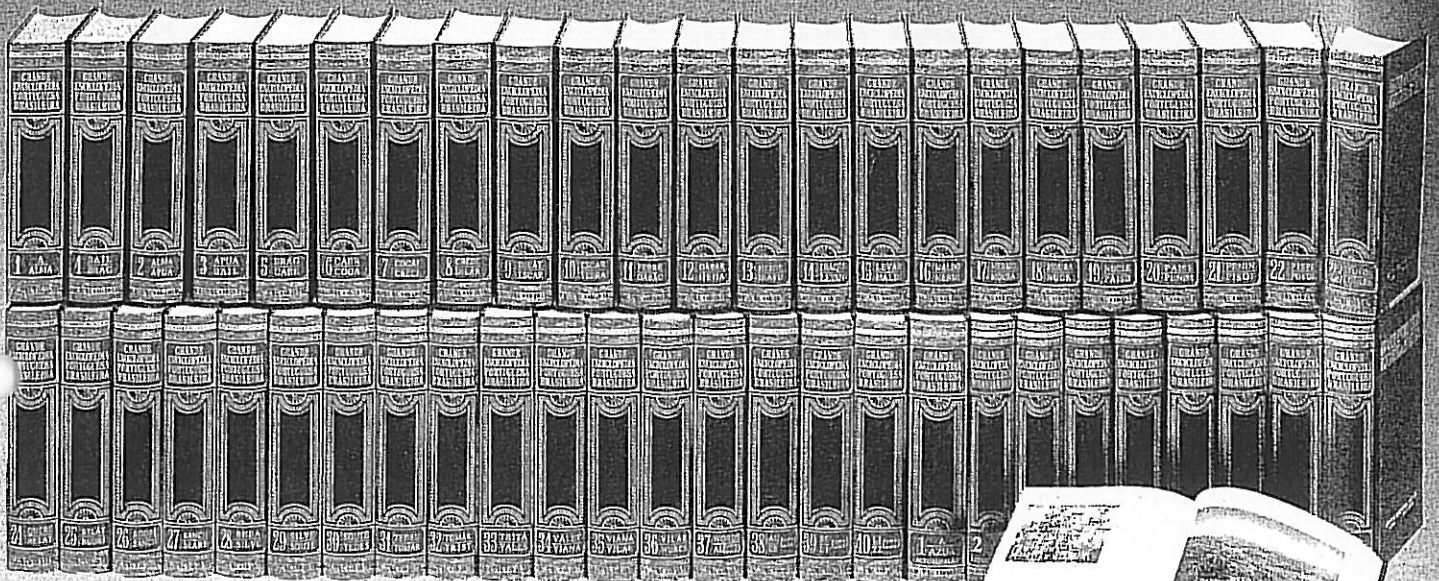
CAMPANHA ESPECIAL DE NATAL

CAMPANHA ÚNICA NESTAS CONDIÇÕES
 NÃO PERCA - 30% DE DESCONTO - INSCREVA-SE JÁ
 RECEBA EM SUA CASA OS 50 VOLUMES DESTA MAGNÍFICA OBRA

POUPE
163.800\$00
 EXCLUSIVO
 ASSOCIADOS

Este Natal, ofereça a si e à sua família esta autêntica Biblioteca, uma Enciclopédia cuja consulta é fundamental, um investimento seguro para o futuro dos seus filhos, a Enciclopédia que sempre quis ter! Veja condições abaixo

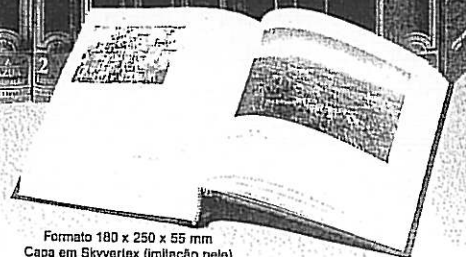
GRANDE ENCICLOPÉDIA PORTUGUESA E BRASILEIRA 50 VOLUMES



TUDO O QUE O HOMEM DESCOBRIU, INVENTOU, IMAGINOU DURANTE MILÉNIOS DE PESQUISA

ANATOMIA - ANTROPOLOGIA - AERONÁUTICA - AUTOMOBILISMO - BELAS-ARTES - BIOGRAFIAS - BIOLOGIA - CIÊNCIAS OCULTAS - CINEMA - DANÇA - DESPORTO - EXPLORAÇÃO DO ESPAÇO - ESPIRITISMO - FÍSICA - NUCLEAR - FARMÁCIA - FILOSOFIA - GEOGRAFIA

GINECOLOGIA - HISTÓRIA - HISTÓRIA DA ARTE - HIGIENE - LITERATURA - MEDICINA - MITOLOGIA - MÚSICA - MECÂNICA - NÁUTICA - PSICOLOGIA - QUÍMICA - RADIOTECNIA - TEATRO - TELEVISÃO - TEOLOGIA - TERAPÉUTICA - VETERINÁRIA - VINICULTURA - ZOOLOGIA



Formato 180 x 250 x 55 mm
 Capa em Skyverlex (imitação pele)
 Gravação a ouro
 Papel offset de qualidade

A ENCICLOPÉDIA DE MAIOR PRESTÍGIO, OBRA DE RECONHECIDO VALOR, ELOGIADA PELA IMPRENSA E RECOMENDADA POR UNIVERSIDADES, INSTITUTOS, COLÉGIOS, ESCOLAS, BIBLIOTECAS, ETC.

INCORPORADO NO TEXTO DA ENCICLOPÉDIA UM DICIONÁRIO ÚNICO DA LÍNGUA PORTUGUESA COM 150.000 VOCÁBULOS E TODAS AS DEFINIÇÕES APOIADAS PELAS MAIORES AUTORIDADES

50 VOLUMES
 50.000 PÁGINAS
 5.000 COLABORADORES
 15.000 GRAVURAS
 6.000 ILUSTRAÇÕES A CORES
 1.100 QUADROS E MAPAS
 120.000 MILHÕES DE PALAVRAS
 150.000 REF. BIBLIOGRÁFICAS

A MAIS BELA, A MAIS ÚTIL
 A MAIS ACTUALIZADA, A MAIS
 GRANDIOSA,
 DE TODAS AS OBRAS CULTURAIS
 EM LÍNGUA PORTUGUESA.

PREÇO VENDA AO PÚBLICO	30% PREÇO CAMPANHA PARA ASSOCIADO ATÉ 99/12/21			
P. PAGAMENTO 546.000\$00	DESCONTO	P. PAGAMENTO 382.000\$00	6 x 66.500\$00	12 x 34.900\$00
			18 x 24.800\$00	24 x 19.400\$00

PREENCHA, RECORTE OU FOTOCOPIE E ENVIE
 PARA

ATLANTILIVRO

APARTADO 1730 • 2696-601 SANTA IRIA DE AZÓIA • POR. FAX. (01) 959 09 60 • TEL. (01) 959 30 00

INSCRIÇÃO

NOME _____
 MORADA _____
 C.P. _____ LOC. _____ TEL. _____

LOC. TRABALHO _____
 MORADA _____
 C.P. _____ LOC. _____ TEL. _____

Pretendo adquirir a G.E.P.B. a Pronto Pagamento: em 6 x em 12 x em 18 x em 24 x

Data ____/____/____ ASSINATURA _____

A Sua Oportunidade!
 Não espere mais! Preencha já o seu cupão
 e usufrua de um desconto até 30% sobre o preço de capa.

SUMÁRIO

INGENIUM N.º 41 OUTUBRO 1999

ACTUALIDADE

6 Notícias

62 Colégios

COMUNICAÇÕES

70 Civil

A UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS AVANÇADOS DE CÁLCULO NA ANÁLISE ESTRUTURAL AO FOGO

por Paulo M. M. Vila Real e Paulo A. G. Piloto

76 Mecânica

A METODOLOGIA DE TAGUCHI NA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DO PAR LATÃO/AÇO

por J. Paulo Davim

79 Metal. e de Materiais

A MADEIRA E OS SEUS CONCEITOS ECOLÓGICOS

por José António dos Santos

82 Química

O CONCEITO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA: UMA BREVE REFLEXÃO

por Clemente Pedro Nunes

CAPA

20 Capa

TORNAR OS CENÁRIOS REAIS

O Projecto Engenharia e Tecnologia 2000 simplificado e explicado nas suas linhas mestras, numa compilação directa dos seus principais objectivos e conteúdos.

24 Capa

PREPARAR O FUTURO

João Bártolo, presidente do Conselho Orientador e um dos principais mentores do projecto ET- 2000.

por Eduardo Marino

28 Capa

DESENVOLVIMENTO E COMPETITIVIDADE

Luís Valadares Tavares, director do ET- 2000 e um dos maiores peritos portugueses em construção de cenários.

por Ana Costa

32 Capa

DESPERTAR A CRIATIVIDADE PARA O NOVO MILÉNIO

Valente de Oliveira, presidente do conselho científico-empresarial. A visão prática do projecto ET- 2000.

por Sandra Nobre

REPORTAGEM

8 Entrevista

UMAS ORDEM RENOVADA

Francisco Sousa Soares. A meio do mandato, a aposta cada vez mais forte no sistema de qualificação da Ordem.

por Fernando Melo e Vasco Ventura

16 Perfil

ENGENHEIRO E GESTOR

Renato da Silva Leitão. Presidente do Conselho Jurisdicional da Ordem dos Engenheiros. Um entusiasta da gastronomia.

por Carla Borges Ferreira

42 Carreiras

O PRIMEIRO DIA DO RESTO DAS NOSSAS VIDAS

O medo da novidade quando se muda de emprego. Causas e consequências.

por Catarina Horta

COLUNAS

3 Editorial

A ENGENHARIA E A TECNOLOGIA 2000-2020

O bastonário salienta o papel fundamental da Ordem no ET - 2000.

por Francisco Sousa Soares

36 Opinião

RECORDANDO AMÁLIA

O fadista recorda a cantora e os momentos que passou com ela ao longo da vida, desde que a conheceu.

por António Pinto Basto.

SECÇÕES

44 Ciência

VIVA O FESTIVAL DA CANÇÃO!

Afinal a contagem dos votos nas nossas eleições é muito menos democrática do que pensávamos. Necessário mudar?

por Jorge Buescu

48 Cultura

SINÓNIMO DE MAGIA

O maior ilusionista de todos os tempos, aquele que transformou a face da magia e deixou mistérios que nunca se resolveram.

por Cristina Flora

52 Vinhos

A ARTE DO EQUILÍBRIO

Cinco dias de apreciação e aprendizagem dos sabores que engrandecem a gastronomia e enologia nacional.

por Fernando Melo

56 Variações

A CAPITAL DOS TRÓPICOS

A atmosfera inigualável do Brasil trazida de novo pela pena irreverente e alucinada do nosso "contista" de serviço.

por Artur Pires

60 Passatempo

E-mail do director:
fssoares@cdn.ordeng.pt

E-mail da redacção:
ingenium@amhoralocal.com

Home page da Ordem dos Engenheiros:
http://ordeng.pt

TAXA DE INSCRIÇÃO

Inscrição	Data	Participante	Membro FISOCAT/SPQ	Acompanhante
Regular	até	450 Euro	400 Euro	150 Euro
	31/03/2000	90 000 PTE	80 000 PTE	30 000 PTE
Tardia	depois de	540 Euro	480 Euro	180 Euro
	31/03/2000	108 000 PTE	96 000 PTE	36 000 PTE
No local	a			
	16/07/2000	120 000 PTE	120 000 PTE	40 000 PTE

Câmbio oficial PTE/Euro: 200,482

de portes), à ordem da Sociedade Portuguesa de Química
c) em dinheiro ou cheque no local

Alojamento

Hotéis de todas as categorias nos arredores do local do Simpósio podem ser

reservados através da agência Turicâmbio Viagens - Turismo, Rua Sá da Bandeira, 772, 4000-432 Porto, Portugal, Tel.: 351-2-208 56 00; Fax: 351-2-208 56 33. Uma lista de hotéis será fornecida no endereço WEB do Simpósio. Para os jovens participantes, existe no lo-

cal do Simpósio um número limitado de quartos duplos e simples, com banho privativo, mas sem telefone e sem TV privados, que poderão ser reservados através do secretariado do Simpósio.

Informações e Inscrições

SPQ - Delegação do Porto
A/c Prof. José Luís Figueiredo
DEQ - FEUP
Rua dos Bragas 4050-123 Porto
Tel.: 351-2-2041662
Fax: 351-2-2000808
E-mail: sic17@feup.pt
http://www.fe.up.pt/deqwww/sic17

Gabinete de formação contínua

Gabinete de formação contínua

O Gabinete de Formação Contínua foi criado pela Ordem dos Engenheiros em 1999 com o objectivo de apoiar e desenvolver acções de formação que contribuam para a manutenção e desenvolvimento dos conhecimentos dos engenheiros durante a sua carreira profissional.

Apoiando os colégios na organização das suas actividades, o GFC tem como principal função a organização de actividades de índole geral (gestão, qualidade, comunicação,...) e lúdica (provas TT, concursos de fotografia,...). Outra vertente deste Gabinete é informar os membros da Ordem das acções de formação em diferentes áreas, realizadas por nós e por outras instituições, nomeadamente sobre datas, preços, contactos e locais.

Para que este projecto cresça em função das necessidades dos engenheiros é necessária a colaboração de todos. Esperamos por sugestões para futuras acções de formação (cursos, seminários, colóquios, etc.) e informações sobre as existentes, que podem ser enviadas por:

E-mail: agppio@cdn.ordeng.pt
Fax: 01-313 26 72;

ou carta: Ordem dos Engenheiros
Gabinete de Formação Contínua
A/C Eng.ª Ana Pipio
Av Sidónio Pais, n.º 13
1050-212 Lisboa

Ordem dos Engenheiros - Outdoor Challenge

Liga Universitária Outdoor
Palmela/Praia de Albarquel (Arrábida)
4 de Dezembro.

Irã decorrer no Sábado, dia 4 de Dezembro de 1999, entre as 9h00 e as 19h00, a quinta prova da Liga Universitária de Outdoor - o Ordem dos Engenheiros Outdoor Challenge. A prova, patrocinada pela Ordem dos Engenheiros, é realizada pela Secção Autónoma de Desporto da AEGIST - Instituto Superior Técnico e conta com a colaboração das Câmaras Municipais de Palmela e Sesimbra.

A competição, que decorrerá entre o Largo de Palmela e a Praia de Albarquel, consiste numa prova de multiactividades em estratégia, na qual se propõe aos concorrentes a gestão do seu percurso ao longo de oito actividades: actividades aquáticas, cordas paralelas, orientação em superestratégia, rappel, score 100, slide, team building e tiro com arco. O culminar da prova consiste numa prova de obstáculos antes da cerimónia de entrega de prémios.

A participação nesta prova é feita em equipas de 5 elementos e é acessível a todos (Universitários, Membros da Ordem dos Engenheiros e não Universitários). O valor das inscrições é de 15.000\$00 por

equipa com o seguro incluído, havendo uma redução especial de 20% para equipas que incluam pelo menos um membro da Ordem dos Engenheiros.

Inscrições e outras informações podem ser obtidas:

ONLINE - <http://alfa.ist.utl.pt/~sdaegist/>
Secção Aut. de Desporto da AEGIST
Liga Universitária de Outdoor
Tel: 01-841 70 08 Fax: 01-486 21 63
Ginásio Fixação
Tel: 01-841 70 15 Fax: 01-841 70 14

Cursos de Microsoft Office

O Gabinete de Formação Contínua da OE está a organizar cursos de informática na óptica de utilizador em Word 97, Excel 97 e Power Point 97. Serão leccionados por formadores da "DTTI - Soluções Informáticas, Lda" e decorrerão em horário pós-laboral na sede da Ordem dos Engenheiros, em Lisboa.

Curso "Comunicar em Público"

A OE, através do seu Gabinete de Formação Contínua, está a preparar uma acção de formação "Comunicar em Público", que será orientada pela Prof. Glória de Matos. O objectivo desta acção é tornar os participantes capazes de flexibilizar e aumentar a sua competência comunicacional.

A Utilização de Métodos Avançados de Cálculo na Análise Estrutural ao Fogo

Paulo M. M. Vila Real¹; Paulo A. G. Piloto²

¹Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro ²Departamento de Mecânica Aplicada, Instituto Politécnico de Bragança

Resumo: Neste trabalho calcula-se a resistência ao fogo de uma estrutura metálica utilizando-se, para o efeito, um programa de elementos finitos para análise não-linear geométrica e material, especialmente desenvolvido para o estudo de estruturas em situação de incêndio. O procedimento adoptado enquadra-se nos chamados Métodos Avançados de Cálculo preconizados nos Eurocódigos.

Para dar satisfação às exigências de resistência ao fogo estabelecidas na regulamentação nacional de segurança contra incêndios em edifícios, foi necessário recorrer à utilização de material de protecção ao fogo de modo a aumentar a resistência ao fogo da estrutura analisada.

1. Introdução

A segurança contra incêndios de edifícios tem vindo a mercer em Portugal uma atenção crescente^[1], começando a surgir no nosso País regulamentação que abrange os vários tipos de edifícios existentes^[2-6,21-23]. Entre as exigências estabelecidas nestes regulamentos encontra-se a "Resistência ao Fogo" de elementos estruturais, que se avalia pelo tempo que decorre desde o início de um processo térmico normalizado, (no presente trabalho a curva de incêndio padrão ISO 834) a que o elemento é submetido, até ao momento em que ele deixa de satisfazer as funções para que foi projectado.

Dada a inexistência em Portugal de regulamentação relativa ao cálculo estrutural ao fogo foram utilizados os seguintes Eurocódigos, que se encontram ainda em fase de Pré-Norma (ENV):

- Eurocódigo 1, Parte 2.2 - Acções em Estruturas Sujeitas a Incêndio^[7], onde se faz a caracterização das acções térmicas;
- Eurocódigo 3, Parte 1.2 - Cálculo Estrutural ao Fogo^[8], onde se estabelecem as regras para o cálculo da capacidade resistente das estruturas de aço em situação de incêndio e se definem as propriedades térmicas e mecânicas do aço em função da temperatura;
- Eurocódigo 4, Parte 1.2 - Cálculo Estrutural ao Fogo^[9], onde se estabelecem as regras para o cálculo da capacidade resistente das estruturas mistas aço-betão em situação de incêndio e se definem as propriedades térmicas e mecânicas do aço e do betão em função da temperatura.

De acordo com a Parte 1.2 do Eurocódigo 3, o Cálculo Estrutural ao Fogo pode ser feito em dois níveis de sofisticação crescente:

- Métodos simplificados de cálculo, fazendo uso de fórmulas analíticas aplicáveis apenas a elementos estruturais isolados;
- Métodos avançados de cálculo, os quais podem ser usados na simulação do comportamento de:

1. Estrutura Global (Fig. 1, a);
2. Partes da estrutura, como por exemplo pórticos ou sub-estruturas em que há necessidade de determinar as condições de fronteira que nelas actuam, as quais se consideram constantes durante a ocorrência do incêndio (Fig. 1, b);
3. Elementos estruturais isolados (vigas, pilares ou lajes), desprezando qualquer interacção entre eles (Fig. 1, c).

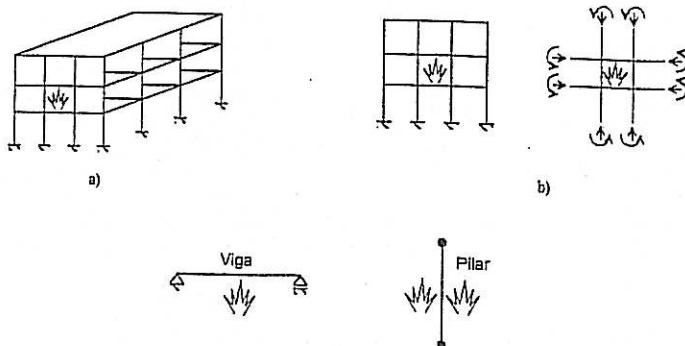


Fig. 1 - Níveis possíveis de esquematização da estrutura^[10]. a) Análise global; b) Análise de sub-estrutura; c) Análise de elementos isolados.

Em qualquer caso, o cálculo da resistência ao fogo do elemento ou estrutura com funções de suporte de cargas é feito impondo que, após um determinado instante de tempo t de exposição ao fogo normalizado, se verifique a condição^[8]:

$$E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t} \quad (1)$$

onde, $E_{fi,d,t}$ é o valor de cálculo dos efeitos das acções (térmicas e mecânicas) em situação de incêndio no instante t , determinado de acordo com a combinação accidental de acções expressa na ENV 1991-2-2^[7] e $R_{fi,d,t}$ é o valor de cálculo da capacidade resistente em situação de incêndio no instante t .

Fez-se o cálculo da resistência ao fogo de uma estrutura metálica porticada, com dois vãos e três pisos como se mostra na figura 2. Como a resistência ao fogo desta estrutura é inferior à resistência regulamentar foi necessário recorrer a material de protecção ao fogo de modo a que fosse atingida aquela resistência.

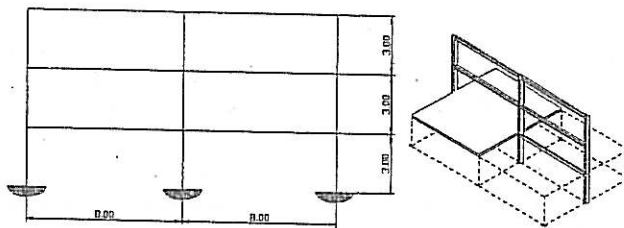


Fig. 2 - Representação esquemática da estrutura bidimensional, com 5 [m] entre pórticos.

Trata-se de um edifício do tipo comercial situado a Nordeste de Portugal, a uma altitude de 700 [m], analisado anteriormente na ref.^[10]. Para ter em conta os efeitos das imperfeições de montagem, possíveis excentricidades e até imperfeições geométricas, introduziu-se, de acordo com o Eurocódigo 3, Parte 1.1^[12], uma pequena imperfeição inicial, à qual corresponde um ângulo de 0.0033 [rad]. Assim a estrutura apresenta uma inclinação para a direita de cerca de 0.01 [m] por cada 3 [m] de altura.

2 - Modelação numérica

Existem actualmente vários programas de cálculo automático para análise da resistência ao fogo das estruturas, que vão desde programas baseados nos métodos simplificados de cálculo definidos nos Eurocódigos, até programas mais complexos de análise não-linear, baseados no método dos elementos finitos e que se incluem nos chamados métodos avançados de cálculo referidos nos Eurocódigos. Entre estes últimos encontra-se o programa SAFIR^[11] que é um código de elementos finitos para análise não-linear geométrica e material, desenvolvido na Universidade de Liège por Prof^o Jean-Marc Franssen e vocacionado para a análise de estruturas sujeitas à acção do fogo.

2.1 O programa SAFIR

O programa SAFIR é constituído por dois módulos de cálculo distintos, um para a análise do comportamento térmico da estrutura e outro para a análise do seu comportamento mecânico. Assim, numa primeira fase calcula-se a evolução do campo não uniforme de temperaturas, para cada secção tipo existente na estrutura, e numa fase posterior o módulo mecânico do programa lê estas temperaturas e faz o cálculo do comportamento mecânico da estrutura em regime transiente.

2.1.1 Análise do comportamento térmico

O programa SAFIR permite fazer a análise do comportamento térmico das estruturas quer utilizando elementos sólidos tridimensionais (3D), quer utilizando elementos planos bidimensionais (2D). Os elementos sólidos são lineares de oito nós e os elementos planos, também lineares podendo ser triangulares de 3 nós ou quadriláteros com 4 nós.

É possível a consideração de mais do que um material possibilitando, por exemplo, a análise de vigas mistas aço-betão. As propriedades térmicas do aço e do betão dependem da temperatura de acordo com as expressões definidas nos Eurocódigos.

2.1.2 Análise do comportamento mecânico

A análise transiente do comportamento mecânico das estruturas utiliza, como se disse, os resultados da análise térmica previamente efectuada.

Para além do elemento sólido estão também disponíveis no SAFIR elementos de barra e de viga, sendo possível com estes dois últimos modelar estruturas reticuladas tridimensionais. O elemento de viga baseia-se na hipótese de Bernoulli, em que as secções planas antes da deformação se mantêm planas depois da deformação e o efeito do esforço transversal não é tido em consideração. Por outro lado este elemento não contempla encurvadura local, razão pela qual se devem apenas utilizar perfis com secções da Classe 1 e da Classe 2 de acordo como são definidas no Eurocódigo 3^[12].

A secção recta dos elementos é discretizada através de elementos finitos aos quais correspondem fibras, sendo em cada ponto de integração longitudinal, todas as variáveis, tais como a temperatura, a deformação, a tensão, etc. uniformes em cada fibra. A discretização do elemento de viga através do modelo de fibras, permite a consideração de tensões residuais^[13] e mesmo a introdução de pré-esforço em estruturas de betão.

O critério de colapso da estrutura é definido como sendo o instante em que a sua matriz de rigidez deixa de ser definida positiva, não sendo mais possível estabelecer o equilíbrio da estrutura. O programa utiliza a técnica do comprimento de arco, "arc-length", para resolver os problemas de ruína local que por vezes surgem. De facto em estruturas hiperstáticas

pode acontecer que a ruína de um dos seus elementos não corresponda ao colapso global da estrutura. É possível que para além do instante em que ocorre a ruína local, a parte dos esforços que não pode mais ser suportada pelo elemento em questão seja redistribuída pelos outros elementos da estrutura, encontrando esta uma nova posição de equilíbrio.

3 - Acções em estruturas sujeitas a fogo

3.1.1 Acções mecânicas

O valor de cálculo dos efeitos das acções em situação de incêndio, $E_{fi,d}$, deve ser obtido usando-se a seguinte combinação de acidente definida no Anexo F da parte 2-2 do Eurocódigo 1^[7]:

$$\sum \gamma_{GA} G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + \sum A_d(t) \quad (2)$$

onde

γ_{GA} - é o coeficiente de segurança parcial para as acções permanentes em situação de acidente, o qual deve tomar o valor unitário [$\gamma_{GA}=1$];

G_k - é o valor característico das acções permanentes;

$Q_{k,1}$ - é o valor característico da acção variável principal ou dominante;

$\psi_{1,1}$ - é o coeficiente de combinação associado à acção variável principal ou dominante^[14];

$\psi_{1,2}$ - é o coeficiente de combinação associado às restantes acções variáveis^[14];

$A_d(t)$ - é o valor de cálculo da acção resultante da exposição ao fogo e que se traduz no efeito da temperatura sobre as propriedades dos materiais e nas acções indirectas de incêndio a que correspondem os esforços resultantes das restrições às dilatações térmicas.

Após análise da combinação das acções é necessário quantificar as acções correspondentes ao tipo de construção prevista. No que respeita às acções permanentes considerou-se o peso próprio dos elementos estruturais, dos pavimentos, das paredes e da cobertura. Relativamente às sobrecargas, e destinando-se o edifício a fins comerciais (escritórios em geral) os seus valores foram obtidos do Eurocódigo 1, Parte 2-1^[15]. A acção do vento e da neve foi quantificada tendo em atenção a localização e implantação do edifício de acordo com o estipulado no Eurocódigo 1 respectivamente na Parte 2-4^[16] e na Parte 2-3^[17].

Neste trabalho apenas será apresentada a análise da estrutura correspondente à combinação de acções em que o vento figura como acção variável principal. A figura 3 mostra o carregamento correspondente a esta combinação de acções.

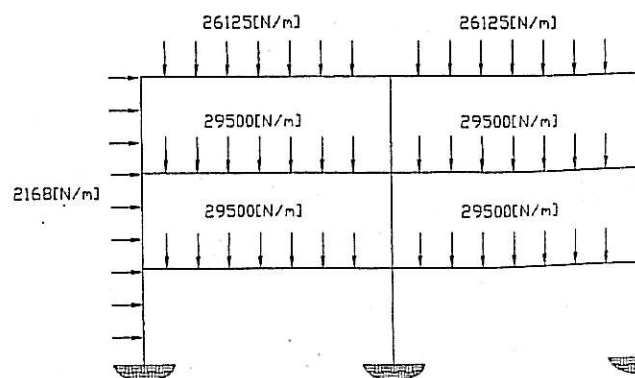


Fig. 3 - Carregamento correspondente à combinação de acções em que o vento é a acção variável dominante

3.1.2 Acções térmicas

No que diz respeito às acções térmicas a parte 2-2 do Eurocódigo 1^[7] estabelece que a temperatura de incêndio pode ser dada em termos de curvas nominais tempo - temperatura ou sob a forma de curvas paramétricas.

As curvas nominais são curvas convencionais que podem ser definidas por uma fórmula simples e que não dependem da dimensão ou do tipo dos edifícios. São assim definidas três curvas nominais:

1. Curva de incêndio padrão ISO 834;
2. Curva de incêndio para elementos estruturais exteriores;
3. Curva de incêndio de hidrocarbonetos.

As curvas de incêndio paramétricas distinguem-se das anteriores por possuírem fase de arrefecimento. Estas curvas pretendem traduzir de modo mais apropriado os incêndios reais e têm em conta os principais parâmetros que influenciam a extensão e o desenvolvimento dos incêndios, ou seja, a dimensão do edifício, o factor de abertura do compartimento de incêndio e a densidade de carga de incêndio.

Neste trabalho utilizou-se, como se referiu, a curva de incêndio padrão ISO 834, cuja expressão analítica é dada por^[7]:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

onde

θ_g é a temperatura dos gases no compartimento de incêndio em [°C];

t é o tempo em [min].

4. Caso estudado

Pretende-se fazer o cálculo da resistência ao fogo da estrutura metálica já apresentada na figura 2, quando sujeita a fogo em todos os compartimentos como mostra a figura 4.

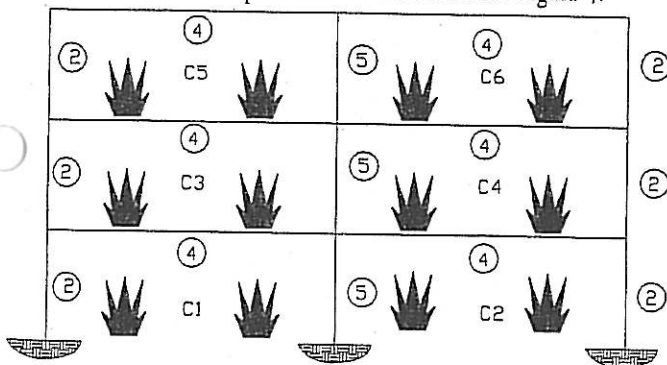


Fig. 4 - Estrutura com a indicação das várias secções tipo e a localização do incêndio.

Utilizou-se aço do tipo Fe 360, tendo o dimensionamento da estrutura à temperatura ambiente conduzido à escolha de perfis IPE 450 para as vigas e HEA 300 para os pilares.

Na figura 4 estão numerados os diversos tipos de elementos estruturais de acordo com a solicitação térmica a que estão sujeitos. Assim, por exemplo, os elementos dos tipos 2 e 5 correspondem a pilares com aquecimento respectivamente num dos banzos e nos dois banzos. A secção do tipo 4 corresponde a vigas com aquecimento em três lados. A figura 5 exemplifica algumas destas situações.

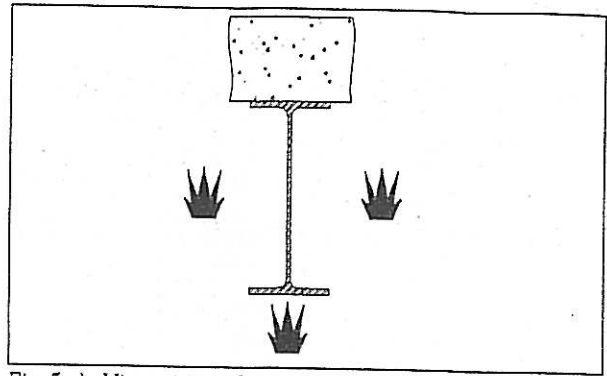
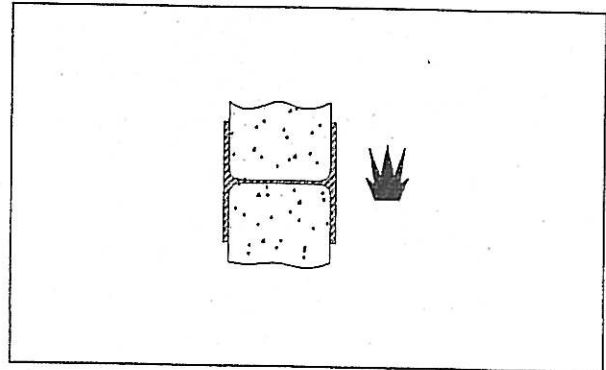


Fig. 5 a) - Viga sujeita a fogo em três lados
Fig. 5 b) - Pilar sujeito a fogo num dos lados



As secções rectas das vigas e dos pilares foram discretizadas com elementos triangulares e quadriláteros, estando representadas na figura 6 a) e b) respectivamente, partes da malha correspondentes às vigas e aos pilares.

O módulo térmico do programa SAFIR permite calcular, como se disse, a evolução do campo de temperaturas ao longo do tempo, fazendo uma análise não-linear, uma vez que as propriedades térmicas dos materiais dependem da temperatura e a própria condição de fronteira radiativa é também não-linear.

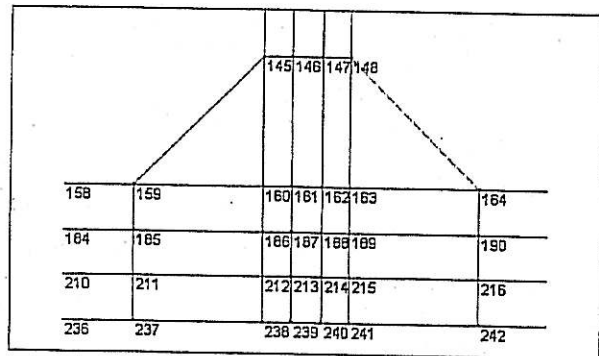


Fig. 6 a) - Discretização parcial da secção recta da viga

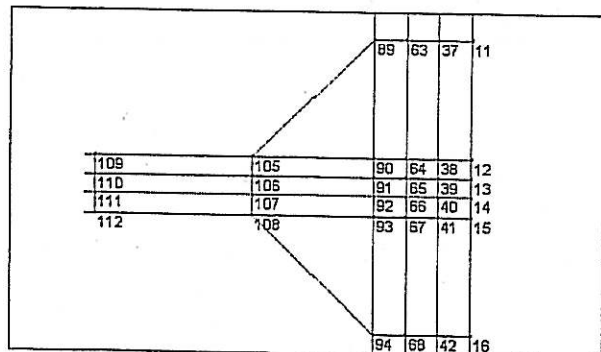


Fig. 6 b) - Discretização parcial da secção recta do pilar

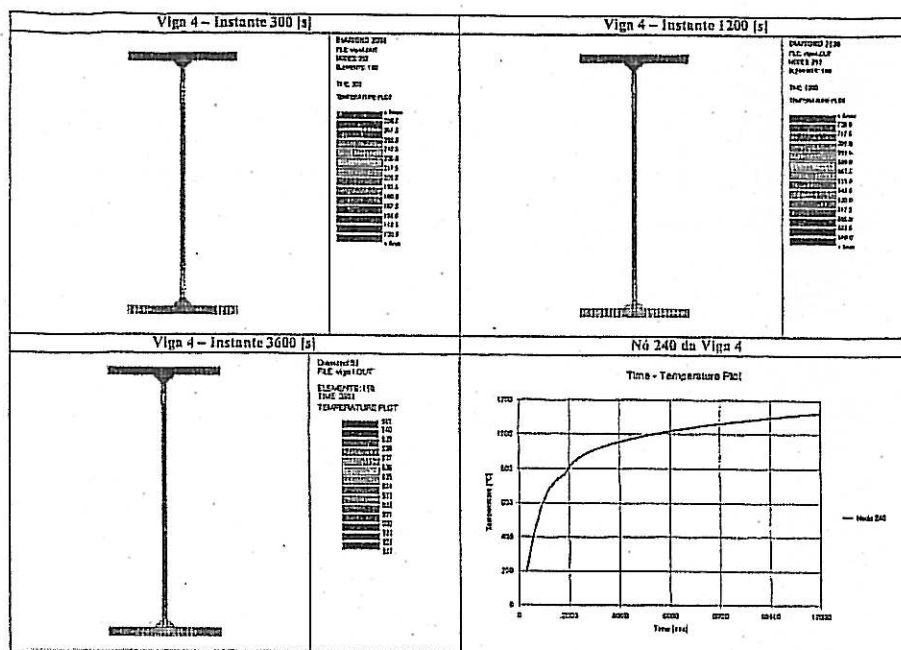


Fig. 7 - Evolução do campo de temperaturas na viga 4

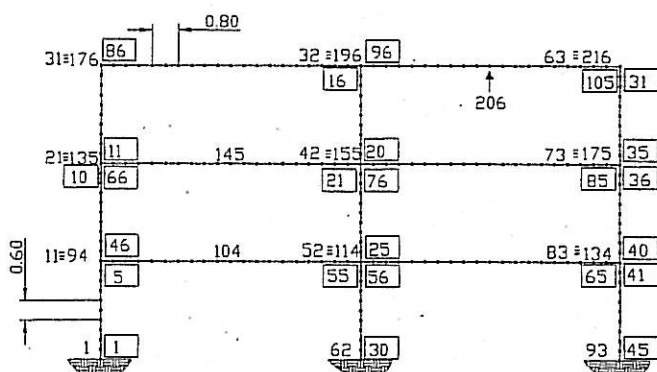


Fig. 8 - Discretização da estrutura. Numeração dos nós e dos elementos (em caixa)

Torna-se assim necessário fazer a análise térmica dos elementos estruturais com propriedades geométricas do tipo 2, 4 e 5, os quais estão sujeitos à curva de incêndio padrão já referida.

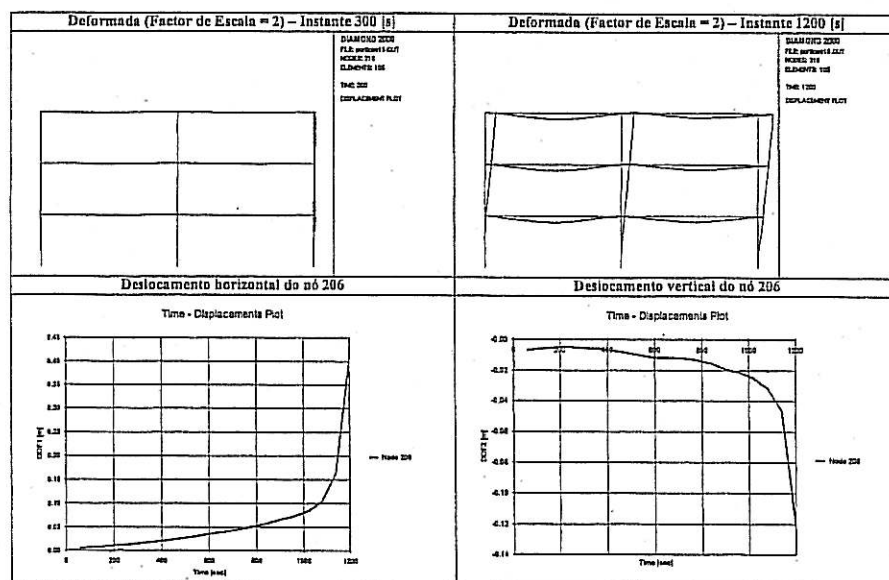


Fig. 9 - Resultados obtidos sem protecção ao fogo

A figura 7 mostra os campos de temperatura em instantes sucessivos, para o caso da viga do tipo 4, bem como a curva tempo - temperatura para o nó 240 da malha de elementos finitos utilizada (ver Fig. 6 a). Estas imagens foram obtidas com o Pós-Processador Diamond 2000, especialmente dedicado ao programa SAFIR.

Como se pode verificar, o campo de temperaturas não é uniforme, situação que se obteria no caso de se utilizar a equação simplificada de condução de calor, preconizada no Eurocódigo 3, onde se assume que o campo de temperaturas é uniforme na secção recta dos perfis, em virtude da elevada condutividade térmica do aço.

Como facilmente se compreende, podem ocorrer elevados gradientes térmicos nas secções em análise, os quais podem provocar significativas alterações nos esforços da estrutura.

Depois de efectuar o cálculo térmico, procede-se ao cálculo estrutural. A discretização da estrutura utilizada é representada na figura 8.

As temperaturas previamente calculadas nos elementos estruturais, são numa segunda fase lidas e utilizadas na parte de cálculo estrutural do programa SAFIR. A determinação dos deslocamentos e dos esforços é feita de uma maneira passo a passo, durante o incêndio, até ao momento em que já não é possível estabelecer o equilíbrio. Este instante corresponde à resistência ao fogo da estrutura.

Os elementos finitos utilizados são do tipo Euler Bernoulli, apresentando 3 nós, com um nó central apenas para contemplar a não-linearidade do deslocamento axial^[14]. Assim, e para o caso de viga bidimensional, existem dois deslocamentos e uma rotação nos nós das extremidades, em conjunto com o referido grau relativo ao deslocamento axial, num total de 7 graus de liberdade.

O Pós-Processador Diamond 2000 possibilita também a visualização da deformada da estrutura, bem como a obtenção de gráficos com a evolução de deslocamentos no tempo, conforme é mostrado na figura 9. A evolução do deslocamento horizontal e vertical diz respeito ao nó 206 representado na figura 8.

A resistência ao fogo da estrutura calculada, correspondente à ocorrência de incêndio em todos os compartimentos, foi de 1202 [s], a qual fica claramente abaixo dos valores regulamentares^[1], pois de acordo com o anexo sobre medidas de segurança contra

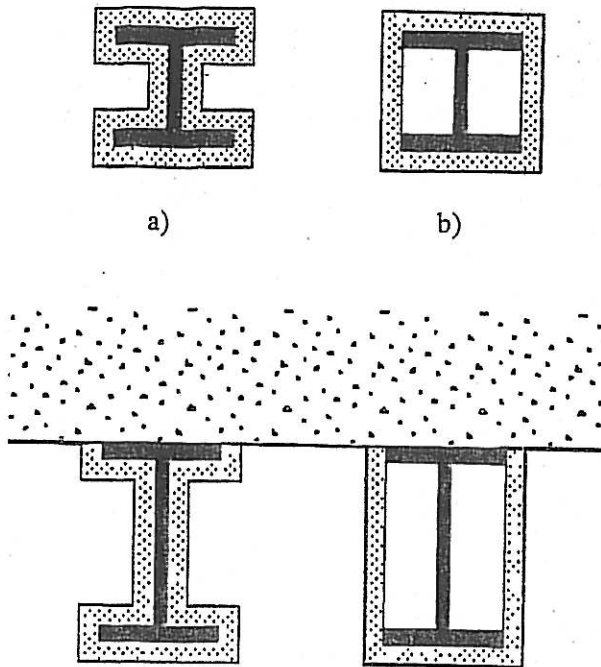


Fig. 10 - Processos distintos de aplicação da protecção ao fogo
a) e c) projecção de material isolante ou tintas intumescentes
b) e d) Placas de material isolante montadas em caixão

riscos de incêndio a aplicar a estabelecimentos comerciais cuja altura não ultrapasse os 9 [m], no seu ponto 3.2.I. sobre características construtivas, explicita que a resistência ao fogo da estrutura deve ser, pelo menos, de 30 minutos.

Numa tentativa de aumentar a resistência ao fogo da estrutura, de modo a serem atingidos os 30 minutos regulamentares, recorreu-se à utilização de material termicamente isolante em todo o contorno das vigas. Não se utilizou protecção contra incêndio nos pilares pois admitiu-se que, entre os seus banzos existia betão leve (Fig. 5b), o qual é, como se sabe, um mau condutor de calor. Assim, após a realização de alguns testes, apresenta-se uma solução em que se adopta "fibra mineral" como material de isolamento com as seguintes propriedades térmicas [20]: condutividade térmica 0.12 [W/mK], calor específico 1200 [J/kgK] e peso volúmico 300 [kg/m³].

Considerou-se que o material é projectado ao longo de todo o contorno dos perfis como mostra a figura 10 c) e com uma espessura de 4 [mm].

Com a utilização deste material isolante a estrutura passou a apresentar uma resistência ao fogo de aproximadamente 33 minutos, superior, portanto, ao valor exigido na regulamentação portuguesa em vigor. O novo comportamento da estrutura apresenta-se na figura 11, onde se poderá verificar o andamento da deformada para um instante intermédio e para o instante imediatamente anterior ao do colapso.

A figura 12 mostra os campos de temperatura obtidos quando se usa "fibra mineral" como material de protecção ao fogo e se considera o efeito térmico da laje de betão.

Na figura 13 comparam-se os diagramas de momentos flectores relativos às duas situações analisadas, para o instante que antecede o colapso da estrutura.

4. Conclusões

Fez-se o cálculo da resistência ao fogo de uma estrutura metálica considerando-se ou não protecção ao fogo.

O método de análise adoptado enquadra-se nos chamados métodos avançados de cálculo pre-

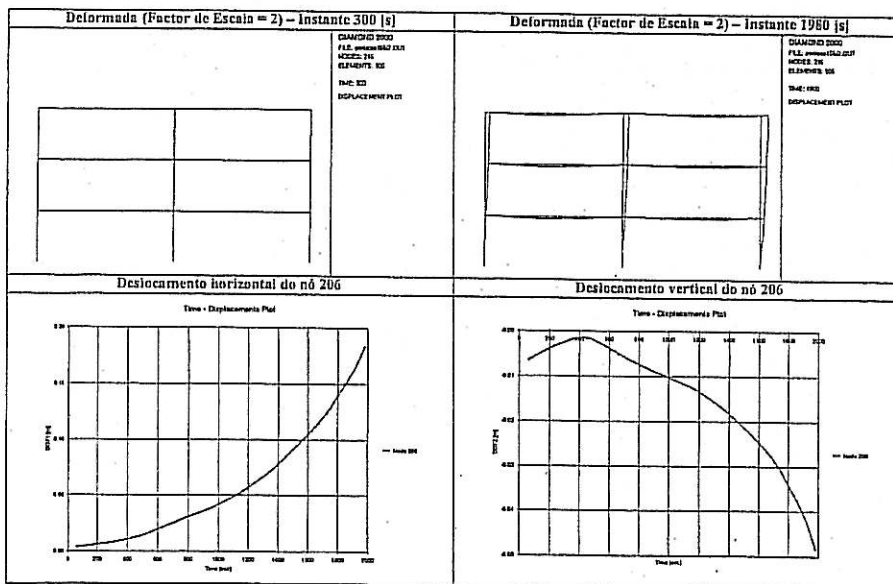


Fig. 11 - Resultados obtidos considerando protecção ao fogo

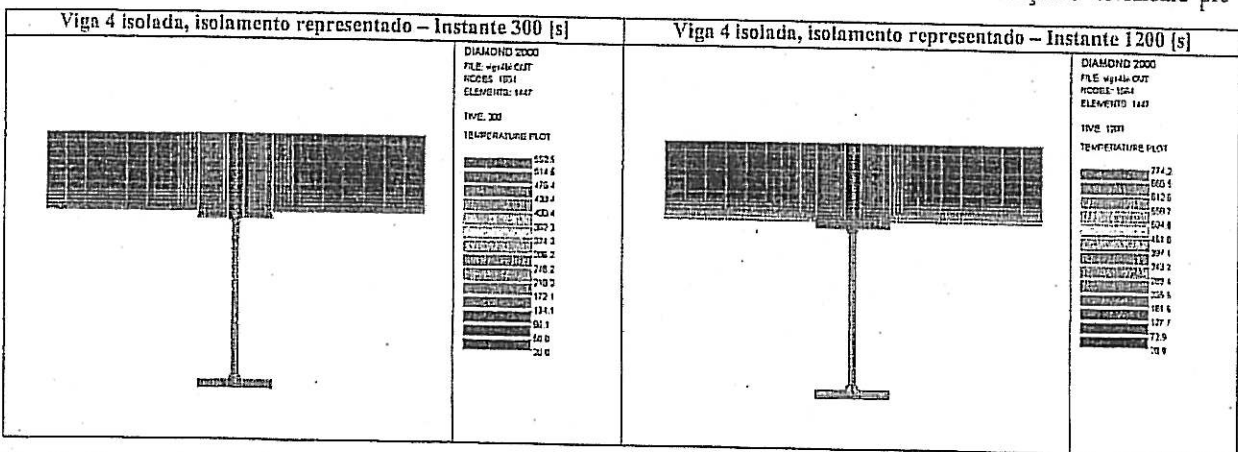


Fig. 12 - Campos de temperatura, no caso de utilização de protecção ao fogo

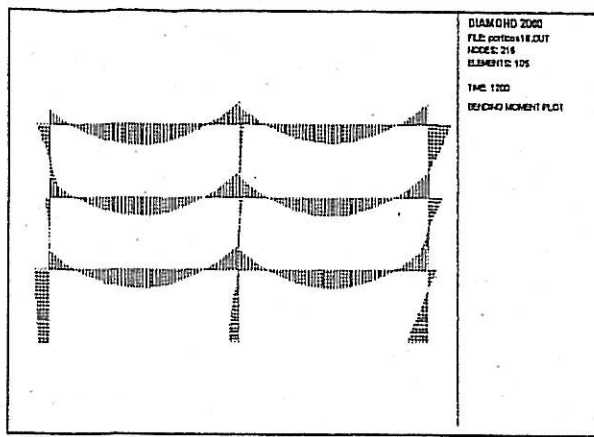


Fig. 13 - a) Diagrama de momentos flectores, instantes que antecedem o colapso da estrutura

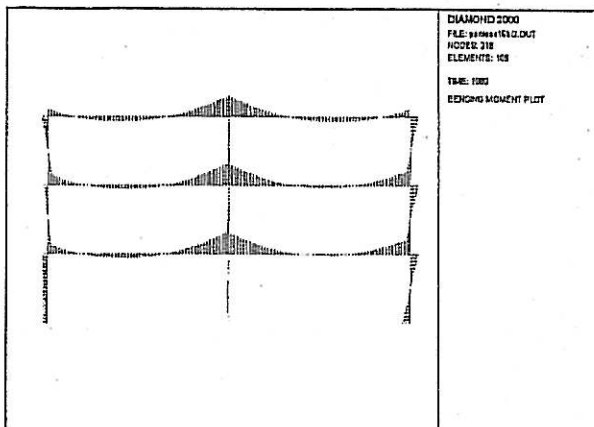


Fig. 13 - b) vigas protegidas com isolamento térmico

conizados nos Eurocódigos, tendo sido utilizado um programa de elementos finitos para análise não-linear geométrica e material desenvolvido na Universidade de Liège, especialmente destinado ao estudo do comportamento das estruturas em situação de incêndio. Trata-se de um programa com enormes potencialidades como ficou demonstrado, que permite o cálculo da resistência ao fogo de estruturas metálicas com ou sem protecção, estruturas mistas aço-betão e ainda de estruturas de betão.

Agradecimentos: Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto nº PBIC/C/CEG/2446/95 intitulado Modelação Numérica do Comportamento das Estruturas Metálicas Sujeitas a Altas Temperaturas, financiado pela FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Referências

- [1] Cabrita Neves, I. "Betão estrutural - Resistência ao Fogo e Eurocódigos", Betão Estrutural, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pp. 305-318, 1994.
- [2] Regulamento de Segurança contra Incêndios em Edifícios de Habitação, Dec. Lei nº 64/90 de 21 de Fevereiro.
- [3] Normas de Segurança contra Risco de Incêndio a aplicar a Estabelecimentos Comerciais (incluindo Anexo sobre Medidas de Segurança contra riscos de Incêndio a aplicar em estabelecimentos Comerciais), Dec. Lei nº 61/90 de 15 de Fevereiro.
- [4] Medidas Cautelares Mínimas contra Riscos de Incêndio a Aplicar aos Locais e seus Acessos Integrados em Edifícios onde estejam Instalados Serviços Públicos e da Administração Cen-

tral, Regional e Local, Instituições de Interesse Público e Entidades Tuteladas pelo Estado, Resolução do Conselho de Ministros, nº 31/89.

[5] Regulamento de Segurança contra Risco de Incêndio em Centros Urbanos Antigos, - Dec. Lei nº 126/89 de 16 de Dezembro.

[6] Regulamento de Empreendimentos Turísticos (incluindo Anexo II relativo às Medidas de Segurança contra Incêndios a que se refere o artº 76), Decreto Regulamentar nº 8/89 de 21 de Março.

[7] CEN, ENV 1991-2-2; "Eurocode 1 - Basis of design and actions on structures - Part 2-2: Actions on structures - Actions on structures exposed to fire"; February 1995.

[8] CEN, ENV 1993-1-2; "Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design"; November 1993.

[9] CEN, ENV 1994-1-2; "Eurocode 4 - Design of Composite steel and concrete structures - Part 1-2: Actions on Structures - Actions on structures exposed to fire"; February 1995.

[10] Kruppa, J. - "Vérification de la Résistance au Feu par les Eurocodes, Construction Métallique, nº 2, pp. 57-65, 1998.

[11] Franssen, J.-M.; "SAFIR - Numerical program for materially and geometrically non-linear analysis of structures exposed to fire"; Institut du Génie Civil; Service "Ponts et Charpentes"; Université de Liège.

[12] CEN, ENV 1993-1-1; "Eurocode 3 - Design of Steel Structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings"; December 1992.

[13] Vila Real, P. M. M.; Franssen, J. M. - "Numerical Modelling of Lateral Buckling of Steel I Beams Under Fire Conditions - Comparison with Eurocode 3", submetido para publicação em Journal of Constructional Steel Research, Elsevier Science Limited, Dezembro de 1998.

[14] CEN, ENV 1991-1; "Eurocode 1 - Basis of design and actions on structures - Part 1: Basis of design"; October 1994.

[15] CEN, ENV 1991-2-1; "Eurocode 1 - Basis of design and actions on structures - Part 2-1: Actions on Structures - Densities, self weight and Imposed loads"; February 1995.

[16] CEN, ENV 1991-2-4; "Eurocode 1 - Basis of design and actions on structures - Part 2-4: Actions on Structures - Wind actions"; February 1995.

[17] CEN, ENV 1991-2-3; "Eurocode 1 - Basis of design and actions on structures - Part 2-3: Actions on Structures - Snow loads"; February 1995.

[18] Jean-Marc Franssen, "Contributions a la Modelisation des Incendies dans les Batiments et de Leurs Effects Sur les Structures", Thèse présentée en vue de l'obtention du grade d'Agrégé de l'Enseignement Supérieur, Année académique 1997-1998.

[19] Vila Real, P. M. M.; Piloto, P. A. G.; Franssen, J. M. - "Modelação Numérica do Comportamento de uma Estrutura Metálica Sujeita à Acção do Fogo - Análise de Vários Cenários de Incêndio", artigo submetido para publicação na RPEE - Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, Jan. 1999.

[20] ECCS - Technical Committee 3 - Fire Safety of Steel Structures, "Explanatory Document for ECCS Nº 89, Euro-Nomogram, Fire Resistance of Steel Structures", ECCS Nº 92, 1996.

[21] Regulamento de Segurança Contra Incêndios em Edifícios Administrativos, Dec. Lei nº 409/98

[22] Regulamento de Segurança Contra Incêndios em Edifícios Escolares, Dec. Lei nº 410/98

[23] Regulamento de Segurança Contra Incêndios em Edifícios Hospitalares, Dec. Lei nº 414/98

A metodologia de Taguchi na análise do comportamento tribológico do par latão/aço

J. Paulo Davim

Doutor em Engenharia Mecânica pelo FEUP, Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro
Membro Sénior OE Nº 5396 (Mecânica)

Resumo: No presente artigo é apresentado um estudo sobre o comportamento ao atrito e desgaste do par latão/aço. Foram realizados ensaios num tribómetro pino sobre disco utilizando um plano de experiências baseado nas técnicas de Taguchi. Pretende-se estabelecer correlações entre a carga, a velocidade e temperatura no contacto com o desgaste e o coeficiente de atrito. Foram obtidas correlações por meio de regressão linear múltipla. Finalmente realizaram-se ensaios de confirmação para efectuar uma comparação entre os resultados previstos pelas referidas correlações e os resultados obtidos experimentalmente.

Palavras chave: Tribologia; atrito; desgaste; técnicas de taguchi; matrizes ortogonais; análise de variância

1 - Introdução

Em acções de contacto entre corpos sólidos desenvolvem-se fenómenos de superfície designados de atrito de desgaste. O atrito entende-se como a resistência ao movimento relativo entre corpos em rolamento ou escorregamento, em circuito aberto ou fechado, com dissipação de energia^[1,3]. A força de atrito é a força tangencial e comum na fronteira dos corpos em contacto. O desgaste entende-se como a progressiva perda de material da superfície activa de um corpo por acção directa do movimento relativo nessa superfície^[2,3]. Trata-se de fenómenos que, em geral, conduzem à perda de eficiência dos componentes mecânicos onde ocorrem, com implicações econó-

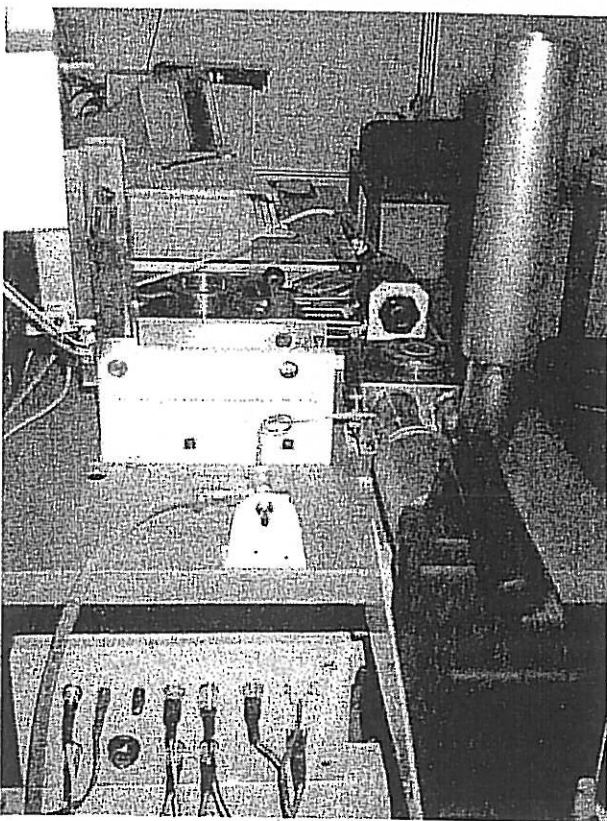


Figura 1 - Tribómetro Pino sobre Disco PLINT TE67HT

micas de relevo e, daí, o grande número de estudos desenvolvidos e em curso sobre este tipo de problemas. Assim, o conhecimento rigoroso da influência de parâmetros mecânicos, tais como a velocidade, a carga e a temperatura do contacto no desgaste e no coeficiente de atrito, é de extrema importância.

As técnicas de Taguchi^[4,5] consistem na elaboração de um plano de experiências que têm como objectivo a aquisição de dados de modo controlado, a execução do referido plano e a análise de dados, de maneira a obter informação sobre o comportamento de um determinado processo. Estas técnicas utilizam matrizes ortogonais para definir os planos experimentais. O tratamento dos resultados obtidos na execução dos referidos planos é feito com base na análise de médias e análise de variância (ANOVA-analysis of variance)^[4].

2 - Procedimento experimental

Os ensaios foram realizados num Tribómetro Pino sobre Disco PLINT TE67HT instalado no Laboratório de Ensaios Mecânicos e Tribologia da Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. Na Figura 1 podemos observar o aspecto do referido equipamento.

Os pinos ensaiados foram de Latão (70/30) com um diâmetro de 8 mm e um comprimento de 68 mm. As pistas testadas foram de aço de construção (Ck45) com uma espessura de 8 mm e um diâmetro de 76 mm. O comprimento de escorregamento previamente fixado foi de 500 m. Todos os ensaios foram realizados a seco.

A metodologia do ensaio consiste em apertar o disco no prato rotativo porta discos e na fixação do pino ao braço de carga. O pino fica sobre o disco com dois graus de liberdade: um vertical e que permite o seu contacto directo com a superfície do disco e outro horizontal que se manifesta por acção do atrito no contacto, activando a célula de carga com deformação que é função do binário de atrito. A medição da temperatura no contacto é feita por meio de um pirómetro óptico. Através de *software* é efectuada a introdução dos parâmetros do ensaio, aquisição de dados e controlo do mesmo.

2.1 Plano de experiências (Técnicas de Taguchi)

Para a elaboração do plano de experiências utilizámos o método de Taguchi para três factores a três níveis, entendendo-se por níveis os valores tomados pelos factores. Na Tabela 1 estão indicados os factores a estudar e a atribuição dos respectivos níveis.

A matriz seleccionada foi a L27 (3¹¹) tem 27 linhas que correspondem ao número de ensaios (26 graus de liberdade) com 13 colunas

Tabela 1 - Atribuição dos níveis aos factores

Nível	Velocidade (m/s)-V	Carga (N)-F	Temperatura (°C)-T
1	1	50	20
2	0,5	100	100
3	0,1	500	200

A escolha efectuada dos factores carga (F) e velocidade (V) teve como objectivo procurar respeitar a relação $p.V=1$, sendo p a pressão de contacto em N/mm² e V a velocidade de deslizamento em m/s