



ASSOCIAÇÃO  
PORTUGUESA  
DE ANÁLISE  
EXPERIMENTAL  
DE TENSOES



06

CONGRESSO NACIONAL *mecânica experimental*  
*ponta delgada 27-29 julho 2005*

EDITORES

Mário A. P. Vaz (FEUP/INEGI) | José A. Simões (U Aveiro) | Paulo A. G. Piloto (IPB-ESTIG)  
Rui M. Guedes (FEUP/INEGI) | Arlindo Silva (IST) | M. João Barros (U Açores)

**6.º CONGRESSO NACIONAL EM MECÂNICA EXPERIMENTAL**

**PONTA DELGADA 27 - 29 DE JULHO 2005**  
**UNIVERSIDADE DOS AÇORES**

**RESUMO DAS COMUNICAÇÕES**

**ORGANIZADO POR:**



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE  
**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE TENSÕES**

---

Sede: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa  
Tlp: 21 844 3225; Fax: 21 844 3021; e-mail: [apaet@lnec.pt](mailto:apaet@lnec.pt); <http://www-ext.lnec.pt/APAET/>  
NIF 501 699 546 Contacto: Carolina Rego, Secretariado

**6.º CONGRESSO NACIONAL EM MECÂNICA EXPERIMENTAL  
PONTA DELGADA 27 A 29 DE JULHO DE 2005-07-04**

**DEPÓSITO LEGAL: 229793/05  
COPYRIGHT ©2005 POR INEGI  
ISBN: 972-8826-09-5**

**EDITORA: INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E GESTÃO INDUSTRIAL  
RUA DO BARROCO, 174  
4465-591 LEÇA DO BALIO  
PORTUGAL  
TELF: +351 22 957 8714  
FAX: +351 22 953 7352  
E-MAIL: [INEGI@INEGI.LUP.PT](mailto:INEGI@INEGI.LUP.PT)  
URL: [WWW.INEGI.PT](http://WWW.INEGI.PT)**

**IMPRESSÃO E ACABAMENTO: GRÁFICOS REUNIDOS, LDA.**

**COMISSÃO ORGANIZADORA**

MÁRIO A. P. VAZ (FEUP/INEGI)  
JOSÉ A. SIMÕES (U AVEIRO)  
PAULO A. G. PILOTO (IPB-ESTIG)  
RUI M. GUEDES (FEUP/INEGI)  
ARLINDO SILVA (IST)  
M. JOÃO BARROS (U AÇORES)  
MARIA DE LURDES EUSÉBIO (LNEC)  
J. F. SILVA GOMES (FEUP/INEGI)  
MÁRIO SANTOS (INETI)

**COMISSÃO CIENTÍFICA**

A. CARDON (BÉLGICA)  
A. CORREIA DA CRUZ (ISQ)  
A. S. MIRANDA (UM)  
A. T. MARQUES (FEUP)  
A. DE FREITAS MENESES (U AÇORES)  
A. BARROS (UM)  
C. NAVARRO (ESPAÑA)  
EMA COELHO (LNEC)  
L. SIMAS DINIS (FEUP)  
F. Q. MELO (U AVEIRO)  
J. F. SILVA GOMES (FEUP)  
J. F. DIAS RODRIGUES (FEUP)  
J. H. SEABRA (FEUP)  
J. J. L. MORAIS (UTAD)  
J. M. CATARINO (LNEC)  
J. M. CIRNE (FCTUC)  
J. M. SILVA (IST)  
M. C. CRUZ AZEVEDO  
M. JOÃO BARROS (U AÇORES)  
MÁRIO SANTOS (INETI)  
N. F. RILO (FCTUC)  
PAULO A. G. PILOTO (IPB)  
S. A. MEGUID (CANADÁ)

**PATROCÍNIOS**

CÂMARA MUNICIPAL DE PONTA DELGADA  
CASA DOS AÇORES DO NORTE  
COMISSÃO DE TURISMO DA REGIÃO DOS AÇORES  
FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO  
UNIVERSIDADE DOS AÇORES  
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL  
FUNDAÇÃO PARA A CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT  
INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E GESTÃO INDUSTRIAL  
SPECTRIS PORTUGAL  
MRA

## *Prefácio*

*A Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões (APAET), cumprindo os seus objectivos de divulgação e promoção das técnicas de Mecânica Experimental, organiza mais um dos seus encontros Nacionais. Este fórum é o primeiro a merecer a designação de Congresso e a ter todos os trabalhos submetidos sujeitos a revisão.*

*Mantendo a intenção de descentralizar estes encontros, onde normalmente participam os mais reputados investigadores nacionais com interesses neta área, a Direcção da APAET decidiu que o 6.º Congresso seria realizado nos Açores. Desta forma a reunião decorre numa das partes mais agradáveis do território nacional e junto da comunidade académica que integra a Universidade dos Açores. Esta Universidade, que cedo aceitou ser anfitriã do 6.º Congresso, fundada há cerca de três décadas, é hoje reconhecidamente um dos principais pólos de desenvolvimento do arquipélago dos Açores.*

*Este Congresso reúne 78 contribuições das várias áreas do conhecimento que recorrem às técnicas da Mecânica Experimental nas suas actividades de investigação. Pela qualidade e número dos trabalhos recebidos este encontro é já uma agradável surpresa.*

*Finalmente envio os meus agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para que este congresso fosse possível: a Direcção da APAET, as Comissões Organizadora e Científica, os patrocinadores, a Universidade dos Açores e todos os participantes pela qualidade das suas contribuições.*

*Resta agora esperar que aquilo que já é uma grata surpresa se transforme num agradável 6.º Congresso de Mecânica Experimental.*

*Mário A. P. Vaz  
Presidente da Comissão Organizadora*

# ÍNDICE

## ANÁLISE DE ESTRUTURAS

UMA SOLUÇÃO BASEADA EM FORMULAÇÃO HÍBRIDA PARA ANÁLISE DE TENSÕES EM TUBOS CURVOS SOB ESFORÇOS NO PLANO DE CURVATURA 1  
*Lúisa Madureira (FEUP); F. J. Q. de Melo (UA); M. A. P. Vaz (FEUP)*

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORTO NUMA COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA SUBURBANA 4  
*Paula C. Silva (IPS); J. Montalvão e Silva (IST)*

ESTUDO EXPERIMENTAL E NUMÉRICO DE COLUNAS DE ILUMINAÇÃO CONFORME A NORMA EN 40 "LIGHTING COLUMNS" 7  
*Marta Carvalho (Schröder); Arlindo Silva (IST)*

DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MODELOS PARA O ESTUDO DA ANÁLISE DE TENSÕES E DE DEFORMAÇÕES EM ESTRUTURAS TUBULARES 10  
*Elza. M. M. Fonseca (IPB); F. J. Q. de Melo (UA); Carlos A. M. de Oliveira (FEUP)*

ENSAIOS LABORATORIAIS DE DUAS ASNAS DE CANTO, DEGRADADAS E REFORÇADAS, DA ANTIGA COBERTURA DO MOSTEIRO DE AROUCA 13  
*R. O. Rodrigues (FEUP); R. C. de Barros (FEUP)*

## ANÁLISE DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL

AVALIAÇÃO DO DANO NA FURAÇÃO DE LAMINADOS CARBONO/EPÓXIDO 16  
*L. M. P. Durão (ISEP); J. M. R. S. Tavares (FEUP); A. T. Marques (FEUP); M. Figueiredo (FEUP); A. G. Magalhães (ISEP); M. de Freitas (IST)*

DAMAGE TOLERANCE ANALYSIS OF AIRCRAFT STRUCTURES UNDER SERVICE LOADING 19  
*M. Milharadas (AFA); L. Reis (IST); A. Fonseca (IST); M de Freitas (IST)*

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS EM AÇO PROTEGIDAS COM TINTA INTUMESCENTE 22  
*L. M. R. Mesquita (IPB); P. A. G. Piloto (IPB); M. A. P. Vaz (FEUP); P. M. M. Vila Real (UA)*

PREVISÃO DE VIDA À FADIGA DOS ENGATES (RABETAS) DOS VAGÕES DE TRANSPORTE DE CARVÃO 25  
*T. Morgado (IPT); C. M. Branco (IST); V. Infante (IST)*

## ANÁLISE DINÂMICA E VIBRAÇÕES

VIGAS COM TRATAMENTO HÍBRIDO ACTIVO-PASSIVO DE AMORTECIMENTO: CONFIGURAÇÕES, MODELAÇÃO E CONTROLO ACTIVO DE VIBRAÇÕES 28  
*C. M. A. Vasques (FEUP); J. F. Dias Rodrigues (FEUP)*

MEDIÇÃO DE VIBRAÇÕES EM VIADUTOS FERROVIÁRIOS DE MÉDIO VÃO 31  
*Carlos Rebelo (UC); L. Simões da Silva (UC); Constança Rigueiro (IPCB); Helena Gervásio (GIPAMB)*

MÉTODO MSE MODIFICADO PARA A DETERMINAÇÃO DOS FACTORES DE PERDA MODAIS EM ESTRUTURAS COM TRATAMENTOS VISCOELÁSTICOS 34  
*R. A. S. Moreira (UA); J. F. Dias Rodrigues (FEUP)*

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO MÓDULO COMPLEXO DE MATERIAIS VISCOELÁSTICOS 37  
*R. A. S. Moreira (UA); J. F. Dias Rodrigues (FEUP)*

IDENTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DOS PARÂMETROS DOS MODELOS ADF E GHM PARA A CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS VISCOELÁSTICOS 40  
*C. M. A. Vasques (FEUP); R. A. S. Moreira (UA); J. F. Dias Rodrigues (FEUP)*

DESENVOLVIMENTO DE UM ACTUADOR DINÂMICO PIEZOELÉCTRICO <i>R. A. S. Moreira (UA); J. F. Dias Rodrigues (FEUP)</i>	43
<b>BIOMECÂNICA</b>	
ANÁLISE DE VIBRAÇÕES DE UM FÊMUR COM E SEM PRÓTESE UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS <i>Paulo R. Fernandes (IST); J. Fialho (IST)</i>	46
ESTUDO NUMÉRICO DA BIOMECÂNICA DA COMPONENTE TIBIAL DA ARTROPLASTIA DO JOELHO <i>A. Completo (UA); F. Fonseca (UC); J. A. O. Simões (UA)</i>	49
INFLUÊNCIA DOS MÚSCULOS MASSETER E TEMPORAL E DAS FORÇAS DE OCLUSÃO NAS DEFORMAÇÕES INDUZIDAS NA FACE EXTERNA DA MANDÍBULA <i>A. Ramos (UA); A. Ballu (U Bordeaux); M. Mesnard (U Bordeaux); L. M. R. Carvalho (ESS); P. Talaia (UA) J. A. O. Simões (UA)</i>	52
CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA DO LIGAMENTO PERIODONTAL EM ESPÉCIMES DE PORCO <i>L. M. R. Carvalho (ESS); R. A. S. Moreira (UA); J. A. O. Simões (UA)</i>	55
MODELO DE ELEMENTOS FINITOS DO OUVIDO MÉDIO COM UMA PRÓTESE TOTAL DE TITÂNIO <i>Nuno F. Rilo (UC); M. F. Costa Paulino (UC); Rogério A. C. P. Leal (UC); M do Carmo Miguéis (UC)</i>	58
ANÁLISE DO ESTADO DE TENSÃO NA ZONA DO IMPLANTE DE UM FÊMUR COM PRÓTESE DE ANCA DINAMICAMENTE SOLICITADO USANDO MÉTODO PSEUDO-DINÂMICO <i>F. J. M. Q. de Melo (UA); P. Talaia (UA); A. Ramos (UA); J. A. O. Simões (UA); M. A. P. Vaz (FEUP)</i>	61
<b>CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS</b>	
MEASUREMENT OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF A CARBON REINFORCED BISMALÉIMIDE OVER A WIDE RANGE OF TEMPERATURES <i>L. F. M. da Silva (FEUP); R. D. Adams (U Bristol)</i>	64
SOLDADURAS MISTAS AÇO INOXIDÁVEL/AÇO CARBONO ESTUDO DO COMPORTAMENTO À FRACTURA A TEMPERATURAS NEGATIVAS <i>A. Loureiro (UC); D. M. Rodrigues (UC); J. Neves (UC); P. Teixeira (UC)</i>	67
OPTIMIZAÇÃO DA ESCOLHA CONJUGADA DE ALGUNS TIPOS DE AÇOS E PROCESSOS DE SOLDADURA DE ELEVADO RENDIMENTO <i>A. L. Salgado Prata</i>	69
ESTUDO NUMÉRICO E EXPERIMENTAL DO MÉTODO DO VÃO VARIÁVEL PARA A IDENTIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES ELÁSTICAS DA MADEIRA <i>J. Xavier (UTAD); N. Garrido (IPV); J. J.L. Morais (UTAD); J. Pinto (UTAD); P. Camanho (FEUP)</i>	72
APLICAÇÕES FUNCIONAIS DAS ESPUMAS METÁLICAS <i>I. M. A. Duarte (INETI); A. J. M. Ferreira (FEUP); M. J. G. Santos (INETI); J. Banhart (UT Berlin)</i>	74
ESTUDO EXPERIMENTAL DO IMPACTO DE BAIXA VELOCIDADE SOBRE PLACAS LAMINADAS DE FIBRA DE VIDRO EM MATRIZ EPOXY <i>Nuno F. Rilo (UC); Luís M. S. Ferreira (IPT)</i>	77
ESTUDO NUMÉRICO E EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DA CORTIÇA <i>C. P. Gameiro (UC); J. M. O. S. Cirne (UC); G. Gary (École Polytechnique)</i>	80

MATERIAIS E MECANISMOS DE LIGAÇÃO ENTRE PARTÍCULAS DE PÓS METÁLICOS NO PROCESSO DMLS <i>Luis Esperto (INETI); António Osório (INETI)</i>	83
FABRICO RÁPIDO DE FERRAMENTAS PELA TECNOLOGIA DMLS <i>Luis Esperto (INETI); António Osório (INETI)</i>	86
<b>COMPORTAMENTO DE MATERIAIS</b>	
ESTUDO EXPERIMENTAL E ANALÍTICO, EM COMPRESSÃO, DE DIFERENTES ESPUMAS PARA APLICAÇÃO EM CONSTRUÇÃO SANDWICH <i>Marco Leite (IST); João Lopes (IST); Arlindo Silva (IST)</i>	89
APLICAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS EM COMPONENTES DA SUSPENSÃO DE VEÍCULOS AUTOMÓVEIS <i>Sérgio Santos (IPL); Arlindo Silva (IST)</i>	92
FAIXAS DE MANTA DE CFRP NO CONFINAMENTO DE ELEMENTOS DE PILAR DE BETÃO ARMADO <i>D. R. S. M. Ferreira (UM); J. A. O. Barros (UM)</i>	95
COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PLACAS DE MATERIAL COMPÓSITO SUJEITO A IMPACTO <i>Marta Rodrigues (IPT); Carlos Coelho (IPT); Marco Leite (IPT); L. M. Ferreira (IPT)</i>	97
COMPORTAMENTO MECÂNICO E ROTURA A LONGO PRAZO DE TUBAGENS EM MATERIAL COMPÓSITO <i>Hugo Faria (INEGI); Rui M. Guedes (FEUP); A. T. Marques (FEUP)</i>	100
APLICAÇÕES DE ESPUMAS DE LIGAS DE ALUMÍNIO NO SECTOR DE TRANSPORTES <i>I. M. A. Duarte (INETI); A. J. M. Ferreira (FEUP); M. J. G. Santos (INETI); J. Banhart (UT Berlin)</i>	103
APLICAÇÕES ESTRUTURAIS DAS ESPUMAS METÁLICAS <i>I. M. A. Duarte (INETI); A. J. M. Ferreira (FEUP); M. J. G. Santos (INETI); J. Banhart (UT Berlin)</i>	106
MECHANICAL PROPERTIES OF PVC PARTICULATED COMPOSITES <i>C. Capela (IPL); J. A. M. Ferreira (UC); J. D. Costa (UC)</i>	109
<b>ENSAIOS EXPERIMENTAIS</b>	
UM PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS ESFORÇOS EM TUBAGENS SOLDADAS ENTERRADAS, SUJEITAS A CARGAS ACIDENTAIS NA SUPERFÍCIE <i>J. A. R. Soares (ISEL); L. A. A. Ferreira (FEUP); F. J. M. Q. de Melo (UA), J. Dias Lopes (ISO); Ferreira Marques (TRANSGÁS)</i>	112
MEDIÇÃO DE FORÇAS DE INTERACÇÃO RODA/CARRIL, EM CURVA, NUM RODADO EXTREMO DE UM VEÍCULO FERROVIÁRIO <i>J. D. Silva (IPS); R. A. Cláudio (IPS); A. J. Valido (IPS); P. J. Moita (IPS)</i>	115
A ANÁLISE EXPERIMENTAL DE TENSÕES NO CONTEXTO DE UM CASO DE ESTUDO MULTIDISCIPLINAR <i>J. C. Marques (FEUP); M. T. Restivo (FEUP); M. F. G. Vieira (FEUP); M. A. P. Vaz (FEUP); F. D. M. B. Magalhães (FEUP)</i>	117
FACTORES SUSCEPTÍVEIS DE INFLUENCIAR O CONFORTO HUMANO NUMA PERSPECTIVA DE SAÚDE PÚBLICA <i>M. A. R. Talaia (UA)</i>	120

AMBIENTE QUENTE – UM ESTUDO DE CASO <i>M. A. R. Talaia (UA)</i>	123
TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE TENSÕES RESIDUAIS <i>J. E. Ribeiro (IPB); M. A. P. Vaz (FEUP); P. A. G. Piloto (IPB); J. M. Monteiro (INEGI)</i>	126
MONITORIZAÇÃO DA INTEGRIDADE DE ESTRUTURAS COMPÓSITAS COM SENSORES EM FIBRA ÓPTICA <i>R. de Oliveira (INEGI); C. A. Ramos (ISEP); O. Frazão (INESC); A. T. Marques (FEUP)</i>	129
DEVELOPMENT OF TESTING APPARATUS TO STUDY FAILURE OF PLASTIC GEARS <i>C. Capela (IPL); F. Ventura (UC); M. C. Gaspar (IPCB)</i>	132
<b>ENSAIOS DE PONTES E BARRAGENS</b>	
ENSAIO DE ANÁLISE EXPERIMENTAL DE TENSÕES PARA O ESTUDO DA ESTABILIDADE DA PONTE MÓVEL DE LEIXÕES <i>J. F. Silva Gomes (FEUP); M. A. P. Vaz (FEUP)</i>	135
MONITORIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE UMA PONTE NOVA EM ARCOS DE ALVENARIA DE PEDRA <i>A. Arede (FEUP); A. Costa (FEUP); C. Costa (FEUP); C. Barbosa (FEUP); P. Costa (FEUP)</i>	138
ENSAIOS DINÂMICOS DE VIADUTOS FERROVIÁRIOS AUTOMATIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE ENSAIO E PROCESSAMENTO <i>F. Magalhães (FEUP); A. Cunha (FEUP); E. Caetano (FEUP)</i>	140
MONITORIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO SISTEMA CONDUTA/JUNTA DE DILATAÇÃO INSTALADO NA NOVA PONTE HINTZE-RIBEIRO <i>Hélder Silva (FEUP); Carlos Félix (FEUP); A. A. Henrique (FEUP); J. A. Figueiras (FEUP)</i>	143
ANÁLISE DE FADIGA DA PONTE FERROVIÁRIA DE ALCÁCER DO SAL <i>Diogo Ribeiro (FEUP); Rui Calçada (FEUP); Raimundo Delgado (FEUP)</i>	146
<b>INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLO</b>	
MONITORIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO DE PLACAS COMPÓSITAS USANDO SENSORES DE BRAGG EM FIBRA ÓPTICA <i>S. F. O. Silva (FEUP); O. Frazão (INESC); J. B. Almeida (FEUP); J. L. Santos (INESC); M. T. Restivo (FEUP)</i>	149
MEDIÇÃO DE TENSÕES LATERAIS COM PZT: APLICAÇÃO AO PÉ <i>A. Marques (ISEP); M. A. P. Vaz (FEUP); R. Ribeiro (FEUP); J. G. M. Mendes (FEUP)</i>	151
ANÁLISE EXPERIMENTAL DE TENSÕES EM MATERIAIS COMPÓSITOS UTILIZANDO SENSORES DE BRAGG EMBEBIDOS <i>C. A. Ramos (ISEP); J. L. Esteves (FEUP); A. T. Marques (FEUP)</i>	154
CALIBRAÇÃO DE ACELERÓMETROS POR INTERFEROMETRIA ÓPTICA – EXTENSÃO DA GAMA DE MEDIÇÃO EM FREQUÊNCIA E ACELERAÇÃO <i>M. I. A. Godinho (INETI); A. Cabral (INETI); M. C. Nunes (INETI); J. M. Rebordão (INETI); V. Oliveira (INETI)</i>	156
<b>MECÂNICA DOS MATERIAIS</b>	
ESTUDO TEÓRICO EXPERIMENTAL DOS FUNDAMENTOS DO CORTE ORTOGONAL: PARTE I - MECÂNICA DE DEFORMAÇÃO JUNTO À ARESTA DE CORTE <i>Pedro A. R. Rosa (IST); Jorge M. C. Rodrigues (IST); Paulo A. F. Martins (IST)</i>	159

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CORTE NA MICROGEOMETRIA DAS SUPERFÍCIES OBTIDAS POR FRESAGEM EM AÇO ST 52.3 NORMALIZADO <i>Valentino A. M. Cristino (IST); Pedro A. R. Rosa (IST); Jorge M. C. Rodrigues (IST)</i>	161
ESTUDO DA INICIAÇÃO E PROPAGAÇÃO DE FENDAS POR FADIGA EM CONTACTOS ELASTOHIDRODINÂMICOS <i>V. Mota (FEUP); L. A. A. Ferreira (FEUP)</i>	163
SPECIMEN SIZE INFLUENCE ON THE R-CURVE BEHAVIOUR OF A QUASI-BRITTLE MATERIAL: WOOD <i>N. M. Dourado (UTAD); S. Morel (LRBB-França); M. F. S. F. Moura (FEUP); J. J. L. Morais (UTAD); G. Valentin (LRBB-França)</i>	166
PRODUÇÃO DE COMPONENTES INTEGRADOS DE ESPUMAS DE LIGAS DE ALUMÍNIO COM INSERTOS METÁLICOS <i>I. M. A. Duarte (INETI); A. J. M. Ferreira (FEUP); M. J. G. Santos (FEUP); J. Banhart (UT Berlin)</i>	169
DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO TECNOLÓGICO DE PRODUÇÃO DE ESPUMAS METÁLICAS EM CONTÍNUO <i>I. M. A. Duarte (INETI); A. J. M. Ferreira (FEUP); M. J. G. Santos (FEUP); J. Banhart (UT Berlin)</i>	172
<b>MÉTODOS ÓPTICOS DE ANÁLISE EXPERIMENTAL</b>	
MODELOS PONTUAIS DE DISTRIBUIÇÃO EM VISÃO COMPUTACIONAL <i>M. J. Vasconcelos (FEUP); João M. R. S. Tavares (FEUP)</i>	175
UMA ABORDAGEM PARA A OBTENÇÃO DE INFORMAÇÃO 3D A PARTIR DE MOVIMENTOS DE CÂMARA <i>João M. R. S. Tavares (FEUP)</i>	178
APLICAÇÕES DA CORRELAÇÃO DIGITAL DE IMAGEM À MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS EM MATERIAIS COM CARACTERÍSTICAS MECÂNICA DIVERSAS <i>J. A. G. Chousal (FEUP)</i>	181
CORRESPONDÊNCIA ENTRE PONTOS NO SEGUIMENTO DE MOVIMENTO EM IMAGENS <i>Raquel R. Pinto (FEUP); João M. R. S. Tavares (FEUP); Miguel V. Correia (FEUP)</i>	184
APLICAÇÃO DA INTERFEROMETRIA HOLOGRAFIA SUBAQUÁTICA PARA ANÁLISE ESTRUTURAL <i>J. M. Monteiro (INEGI); H. M. Lopes (IPB); J. L. Valin Rivera (UE Amazonas); M. A. P. Vaz (FEUP)</i>	187
INSPECÇÃO NÃO DESTRUTIVA POR TÉCNICAS DE ULTRASSONS EXCITADAS POR LASER <i>Jorge M. Reis (FEUP); Fernando M. G. de Almeida (FEUP); M. A. P. Vaz (FEUP)</i>	189
TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS NO PLANO <i>J. E. Ribeiro (IPB); H. M. Lopes (IPB); M. A. P. Vaz (FEUP); P. A. G. Piloto (IPB)</i>	192
TÉCNICAS DE DERIVAÇÃO DE DADOS EXPERIMENTAIS SEM PROPAGAÇÃO E RUÍDO <i>H. M. Lopes (IPB); R. M. Guedes (FEUP); M. A. P. Vaz (FEUP)</i>	195
PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE FLEXÃO EM PLACAS COMPÓSITAS <i>H. M. Lopes (IPB); J. M. Monteiro (INEGI); R. M. Guedes (FEUP); M. A. P. Vaz (FEUP)</i>	198
OBTENÇÃO DE PERFIS 3D COMPLEXOS POR PERFILOMETRIA TRIDIMENSIONAL COM PROJEÇÃO DE CAMPOS DE LUZ ESTRUTURADA <i>P. J. Tavares (FEUP); M. A. P. Vaz (FEUP)</i>	201

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA OBTENÇÃO DA FORMA 3D DE OBJECTOS USANDO TÉCNICAS DE VISÃO ACTIVA <i>Teresa Azevedo (INEGI); João M. R. S. Tavares (FEUP); M. A. P. Vaz (FEUP)</i>	204
<b>MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ESTRUTURAS</b>	
ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS DO ENSAIO ECT (EDGE CRACK TORSION) PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE FRACTURA DA MADEIRA Pinus Pinaster. Ait EM PURO MODO III <i>M. A. L. Silva (UTAD); M. F. S. F. Moura (FEUP); J. J. L. Morais (UTAL)</i>	207
MODELO TERMO-ELÉCTRICO EM ELEMENTOS FINITOS PARA ELECTROEROSÃO <i>José Marafona (FEUP); J. A. G. Chousal (FEUP)</i>	210
MODELOS PARA PLACAS COMPÓSITAS BASEADOS EM APROXIMAÇÕES POR FUNÇÕES DE BASE RADIAL <i>A. J. M. Ferreira (FEUP); C. M. C. Roque (FEUP); R. M. M. Jorge (FEUP)</i>	213
USO DE ELEMENTOS DE INTERFACE NA ANÁLISE NUMÉRICA DO DANO EM PLACAS LAMINADAS DE CARBONO/EPÓXIDO <i>A. M. Amaro (UC); M. F. S. F. Moura (FEUP); J. M. O. S. Cirne (UC); Nuno F. Rilo (UC)</i>	216
O MÉTODO LIVRE DE ELEMENTOS DE GALERKIN NA ANÁLISE NÃO-LINEAR DE ESTRUTURAS ANISOTRÓPICAS <i>Jorge Belinha (IDMEC); Lúcia M. J. S. Dinis (FEUP)</i>	219
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA CINÉTICA DO PROCESSO DE EXPANSÃO DE UMA ESPUMA METÁLICA <i>I. M. A. Duarte (INETI); A. J. M. Ferreira (FEUP); M. J. G. Santos (FEUP); J. Banhart (UT Berlin)</i>	222

## ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS EM AÇO PROTEGIDAS COM TINTA INTUMESCENTE

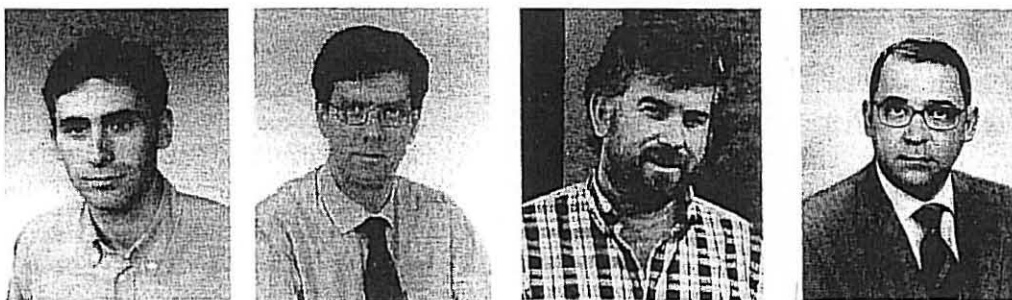
Mesquita, L. M. R.<sup>1</sup>; Piloto, P.A.G.<sup>2</sup>; Vaz, M.A.P.<sup>3</sup>; Vila Real, P.M.M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> – Assistente, DMA-ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança

<sup>2</sup> – Professor Coordenador, DMA-ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança

<sup>3</sup> – Professor Associado, DEMEGI – FEUP, Universidade do Porto

<sup>4</sup> – Professor Catedrático, DEC, Universidade de Aveiro



### RESUMO

*Os regulamentos de projecto de estruturas determinam que os elementos estruturais devem possuir uma determinada resistência ao fogo, dependente do tipo de edifício a que pertençam, para garantir a segurança dos seus ocupantes e equipas de socorro. Uma viga sem constrangimentos laterais sujeita a este tipo de acidente pode atingir o colapso pelo fenómeno de instabilidade por encurvadura lateral torsional, provocado pela diminuição da capacidade resistente. Este trabalho apresenta o procedimento experimental e os ensaios a realizar para a determinação da resistência ao fogo de vigas de aço IPE100 protegidas com tinta intumescente. São analisadas diferentes espessuras de protecção ao fogo, verificando-se um aumento da temperatura crítica e do tempo de resistência ao fogo com o incremento desta.*

### 1- INTRODUÇÃO

As estruturas de aço são amplamente utilizadas na construção de edifícios devido à sua elevada resistência mecânica, boa ductilidade e rápida execução da obra. No entanto, devido à deterioração das propriedades mecânicas com a temperatura, é fundamental que toda a estrutura, e os seus elementos, possuam a resistência necessária para prevenir um eventual colapso causado pela ocorrência de um incêndio.

A resistência do aço a temperaturas elevadas encontra-se definida com grande detalhe, sendo conhecido que a 550 [°C] o aço estrutural possui somente 60 % da sua capacidade resistente à temperatura

ambiente. Estudos mais recentes vieram demonstrar que esta temperatura limite depende essencialmente de dois factores, a distribuição da temperatura na secção transversal e o grau de utilização, definido pelo carregamento e pela capacidade resistente, (Corus, 2001). Para verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais pode ser necessário recorrer à utilização de perfis de gama superior, de aços de elevada resistência ao fogo ou utilizar medidas passivas de protecção para limitar a temperatura no aço.

As tintas intumescentes são materiais reactivos que reagem com a acção de um

incêndio, originando um aumento de volume, ver a figura 1, e consequente aumento de protecção térmica. O aquecimento dos perfis protegidos é devido, essencialmente, ao modo de transferência de calor por condução, já que o aço não se encontra directamente exposto à radiação do fogo ou em contacto com os seus gases, (Lewis, 2000). A aplicação de tintas intumescentes como protecção ao fogo é função das propriedades físicas e térmicas do mesmo, da massividade do elemento a proteger e do tempo de resistência ao fogo pretendido.

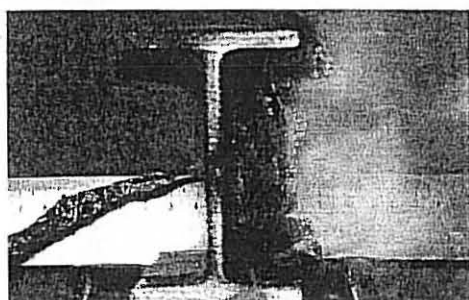


Figura 1 – Reacção da tinta intumescente.

## 2- OBJECTIVOS

Pretende-se com este trabalho apresentar um conjunto de ensaios experimentais, à escala real, para determinação da temperatura crítica de vigas submetidas à acção do fogo e protegidas com tintas intumescentes, sujeitas a um carregamento mecânico constante e posterior solicitação térmica. Os ensaios são executados segundo as especificações da norma UNE 23820, (UNE 23820, 1997).

A tabela 1 apresenta os valores medidos da espessura seca em cinco secções longitudinais da viga, utilizando oito leituras por secção (Si).

Tabela 5 – Valores da espessura de protecção [µm]

Ensaio	S1	S2	S3	S4	S5	Média
2	440,50	468,38	435,75	418,88	408,00	434,30
3	430,50	492,00	493,88	504,63	448,38	473,88
4	487,25	544,63	491,13	502,38	458,38	496,75
5	1265,25	1327,47	1348,81	1363,06	1291,56	1319,23
6	1465,72	1506,41	1553,88	1558,47	1522,09	1521,31
7	1410,56	1463,44	1488,94	1407,59	1434,38	1440,98

O primeiro conjunto de três ensaios possui um valor de espessura média de protecção de 468.3 [µm] e o segundo de 1427.2 [µm], correspondendo a uma estabilidade ao fogo de 31 e 44 minutos, respectivamente, para uma exposição à ISO834. Valores obtidos por extrapolação dos valores recomendados pelo fabricante da tinta para a massividade do perfil utilizado e uma temperatura crítica de 550 [°C], (CIN, 2003). É ainda realizado um ensaio de uma viga sem tinta intumescente, para se verificar a eficácia deste tipo de protecção. Os ensaios são executados com uma solicitação correspondente a 60% do momento resistente à temperatura ambiente.

As vigas encontram-se suportadas em apoios de forquilha e não possuem qualquer constrangimento lateral, podendo atingir o fenómeno de instabilidade por encurvadura lateral torsional, ver a figura 2. Segundo o Eurocódigo 3 parte 1.1 o momento resistente da viga, à temperatura ambiente, é dado pela equação (1), (CEN prEN1993-1-1, 2003).

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1} \quad (1)$$

em que  $W_{pl,y}$  representa o valor do módulo plástico,  $f_y$  o valor da tensão de cedência e  $\chi_{LT}$  o factor de redução para a encurvadura lateral.

## 3-PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os perfis utilizados nos ensaios são IPE100 de resistência S235, com as seguintes propriedades mecânicas: módulo de elasticidade  $E = 209.7 [GPa]$  e tensão de cedência  $f_y = 293 [MPa]$ , valores medidos experimentalmente. A distância entre apoios ( $L_{sup}$ ) é de 2200[mm], o comprimento de viga exposto ao fogo ( $L_{exp}$ ) é de 1950[mm].

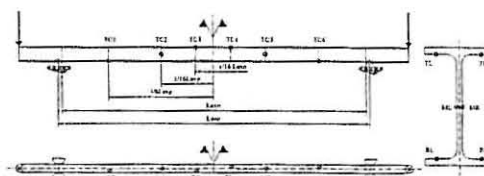


Figura 2- Caso de estudo e localização dos termopares.

As cargas são aplicadas a uma distância de 250[mm] dos apoios através de dois cilindros hidráulicos. A evolução da temperatura na viga é registada através de termopares do tipo K, soldados à viga, posicionados de acordo com a norma UNE 23820 e apresentados na figura 2.

O aquecimento será realizado de acordo com uma taxa de aquecimento pré definida de 800 [°C/h], utilizando o esquema representado na figura 3. As resistências eléctricas (8) são apoiadas numa armadura em aço (9) e ligadas a um sistema de aquecimento. Para aumentar a eficiência térmica do processo é utilizada uma manta de fibra cerâmica (4) com malha de aço inoxidável. Para além do registo da temperatura na viga (3) é registada a temperatura na envolvente do perfil (1) e na armadura (2).

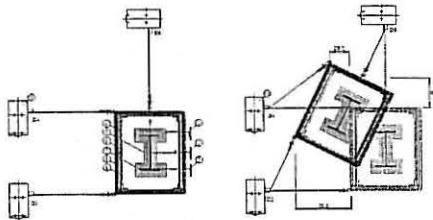


Figura 3- Esquema do procedimento do ensaio.

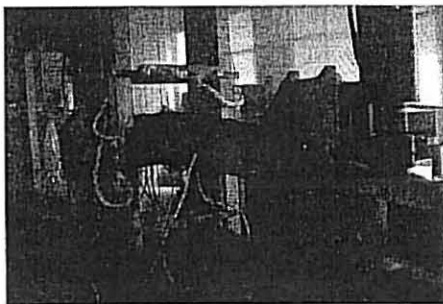


Figura 4- Ensaio em execução.

Durante a execução dos ensaios, ver a figura 4, são medidos os deslocamentos, na secção central da viga, com os transdutores de deslocamento apresentados na figura 3 (D2, D4, D6).

#### 4- RESULTADOS

As figuras 5 e 6 apresentam a evolução da temperatura do fogo (Tf) e nas vigas (Tv), assim como o resultado das medições do deslocamento vertical (DV) e dos deslo-

camentos laterais, em cima e em baixo (DLT e DLB), na secção central.

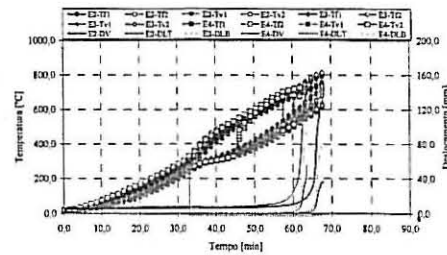


Figura 5- Resultados dos ensaios 2 a 4 (468.3 [µm]).

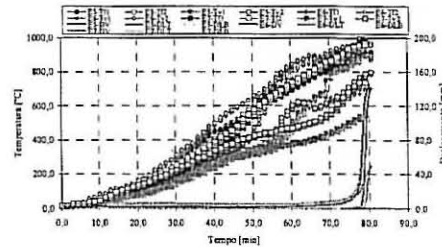


Figura 6- Resultados dos ensaios 5 a 7 (1427.2 [µm]).

Estes resultados evidenciam a perda da capacidade resistente devido ao aumento da temperatura no aço e a ocorrência de instabilidade por encurvadura lateral. O aumento da espessura de protecção origina um acréscimo da temperatura crítica e conseqüente tempo de resistência ao fogo.

#### REFERÊNCIAS

- Corus Construction & Industrial, "Fire resistance of steel framed buildings", 2001.
- Lewis, K.R., "Fire Design of Steel Members", Fire Engineering Research Report, University of Canterbury, ISSN 1173-5996, March 2000.
- Asociación Española de Normalización y Certificación, UNE 23820 - "Método de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de los elementos estructurales, mediante la aplicación de protección a los elementos estructurales en acero"; Madrid, 1997.
- CEN prEN 1993-1-1; "Eurocode 3, Design of Steel Structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings"; Stage 49 – draft; May 2003.
- CIN – Corporação Industrial do Norte; Boletim técnico, 7G-950 PROTHERM - HB Pintura intumescente de alta espessura; Julho 2003 - Portugal.