

4^{as}

JORNADAS de
Segurança
aos Incêndios Urbanos



6 e 7 Novembro 2014

Instituto Politécnico de Bragança

Atas dos Artigos

4^{as} JORNADAS de Segurança aos Incêndios Urbanos

Atas dos Artigos

ENTIDADES LOCAIS



APOIO À COMUNIDADE CIENTÍFICA

FCT

Fundação para a Ciência e a Tecnologia
Ministério da Educação e Ciência

APOIOS



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



AUTORIDADE NACIONAL
DE PROTECÇÃO CIVIL



universidade
de aveiro



ORDEM DOS
ARQUITECTOS



ORDEM
DOS
ENGENHEIROS



PATROCÍNIOS



ISBN 978-989-97210-2-9



4^{as} JORNADAS de Segurança aos Incêndios Urbanos



Instituto Politécnico de Bragança

Atas dos Artigos



TÍTULO:

Atas dos Artigos das 4^{as} Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos

EDIÇÃO:

ALBRASCI (Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio)

EDITORES:

Débora Ferreira (IPB), Elza Fonseca (IPB), João Carlos Viegas (LNEC), João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI), José Pedro Lopes (ANPC), Luís Mesquita (IPB), Nuno Lopes (UA), Paulo Piloto (IPB)

DESIGN GRÁFICO:

Soraia Maduro – CIPweb IPB

EDIÇÃO:

1^a, Novembro de 2014

ISBN:

978-989-97210-2-9

DEPÓSITO LEGAL:

382800/14

IMPRESSÃO:

Bringráfica – Indústrias Gráficas, Lda

OBSERVAÇÃO:

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida sem autorização escrita dos autores e da editora

PREFÁCIO

A Segurança Contra Incêndio de Edifícios (SCIE) atingiu a sua maturidade em Portugal fruto do desenvolvimento sustentado que tem tido na última década não só ao nível da investigação com a realização de vários projetos nacionais e europeus em várias instituições Portuguesas, como com o aparecimento de formação avançada (mestrado e doutoramento) e formação profissional em várias áreas da SCIE e da criação duma regulamentação uniforme para a área, suportada por uma normalização também ela completa e abrangente de toda a área da SCIE. Este desenvolvimento trará enormes retornos não só ao nível da segurança das edificações, bens e pessoas, como económicos, com um reflexo positivo para a sociedade. Portugal está hoje na primeira linha do desenvolvimento na área da SCIE. Poderemos dizer que projetar e construir hoje é mais seguro em termos de SCIE do que há quinze anos atrás e por isso temos que nos sentir orgulhosos.

No acompanhamento deste desenvolvimento, os Laboratórios das instituições públicas Portuguesas também se apetrecharam com novos e importantes equipamentos, que permitem o ensaio e certificação dos produtos das indústrias nacionais, tornando estas mais competitivas na sua ação não só no mercado nacional como internacional.

Portugal é hoje uma referência mundial na área da SCIE, sendo respeitado no Brasil e restantes PALOP como no resto do mundo. Neste relacionamento deve se destacar a ligação com o Brasil não só ao nível dos bombeiros, dos técnicos da empresas e dos professores e investigadores que na ALBRASCI – Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio encontraram um espaço de discussão e colaboração em diferentes iniciativas em SCIE.

As Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos começaram em 2006, aquando da realização do primeiro Mestrado em Segurança Contra Incêndios Urbanos na Universidade de Coimbra, e em cada nova edição o sucesso vai-se renovando com o aparecimento de novos trabalhos científicos com um nível científico cada vez maior. Estas Jornadas têm constituído um fórum de debate alargado entre técnicos e demais interessados na área da SCIE.

As 4^{as} Jornadas em SCIE (4JORNINC) realizam-se este ano em Bragança, no Instituto Politécnico, pois esta é uma Escola que ao longo das últimas décadas tem realizado trabalho na área e criou um grupo de investigação que tem atuado ao maior nível em termos nacionais e internacionais. O número e qualidade das publicações submetidas a este evento foi muito bom pelo que o sucesso das 4JORNINC está assegurado.

Para finalizar queria agradecer a sua participação nestas Jornadas que serão certamente do seu maior interesse e profícuas para o seu desenvolvimento profissional.

João Paulo C. Rodrigues

COMISSÃO ORGANIZADORA

Débora Ferreira (IPB)
Elza Fonseca (IPB)
João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI)
João Carlos Viegas (LNEC)
Luís Mesquita (IPB)
Nuno Lopes (UA)
José Pedro Lopes (ANPC)
Paulo A. G. Piloto (IPB)



Laboratório Nacional de Engenharia Civil



COMISSÃO CIENTÍFICA

Aldina M. da Cruz Santiago (FCTUC)
António Moura Correia (IPC)
A. Sérgio Miguel (U Minho)
Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers)
Carlos Pina dos Santos (LNEC)
Cristina Calmeiro dos Santos (IPCB)
Débora Ferreira (IPB)
Elza Fonseca (IPB)
José Carlos M. Góis (FCTUC)
João Carlos Viegas (LNEC)
João Ferreira (IST)
João Paulo C. Rodrigues (FCTUC)
João Pinheiro (CDOS Bragança – ANPC)
João Ramôa Correia (IST)
Joaquim Barros (U Minho)
Jorge Gil Saraiva (LNEC)
Lino Forte Marques (FCTUC)
Luís Laím (FCTUC)
Luís Mesquita (IPB)
Miguel Chichorro Gonçalves (FEUP)
Nuno Lopes (UA)
Paulo A. G. Piloto (IPB)
Paulo Jorge M. F. Vila Real (UA)
Paulo Lourenço (U Minho)
Pedro Martins Arezes (U Minho)
Pedro Vieira Carvalheira (FCTUC)
Rui Faria (FEUP)
Vítor Carlos T. Abrantes (FEUP)

ÍNDICE

PREFÁCIO	i
COMISSÃO ORGANIZADORA	iii
COMISSÃO CIENTÍFICA	iv
PALESTRAS	1
O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE ESTRUTURAS E OS EUROCÓDIGOS ESTRUTURAIS	3
PREVENÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA OS RISCOS DERIVADOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS.....	27
GRAU DE PRONTIDÃO DOS MEIOS DE SOCORRO E A EFICÁCIA DOS BOMBEIROS PORTUGUESES	37
CONTROLO DE FUMO EM GRANDES ÁTRIOS.....	47
VALIDAÇÃO NUMÉRICA DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM CONDIÇÕES DE INCÊNDIO.....	61
ARTIGOS	111
SESSÃO DE ARTIGOS 1:	111
ANÁLISE DA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS E PROPOSTA DA SUA APLICAÇÃO EM MOÇAMBIQUE.....	113
UMA VISÃO SISTÊMICA DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES NO BRASIL E A POSSIBILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM REGULAMENTO NACIONAL.....	127
ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SEGUNDO OS PRECEITOS DE DESEMPENHO, DURABILIDADE E SEGURANÇA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO CONFORME AS PRESCRIÇÕES NORMATIVAS BRASILEIRAS.....	139
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM INSTALAÇÕES DE ARMAZENAMENTO DE MERCADORIAS.....	149
INCÊNDIOS EM TÚNEIS RODOVIÁRIOS – ENSAIOS À ESCALA REAL	157
IMPLEMENTAÇÃO DA DIRETIVA ATEX NO SETOR INDUSTRIAL	167
CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDES SECAS.....	177
COMPUTATIONAL SIMULATION ON THE PERFORMANCE OF AIR PLANE JETS FOR SMOKE CONTROL.....	187
CARACTERIZAÇÃO DOS JATOS GERADOS POR VENTILADORES DE IMPULSO.....	199
SESSÃO DE ARTIGOS 2:	213
ANÁLISE DO PERIGO DE INCÊNDIO NA ANTIGA VILA DOS PESCADORES EM PORTO ALEGRE (RIO GRANDE DO SUL - BRASIL).....	215
ADEQUAÇÃO DO MÉTODO DE GREENER À AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO NOS CENTROS URBANOS ANTIGOS.....	225
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS.....	235

AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO URBANO – PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA ANÁLISE E GESTÃO DO EDIFICADO EXISTENTE	245
ORGANIZAÇÃO E GESTÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS: PRINCIPAIS GRUPOS DE INTERESSE.....	253
A SEGURANÇA OPERACIONAL NA ATIVIDADE DE SALVAMENTO E DE COMBATE A INCÊNDIOS	263
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS GESTÃO NO USO DOS EDIFÍCIOS	273
ESTUDO DA EVACUAÇÃO EM CASO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS.....	283
O CONTROLO DE FUMO POR MEIOS ATIVOS E A EVACUAÇÃO EM LOCAIS DE RISCO.....	293
SESSÃO DE ARTIGOS 3:	305
ANÁLISE NUMÉRICA DA ENCURVADURA POR ESFORÇO TRANSVERSO EM VIGAS SUJEITAS A INTERAÇÃO ENTRE ESFORÇO TRANSVERSO E MOMENTO FLETOR A TEMPERATURAS ELEVADAS	307
ESTUDO PARAMÉTRICO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS EM C ENFORMADAS A FRIO	319
EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURES ON THE BOND STRENGTH OF FRP-STRENGTHENED BRICKS	331
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN A ALTAS TEMPERATURAS.....	341
RESISTÊNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO INOXIDÁVEL COM SECÇÕES TUBULARES QUADRADAS DE CLASSE 4 SUJEITOS A FLEXÃO COMPOSTA COM COMPRESSÃO	351
COMPORTAMENTO AO FOGO DE ELEMENTOS DE COMPARTIMENTAÇÃO DE BASE GESSO SUJEITOS A INCÊNDIO NATURAL	363
COMPORTAMENTO AO FOGO DE VIGAS DE BETÃO ARMADO REFORÇADAS À FLEXÃO COM LAMINADOS DE CFRP COLADOS EXTERIORMENTE. ESTUDO EXPERIMENTAL	375
ANÁLISE NUMÉRICA DE VIGAS MISTAS PARCIALMENTE REVESTIDAS DE AÇO E CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	387
ANÁLISE TÉRMICA DE PILARES DE AÇO EXPOSTOS A INCÊNDIOS LOCALIZADOS.....	399
SESSÃO DE ARTIGOS 4:	411
PROPAGAÇÃO DE CHAMAS ATRAVÉS DE VÃOS DE FACHADA EM EDIFÍCIOS.....	413
COMPORTAMENTO AO FOGO DE COLUNAS DE GFRP. ESTUDO EXPERIMENTAL	425
BETÕES CORRENTES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	435
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS MODELOS DE CÁLCULO DA EN1993-1-2 PARA O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE VIGAS C EM AÇO ENFORMADAS A FRIO.....	445
BETÃO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E TÊXTEIS RECICLADAS DE PNEU SUJEITO A ALTAS TEMPERATURAS.....	457
ANÁLISE TÉRMICA 2D E 3D DE UM PAVIMENTO/COBERTURA EM MADEIRA COM PERFURAÇÕES.....	467
RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS EM MADEIRA E SECÇÕES DE PERFIS EM AÇO.....	475

4^{as} Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
Instituto Politécnico de Bragança - Portugal - 6-7 de Novembro de 2014

REDUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS SECÇÕES METÁLICAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS COM BETÃO SUJEITAS AO FOGO	483
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PAREDES EM TABIQUE.....	493
SESSÃO DE ARTIGOS 5:.....	505
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE EXPERIMENTAL.....	507
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE NUMÉRICA.....	517
RESISTÊNCIA AO FOGO DE BLOCOS DE BETÃO LEVE À BASE DE CAROÇO DE ESPIGA DE MILHO	527
REAÇÃO AO FOGO DE BETÃO COM E SEM FIBRAS DE POLIPROPILENO – ANÁLISE EXPERIMENTAL E VALIDAÇÃO NUMÉRICA.....	537
VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS NÃO UNIFORMES EM AÇO - VALIDAÇÃO NUMÉRICA DO MÉTODO GERAL DO EC3.....	549
FORMULAÇÃO E COMPORTAMENTO DE TINTAS INTUMESCENTES.....	559
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN EXPUESTAS A FUEGO ISO834.....	569
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PERFIS C E Z ENFORMADOS A FRIO	579
ENSAIOS DE REAÇÃO AO FOGO DE TINTAS INTUMESCENTES COM GRANULADO DE CORTIÇA.....	589
FATOR DE REDUÇÃO DO NÍVEL DE CARREGAMENTO, η_n : VALORES DE PROJETO E CONSEQUÊNCIAS DA SIMPLIFICAÇÃO APONTADA NO EC2-1-2.....	599
NÍVEL DE CARREGAMENTO À TEMPERATURA NORMAL, n : VALORES DE PROJETO E VALORES MÁXIMOS APONTADOS NO EC2-1-2	609

RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE NUMÉRICA

Jorge Meireles

Aluno
IPB - Bragança

Elza Fonseca*

Professora
IPB - Bragança

Paulo Piloto

Professor
IPB - Bragança

Hélder Santos

Administrador
Jular - Madeiras

Luísa Barreira

Professora
IPB - Bragança

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se um modelo numérico, com recurso ao método dos elementos finitos, para a análise do campo de temperaturas em regime transiente, de lajes em madeira com perfurações submetidas ao fogo. Os resultados numéricos são comparados com os obtidos experimentalmente em duas lajes de madeira com as mesmas características. Foi utilizado o programa Ansys e adotado um método de solução em regime transiente não linear material, utilizando elementos finitos tridimensionais de 8 nós (SOLID70). Para o último instante de tempo é aplicado um critério para a determinação da camada carbonizada que será comparada com o registo experimental obtido em cada laje, permitindo avaliar a secção residual e a influência na resistência ao fogo das diferentes perfurações.

PALAVRAS-CHAVE: Lajes celulares; madeira; perfurações; carbonização.

1. INTRODUÇÃO

O modelo numérico pretende ser uma réplica de lajes pré-fabricadas em madeira e utilizadas em edifícios residenciais e comerciais, [1], [2]. Os autores deste estudo têm publicado diferentes trabalhos nesta área, utilizando modelos numéricos e experimentais para análise de estruturas em madeira ao fogo [2-4].

O comportamento térmico da madeira pode ser descrito através dos processos de formação da zona da pirólise e da camada de carbonização. O processo de pirólise faz com que a massa volúmica da madeira varie em função do aumento da temperatura. Por outro lado, a velocidade

*Autor correspondente – Dep. de Mecânica Aplicada, Instituto Politécnico de Bragança. Campus Santa Apolónia, 5301-857 Bragança. Telef.: +351 273 303157, Fax: +351 273 313055, E-mail: efonseca@ipb.pt

de carbonização da madeira, é uma característica que permite avaliar a resistência ao fogo, sendo determinada pelo avanço da carbonização.

A laje em estudo possui três cavidades, duas dessas cavidades têm diferentes perfurações (seção retangular maior e menor) e a outra cavidade não possui qualquer abertura. As lajes concebidas foram ensaiadas ao fogo num forno de resistência, tendo sido instrumentadas com termopares. O modelo numérico possui as mesmas características do modelo experimental. Adotou-se a utilização da curva de incêndio determinada no forno de resistência, tendo sido consideradas condições de fronteira de convecção e radiação, na face da laje exposta ao fogo. As curvas consideradas para a evolução da temperatura no tempo no interior das cavidades foram obtidas previamente, através da colocação de um termopar de placa no interior de cada uma dessas células no decurso do ensaio experimental das lajes.

2. METODOLOGIA E MATERIAIS

2.1 Modelo de laje

Para o presente trabalho foram construídos dois modelos de laje iguais (laje 1 e laje 2) para serem ensaiadas ao fogo num forno de resistência. Cada laje possui quatro vigas tricapa de 27 mm no interior, permitindo a criação de três células independentes (célula sem perfurações ao centro, células laterais com dois tipos de perfurações), ver Figura 1. Cada laje é composta ainda por uma armadura exterior, constituída por duas vigas Kerto S200x37 e duas vigas S200x39. Cada laje foi instrumentada com termopares (Ti) para leitura das temperaturas durante a exposição ao fogo da face perfurada, conforme desenho de definição da Figura 1.

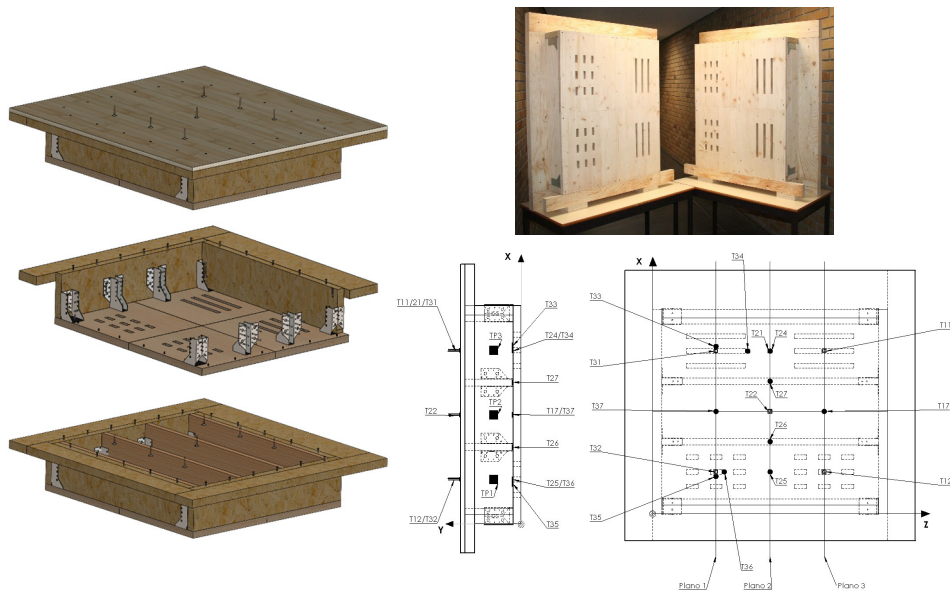


Figura 1: Modelo de laje e posição dos termopares.

Os ensaios experimentais foram realizados de acordo com os requisitos da norma europeia EN 1365-2 para resistência ao fogo de pavimentos e coberturas portantes [5] e com os requisitos de ensaios de resistência ao fogo da EN 1363-1 [6].

O modelo numérico tem a mesma geometria da laje experimental e utiliza elementos hexaédricos do tipo SOLID70 de 8 nós. A malha é regular, tendo sido aplicado um teste de convergência para determinar o tamanho adequado. Na Figura 2 está representado o modelo de elementos finitos da laje, sem representação de duas das vigas da armadura exterior.

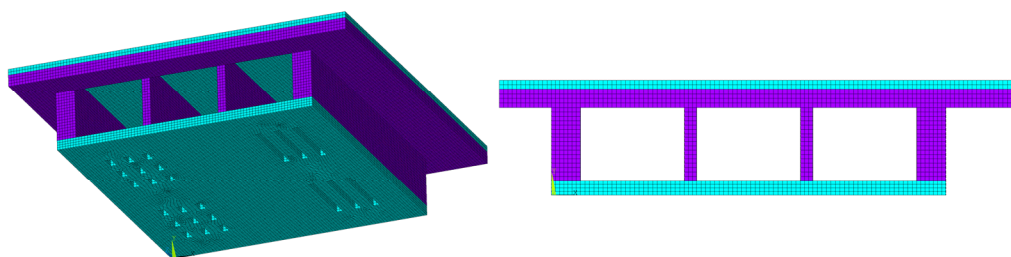


Figura 2: Modelo de laje numérico.

Foram registados os campos de temperaturas em posições nodais idênticas ao registo de temperaturas dos termopares. Pretendeu-se também determinar a taxa de carbonização da superfície exposta da laje (placa de teto) e fazer a comparação entre os resultados experimentais e numéricos.

A velocidade de carbonização (mm/min) é calculada em função da profundidade da espessura carbonizada, em mm, e do tempo de exposição ao fogo, em min, permitindo avaliar a secção residual da estrutura.

2.2 Propriedades térmicas da madeira e curvas de aquecimento

O material utilizado no modelo em análise é a madeira de abeto (spruce), com comportamento não linear dependente da temperatura, cujas propriedades térmicas se encontram definidas no anexo B do Eurocódigo 5 [7].

A madeira utilizada abeto apresenta massa volúmica de 450 kg/m^3 , no caso do material utilizado nas placas de teto, vigas e pavimento (tricapla), e 480 kg/m^3 para as vigas da armadura exterior (vigas Kerto S). A emissividade do material foi considerada igual a 0,8, conforme Eurocódigo 5 [7].

As propriedades térmicas a considerar são a condutividade térmica (Figura 3), o calor específico (Figura 4) e a massa volúmica (Figura 5).

Na análise numérica, tal como nos ensaios experimentais, a face inferior de cada laje, foi submetida à ação do fogo. De acordo com o Eurocódigo 1 [8], a evolução da temperatura de um incêndio ao longo do tempo pode ser definida por curvas de incêndio normalizado.

As curvas de aquecimento consideradas para a evolução da temperatura no interior das cavidades foram também determinadas através da leitura de termopares de placa em cada célula (TPi) durante o ensaio das lajes (TP1, TP2 e TP3), Figura 6. Nas faces das aberturas laterais retangulares foram impostas essas mesmas curvas.

Durante a fase de ensaios foi utilizado apenas um queimador ligado. A temperatura no interior do forno é medida e controlada por um termopar de placa. No ensaio deste tipo de materiais combustíveis, a taxa de libertação de calor contribui para o aquecimento do forno, obrigando o queimador a trabalhar em potência mínima. Este tipo de funcionamento não permitiu seguir o ensaio normalizado ISO834, obtendo-se uma curva real de aquecimento superior (real forno) em cada um dos ensaios das lajes. Também na fase inicial do ensaio da laje 1, o queimador desligou-se, sendo necessário refazer a ligação, originando duas curvas de aquecimento sucessivas, conforme a Figura 6.

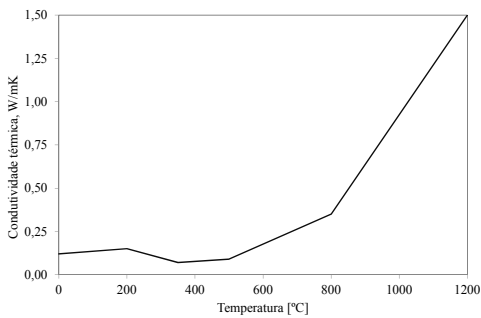


Figura 3: Condutividade da madeira.

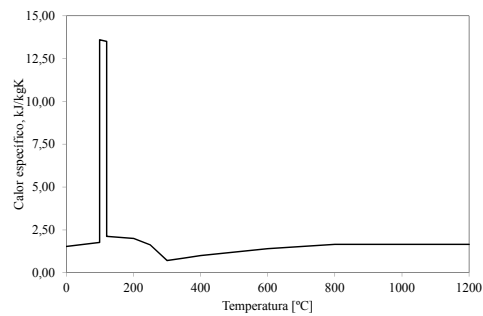


Figura 4: Calor específico da madeira.

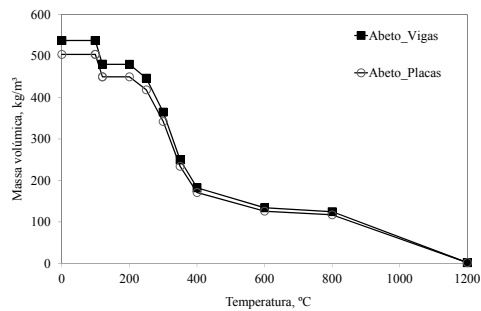


Figura 5: Massa volúmica da madeira.

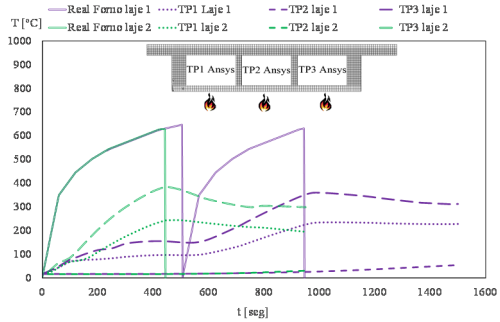


Figura 6: Curvas reais no forno e cavidades.

2.3 Condições de fronteira

Na simulação numérica é utilizado o método dos elementos finitos através do programa ANSYS. Para cada modelo de laje (1 e 2) é calculado o perfil de temperaturas e a espessura de carbonização, sendo os resultados comparados com os obtidos experimentalmente. O método de solução numérico é transiente e não linear, com uma duração de 1500 s para a laje 1 e 950 s para a laje 2, conforme o tempo de ensaio em laboratório nas mesmas lajes.

Neste trabalho adotou-se a utilização da curva de incêndio obtida através do forno de resistência nos ensaios experimentais, Figura 6, tendo sido consideradas condições fronteira de convecção e radiação, na face da laje exposta ao fogo.

No instante inicial, o modelo foi considerado à temperatura ambiente com 16 °C. Foi utilizado um coeficiente de convecção igual a 25 W/m²K na superfície exposta ao fogo, 4 W/m²K na superfície não exposta ao fogo e 25 W/m²K nas paredes internas das células. Foi ainda considerado um fator de emissividade de 1 para a ação do fogo, relativa à superfície exposta da laje, Eurocódigo 5 [7].

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Temperaturas nodais

Os resultados dos campos de temperaturas numéricas (num) foram obtidos em regime transiente para diferentes posições nodais e comparados com os resultados experimentais (exp) obtidos por termopares nas duas lajes. A Figura 7 representa a comparação de resultados na zona das vigas, para a laje 1 e 2.

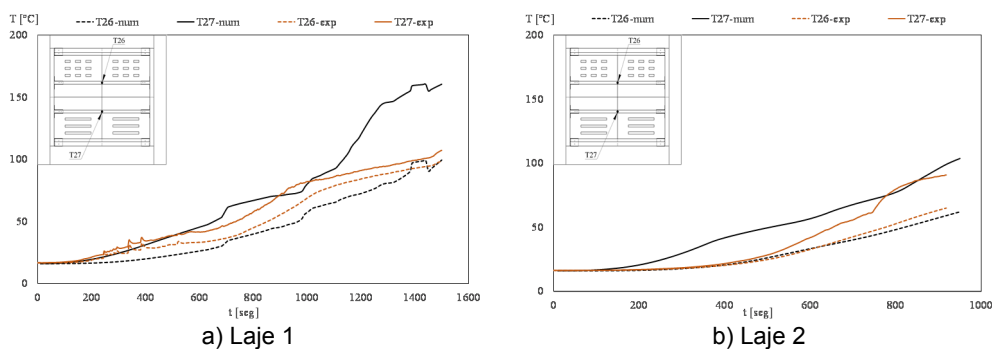


Figura 7: Temperaturas nas vigas das lajes 1 e 2.

Verifica-se que as temperaturas nesta zona da laje, durante o tempo de exposição ao fogo, não ultrapassam os 150 °C. Apesar de se registar alguma variação nos resultados numéricos e experimentais, a tendência é muito semelhante.

A Figura 8 representa os resultados para a célula lateral com menores perfurações.

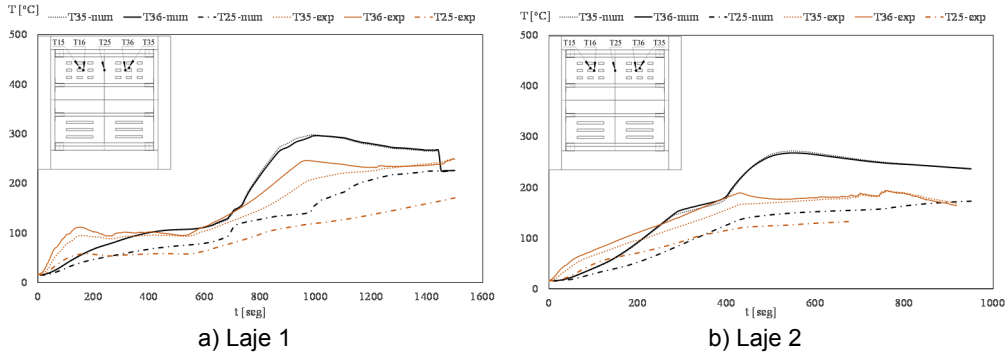


Figura 8: Temperaturas na célula com menores perfurações retangulares.

Na cavidade celular com menores perfurações retangulares as temperaturas nas arestas atingem valores próximos de 300 °C, sendo que os resultados numéricos são ligeiramente superiores aos registados experimentalmente. Na parede interior desta célula, distante das perfurações, os resultados numéricos aproximam-se dos resultados experimentais.

A Figura 9 representa a comparação de resultados para a célula central sem perfurações, laje 1 e laje 2. No interior desta célula as temperaturas são inferiores a 100 °C. Nota-se uma boa concordância entre os resultados numéricos e experimentais.

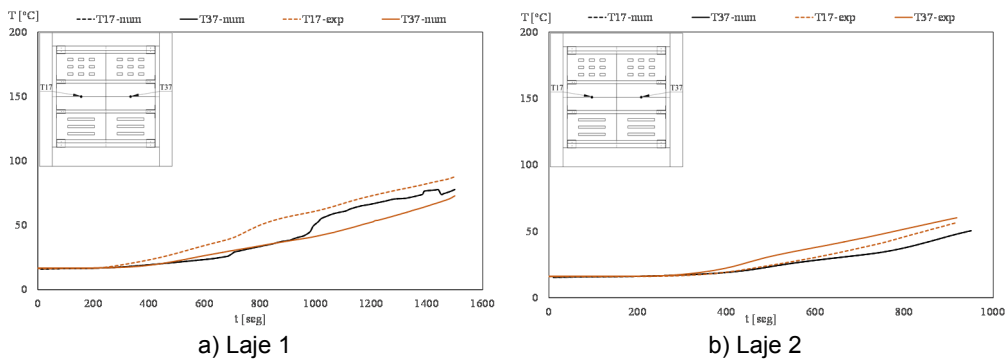
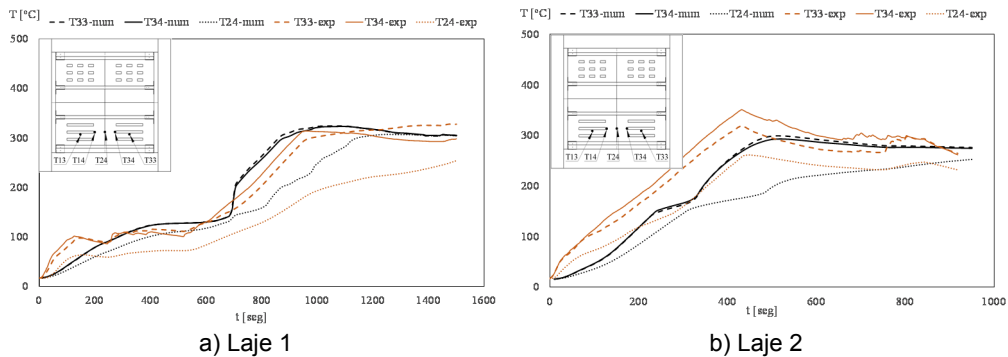


Figura 9: Temperaturas na célula sem perfurações.

A Figura 10 apresenta os resultados para a célula com perfurações de maiores dimensões.

Resistência ao fogo de lajes celulares em madeira com dif. perfurações – análise numérica



a) Laje 1 b) Laje 2
 Figura 10: Temperaturas na célula com maiores perfurações retangulares.

Na célula com perfurações de maiores dimensões, as temperaturas nas arestas atingem valores superiores a 300 °C, tanto numericamente como experimentalmente. Na parede interior desta célula, distante das perfurações, as temperaturas são ligeiramente inferiores.

3.2 Espessura carbonizada

No final do ensaio de cada laje foi possível registar a camada carbonizada que afetou a parte exposta ao fogo, Figura 11. Também no modelo numérico, e para o último instante de tempo, foi aplicado o critério em que a camada carbonizada ocorre entre 280 a 300 °C, Eurocódigo 5 [7], verificando-se a secção residual em cada laje, Figura 11.

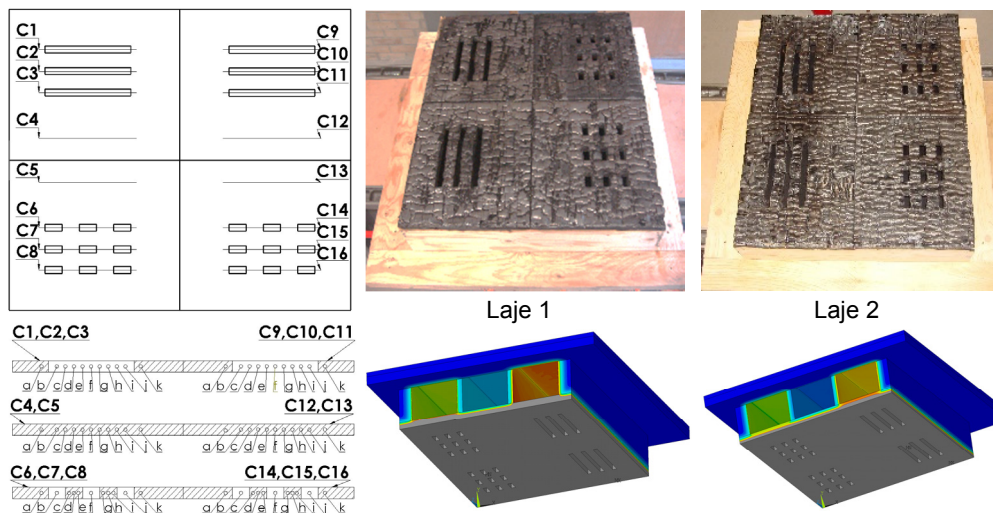


Figura 11: Cortes para medição da espessura e carbonização nos modelos de laje.

A redução da secção resistente da laje deve-se à formação da camada carbonizada, que depende da velocidade de carbonização. A determinação da velocidade de carbonização é um parâmetro importante que permite avaliar a resistência ao fogo da estrutura.

A secção residual, apresentada no modelo numérico, corresponde à espessura em cor cinza. A dimensão desta espessura, em função do tempo em que ocorre, permite determinar a velocidade de carbonização.



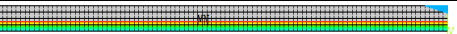

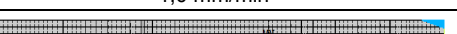

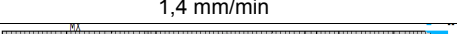
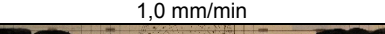
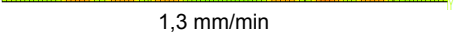
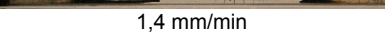


Na tabela 1 apresentam-se, de forma resumida, os valores obtidos em função da média calculada da velocidade de carbonização, para o conjunto dos cortes efetuados em cada uma das três zonas das cavidades das lajes (Figura 11), para o instante final dos ensaios experimental e numérico.

Estes resultados permitem calcular a velocidade de carbonização em cada uma das zonas celulares da laje, verificar a influência do tipo de perfuração e validar o modelo numérico.

A zona de corte relativa à célula sem perfurações apresenta os valores mais baixos de carbonização, sendo a célula com maiores perfurações a que atinge os maiores valores.

No instante final, em que se registaram estes valores, nota-se uma relação de quase o dobro da velocidade de carbonização nas células com perfurações em relação à célula sem perfurações.

Tabela 1 – Velocidades de carbonização, mm/min.

Cortes	Carbonização Ansys	Carbonização Experimental
Laje 1 C1, C2, C3, C9, C10, C11	 1,3 mm/min	 1,2 mm/min
Laje 1 C4, C5, C12, C13	 1,0 mm/min	 0,65 mm/min
Laje 1 C6, C7, C8, C14, C15, C16	 1,4 mm/min	 1,0 mm/min
Laje 2 C1, C2, C3, C9, C10, C11	 1,3 mm/min	 1,4 mm/min
Laje 2 C4, C5, C12, C13	 0,7 mm/min	 0,8 mm/min
Laje 2 C6, C7, C8, C14, C15, C16	 1,2 mm/min	 1,0 mm/min

4. CONCLUSÕES

O modelo numérico revelou-se de grande importância na determinação do campo de temperaturas e da camada carbonizada em modelos de lajes de madeira. Comparando as diferentes células utilizadas nas lajes em estudo, pode concluir-se que as células com perfurações atingem um valor de carbonização quase duas vezes maior em relação às não perfuradas. Isto explica-se pelas temperaturas registadas dentro das cavidades celulares de cada uma das lajes. Para o tempo final de cada ensaio, as células sem perfurações não ultrapassam os 100 °C, enquanto que nas células com perfurações os valores de temperatura triplicam. Pode ainda concluir-se que existe uma boa concordância entre os resultados numéricos e experimentais.

AGRADECIMENTOS

Os investigadores agradecem o apoio da empresa Jular Madeiras na realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] Frangi A., Knobloch M., Fontana M. 2008. Fire design of timber slabs made of hollow core elements. Engineering Structures, USA.
- [2] Fonseca E. M. M., Couto D., Piloto P. A. G. 2013. Fire safety in perforated wooden slabs: a numerical approach, WIT Transactions on the Built Environment, Series Vol.134, WIT Press, Fifth Int. Conference on Safety and Security Engineering, Garzia, Brebbia, Guarascio (Ed.), p. 577-584.

- [3] Fonseca E. M. M., Barreira L. 2009. Charring rate determination of wood pine profiles submitted to high temperatures. WIT Press, Third Int. Conference on Safety and Security Engineering, Guarascio, Brebbia, Garzia (Ed.), 108, p. 449-457.
- [4] Fonseca E. M. M, Barreira L. 2011. Experimental and Numerical Method for Determining Wood Char-Layer at High Temperatures due an Anaerobic Heating. Int. Journal of Safety and Security Engineering, (1)1, p. 65-76.
- [5] CEN, EN1365-2, December 1999, Fire resistance tests for loadbearing elements. Part 2: Floors and roofs, Brussels.
- [6] CEN, EN 1363-1, August 1999, EN 1363-1 Fire resistance tests - Part 1, General requirements, Brussels.
- [7] CEN, EN1995-1-2: 2003, Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: Structural fire design, Brussels.
- [8] CEN, EN1991-1-2: 2002. Eurocode 1: Actions on Structures - Part 1-2: General actions - Actions on Structures Exposed to Fire, Brussels.