

4as

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



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 EDIFÍCIO 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 EXPERIMENTAL

Jorge Meireles

Aluno
IPB - Bragança

Paulo Piloto*

Professor
IPB - Bragança

Elza Fonseca

Professora
IPB - Bragança

Hélder Santos

Administrador
Jular - Madeiras

Luísa Barreira

Professora
IPB - Bragança

RESUMO

As lajes em madeira são elementos estruturais com aplicação crescente, em particular na reabilitação de elementos existentes, na adequação de interiores e na construção de novas estruturas. As excelentes propriedades mecânicas, associadas a elevadas propriedades térmicas e acústicas fazem deste material uma solução possível para lajes de pavimentos e de coberturas. Para avaliação do comportamento ao fogo, foram realizados dois ensaios em lajes celulares (3 células) com diferentes perfurações (pequenos e grandes retângulos). Estas lajes são constituídas por vigas de secção retangular (tricapa casquinha) ligadas a uma armadura (vigas Kerto), com conetores metálicos SIMPSON e painéis de teto e pavimento tricapa casquinha. As lajes foram instrumentadas com termopares tipo K, termopares de discos de cobre para superfície não exposta e termopares de placa para medição da temperatura no compartimento de incêndio e nas células. Foi utilizado um forno de resistência ao fogo, com a prescrição da curva ISO834. Neste trabalho são apresentados os resultados da evolução da temperatura nos painéis perfurados, nas vigas, nos conetores e na superfície não exposta, sendo também apresentados resultados da taxa de carbonização de cada célula.

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

*Autor correspondente – Dep. de Mecânica Aplicada, Instituto Politécnico de Bragança. Campus Santa Apolónia, 5301-857 Bragança.
Telef.: +351 273 303157, Fax: +351 273 313051, E-mail: ppiloto@ipb.pt

1. INTRODUÇÃO

As lajes em madeira são elementos estruturais com crescente utilização na reabilitação de estruturas existentes e na construção de espaços singulares, tais como compartimentos amplos, restaurantes, escolas, piscinas, centros desportivos e comerciais. O isolamento acústico é um dos requisitos determinantes para estes espaços, motivo pelo qual se adotam soluções com perfurações na placa do teto. Estas perfurações favorecem o comportamento acústico dos espaços, mas podem condicionar a resistência ao fogo. A madeira tem atraído a atenção de especialistas, devido às características arquitetónicas e de engenharia, por se tratar de um material de construção ecológico, Fonseca *et al.* [1]. Este material, quando sujeito à ação do fogo, sofre um processo de degradação térmica (pirólise) produzindo gases combustíveis. Nas faces expostas ao fogo, é formada uma camada de carbonização sem resistência mecânica, mas com alguma eficiência de isolamento térmico. Muitos investigadores têm apresentado modelos experimentais e numéricos para o cálculo da degradação física de madeira na presença de altas temperaturas, White e Dietenberger [2], Poon [3], Janssens [4]. A velocidade de carbonização da madeira macia ou estrutural, quando submetida à ação do fogo, tem sido estudada por diferentes investigadores (Schaffer [5]; White e Nordheim [6]; König e Walleij [7]; Gardner e Syme [8]; Collier [9]; Pun *et al.* [10]; Cachim e Franssen [11]; Fonseca e Barreira [12-13]; Fonseca *et al.* [1]). Modelos empíricos para a determinação da velocidade de carbonização e condições de transferência de calor foram apresentados por Schaffer [5], White e Nordheim [6].

Este trabalho visa o estudo experimental do comportamento ao fogo de lajes celulares (3 células) em madeira com diferentes perfurações na placa inferior (teto). Pretende-se avaliar o desempenho térmico das lajes com diferentes tipos de furação, sem utilização de carga mecânica. Os ensaios foram realizados de acordo com os requisitos da norma europeia EN 1365-2 para resistência ao fogo de pavimentos e coberturas portantes [14] e ainda de acordo com os requisitos gerais de ensaios de resistência ao fogo EN 1363-1 [15]. Pretende-se ainda determinar a taxa de carbonização da superfície exposta da laje (placa de teto) e fazer a comparação dos resultados com os valores preconizados do Eurocódigo 5 parte 1.2 [16].

2. LAJE CELULAR EM MADEIRA: CONSTRUÇÃO, MATERIAL E INSTRUMENTAÇÃO

O modelo da laje é formado por uma placa de pavimento em painel tricapa, com dimensões 1150x1232x19 [mm] e por uma placa de teto, com dimensões 870x996.80x32 [mm], também em painel tricapa, onde foram efetuadas as perfurações por operações de maquinagem. A dimensão deste elemento de estrutura foi condicionado pelas dimensões do forno de resistência ao fogo existente no Instituto Politécnico de Bragança. Cada laje possui 3 células independentes (1, 2 e 3). A célula 1 apresenta várias perfurações em forma de pequenos retângulos, a célula 2 não apresenta qualquer tipo de perfuração e a célula 3 apresenta perfurações retangulares de tamanho superior aos da célula 1, ver figuras 1 e 2. O interior da laje possui 4 vigas em painel tricapa de 918.8x200x27 [mm], que permitem a criação das células independentes. A laje é ainda composta por uma armadura exterior, constituída por duas vigas Kerto S 918.8x200x37 [mm] e duas vigas Kerto S 870x200x39 [mm]. As ligações das vigas centrais foram realizadas com elementos metálicos SIMPSON com asas exteriores para as vigas tipo 300 (A=27, B=133, C=84) e as ligações das vigas laterais foram realizadas com elementos metálicos SIMPSON com asas

com termopares de fio tipo K com diâmetro de 0.711 [mm] (T_{ij}) posicionados em diferentes posições da laje, termopares de fio soldados aos conectores (TC_i) e termopares de placa (TP_i). Foram usados seis termopares na face não exposta, cinco para medição da temperatura média ($T_{11}, T_{12}, T_{22}, T_{32}, T_{31}$) e um para a medição da temperatura máxima (T_{21}). A medição da temperatura no interior das células foi feita utilizando termopares de placa (TP_1, TP_2 e TP_3).

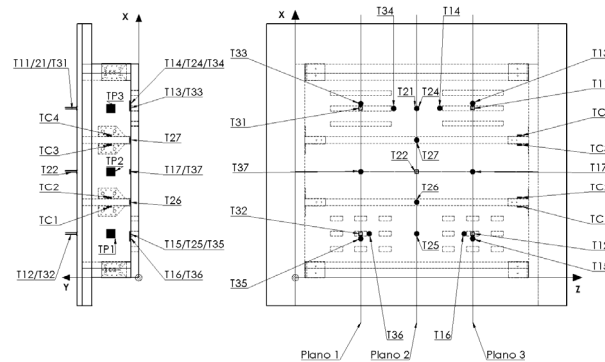


Figura 3: Posição dos termopares.

3. MÉTODOS DE ENSAIO E RESULTADOS

As lajes foram ensaiadas num forno de resistência ao fogo, utilizando a abertura superior, ver figura 4. Este forno está equipado com 4 queimadores a gás natural, com uma potência total de 360 [kW], com um volume útil de 1 [m³], preparado para trabalhar com qualquer curva de incêndio normalizada e em particular com a curva de incêndio padrão ISO834, [17]. A aquisição de sinal dos termopares foi efetuada por sistemas sincronizados da HBM (MGC Plus e Spider 8). Para além destes dois sistemas, foi utilizada uma câmara termográfica dotada de um detetor de infra vermelhos para registo da evolução das temperaturas da face não exposta.

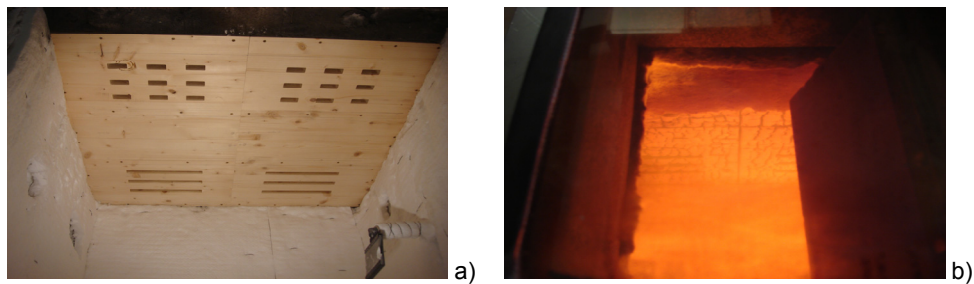


Figura 4: Posição no forno e ensaio da laje 01, a) antes do ensaio, b) durante o ensaio.

Em ambos os ensaios foi utilizado apenas um queimador ligado. Durante a fase inicial do ensaio da laje 01, o queimador desligou-se, sendo necessário refazer a ligação, originando duas curvas de aquecimento sucessivas, ver figura 5a). O valor da temperatura no interior do forno é medido e controlado por um termopar de placa. No ensaio de materiais combustíveis, a taxa de libertação de calor contribui para o aquecimento do forno, obrigando o queimador a trabalhar no regime de

potência mínima. Este regime de funcionamento não permitiu seguir as tolerâncias admissíveis para o ensaio normalizado ISO834, registando-se uma curva real de aquecimento superior (real forno).

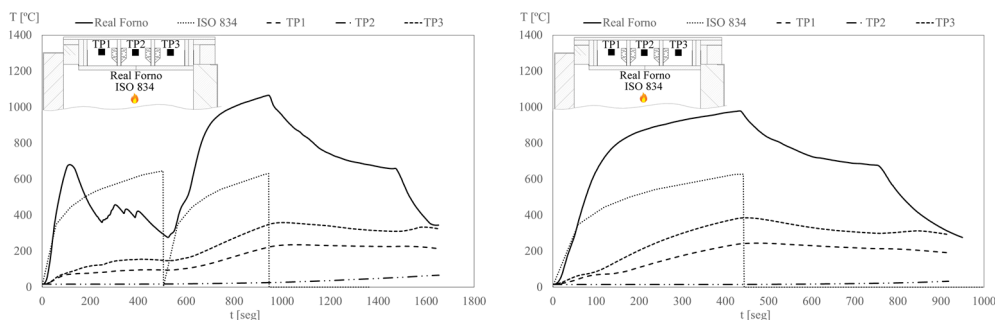


Figura 5: Curvas de aquecimento dos compartimentos. Laje 01 (esq.). Laje 02 (dta).

A fase final dos ensaios das lajes evidenciam duas tendências de diminuição da temperatura, justificadas pelo corte na alimentação do queimador e abertura da porta frontal do forno. A temperatura do compartimento da célula 3 é superior ao valor da célula 2 e da célula 1, sendo este comportamento devidamente justificado com o tamanho das aberturas das perfurações. A temperatura máxima dos ensaios foi, aproximadamente de 1000 [°C], para ambos os ensaios. Na figura 5b) está representada a curva de aquecimento da laje 02 e os registos da temperatura dos compartimentos celulares. Estes registos possuem evoluções semelhantes. A evolução da temperatura está representada para cada uma das células e individualizada para cada laje. Na figura 6 é possível comparar a evolução da temperatura em diferentes pontos de medição da célula 1. Em ambos os ensaios, a temperatura máxima é inferior a 400 [°C]. Na figura 7 é apresentada a evolução da temperatura na superfície do teto da célula 2 (sem perfurações). A temperatura máxima é inferior a 100 [°C], para ambos os ensaios. A temperatura na superfície do teto da célula 3 está representada nos gráficos da figura 8. Em ambos os ensaios a temperatura máxima aproxima-se dos 600 [°C]. A evaporação da humidade na madeira pode ser observada nas medições efetuadas que ultrapassam os 100 [°C]. Em ambos os ensaios verifica-se que os resultados não são simétricos, sendo este facto justificado pela utilização de apenas um queimador.

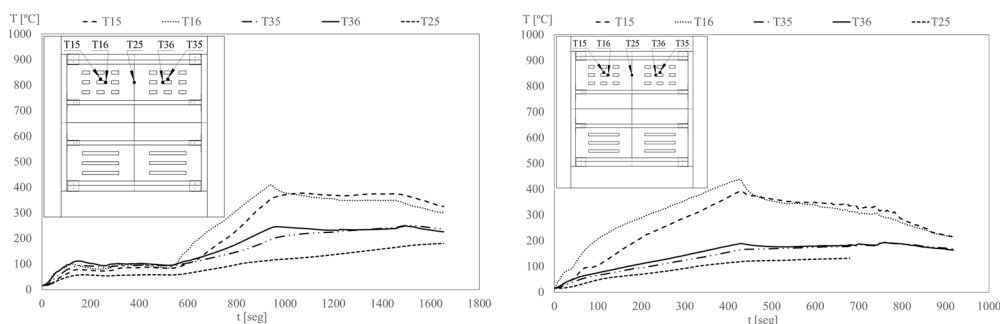


Figura 6: Desempenho térmico na célula 1. Laje 01 (esq.). Laje 02 (dta).

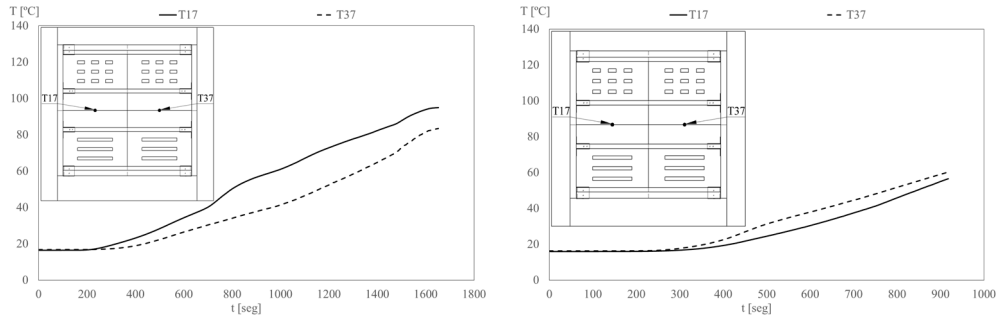


Figura 7: Desempenho térmico na célula 2. Laje 01 (esq.). Laje 02 (dta).

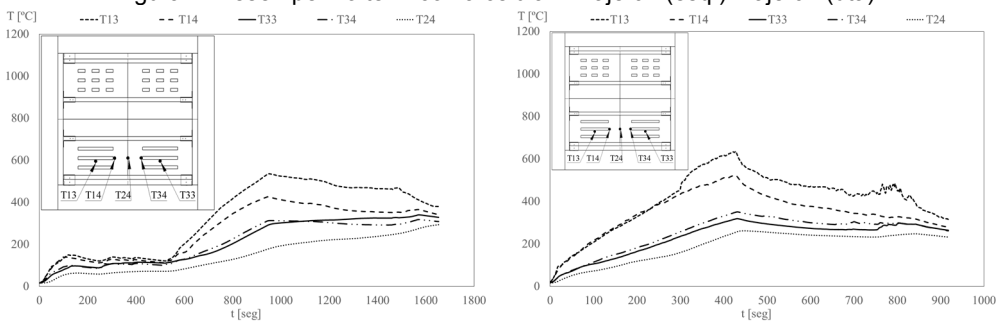


Figura 8: Desempenho térmico na célula 3. Laje 01 (esq.). Laje 02 (dta).

Os conectores metálicos não estão diretamente expostos à ação do fogo, no entanto, a elevada condutividade térmica deste material promove o aquecimento das superfícies localizadas na célula 2 (TC2 e TC3). As superfícies dos conetores localizados na célula 1 e na célula 3 possuem temperaturas sempre superiores ao valor das superfícies protegidas da célula 2 (sem perfurações), ver figura 9. A temperatura dos conectores foi sempre inferior a 250 [°C] em ambos os ensaios. Estes elementos são fundamentais na determinação da resistência ao fogo deste tipo de laje, pelo que a temperatura deverá ser controlada no dimensionamento.

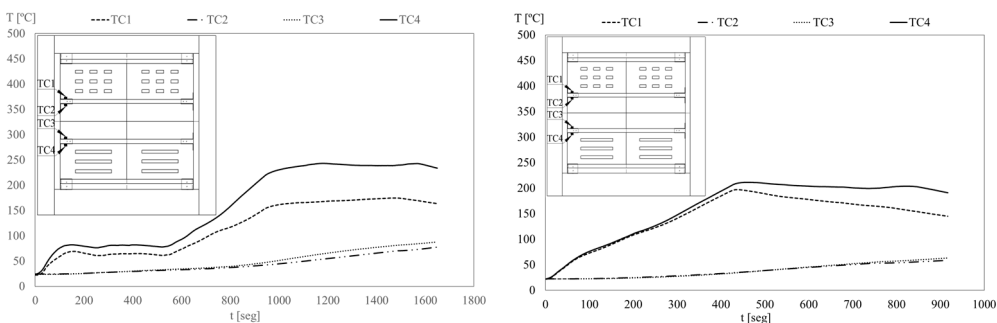


Figura 8: Desempenho térmico dos conectores. Laje 01 (esq.). Laje 02 (dta).

A análise do comportamento da face não exposta é fundamental para a determinação da resistência ao fogo deste tipo de elemento portante. A verificação da temperatura média e da temperatura máxima é decisiva para a caracterização da resistência ao fogo em termos de

isolamento (critério I) e a verificação da passagem das chamas é igualmente decisiva para a caracterização da estanquidade (critério E). Na figura 9 está representada a evolução da temperatura nos seis pontos de medição com termopares de disco. Esta medição permite o tratamento estatístico para determinação da temperatura máxima, média e mínima, para além da comparação com a medição efetuada com a câmara termográfica de infravermelhos. A medição de campo com termografia infravermelha foi efetuada na zona identificada. Esta zona está localizada por cima da célula 3, justificando os valores superiores em relação às medições pontuais. A diferença entre os dois tipos de medições foi superior no caso da laje 02, sendo justificada pela evolução superior da temperatura da célula 3. As medições pontuais da temperatura, definidas com termopares de disco de cobre, confirmam a tendência de maior aquecimento do lado esquerdo (T11 e T12) em relação ao lado direito (T31 e T32).

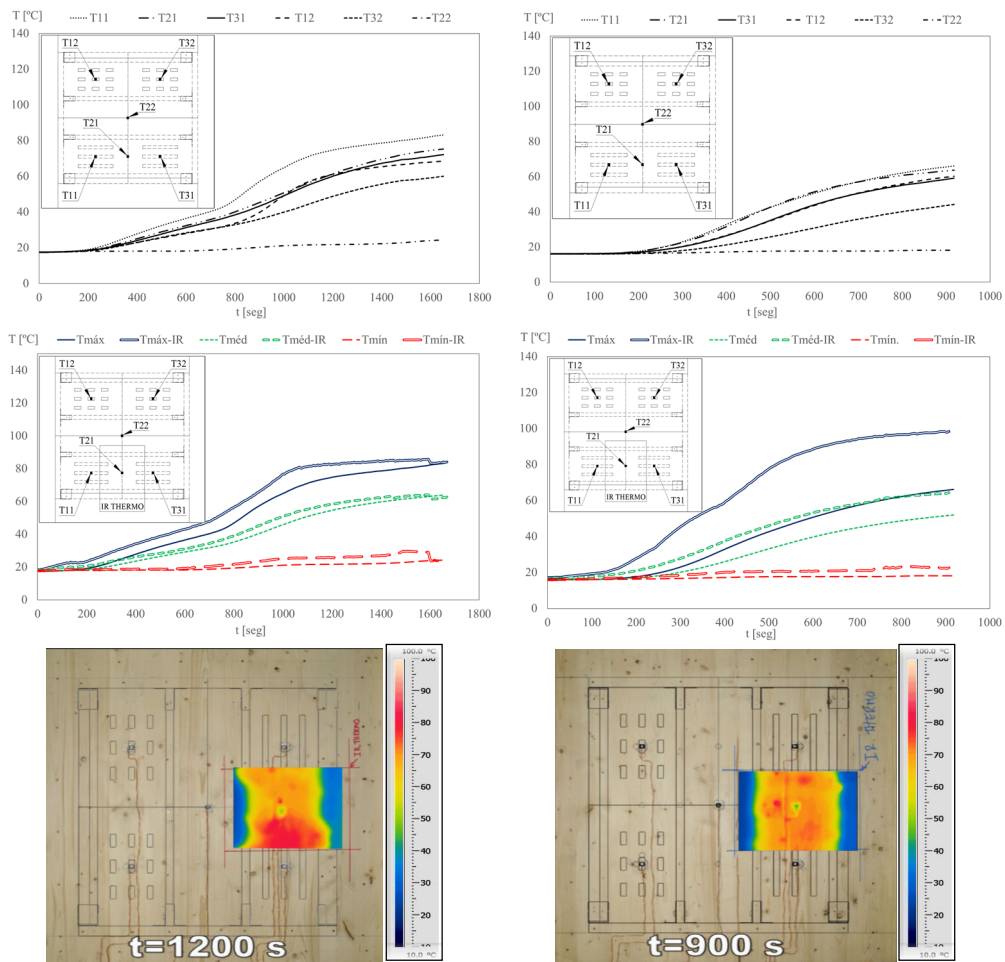


Figura 9: Desempenho térmico da superfície não exposta. Laje 01 (esq.). Laje 02 (dta).

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. Nas lajes em estudo, existem zonas da face exposta ao fogo com diferentes perfurações, (células 1, 2 e 3), que originam diferentes velocidades de carbonização. Para avaliar a influência do tipo de perfuração adotou-se um processo de medição através de vários cortes na placa de teto, coincidentes com o centro das perfurações. Foram efetuadas medições da espessura de carbonização em zonas específicas $d_{char,n}$, como exemplificado na figura 10. Em cada corte foram considerados 11 pontos para medição, identificados com as letras de “a” até “k”.

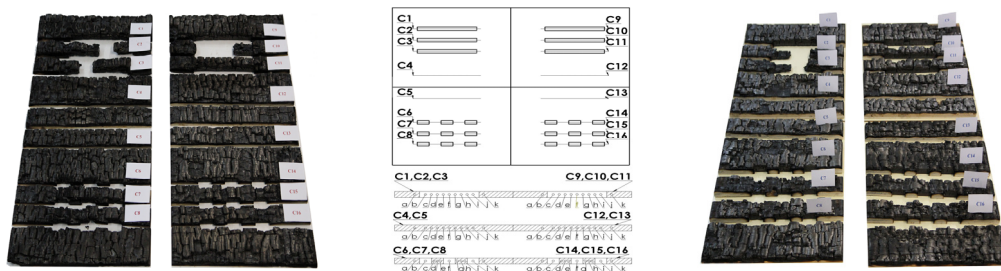


Figura 10: carbonização da superfície exposta. Laje 01 (esq.). Laje 02 (dta).

A velocidade de carbonização β_n foi calculada para as três células da laje 01 e da laje 02, com valores de 1,20; 0,65; 1,00 [mm/min] e 1,40; 0,80; 1,00 [mm/min] respetivamente para as células 3, 2 e 1 das lajes 01 e 02. O cálculo foi efetuado com base na Eq. (1), considerando o tempo total do ensaio, $t=25$ e $t=16$ minutos, com as fases de aquecimento e arrefecimento. Os valores apresentados são a média da velocidade de carbonização do conjunto dos cortes efetuados em cada uma das três zonas das lajes, ver Tabela 1. Os valores das velocidades de carbonização determinadas para a célula 2 estão próximos dos definidos no Eurocódigo 5 [16]. Os valores de carbonização são ainda comparáveis com os obtidos por Frangi *et al.* [18].

$$d_{char,n} = \beta_n \times t \quad (1)$$

Tabela 1 – Velocidades de carbonização, [mm/min].

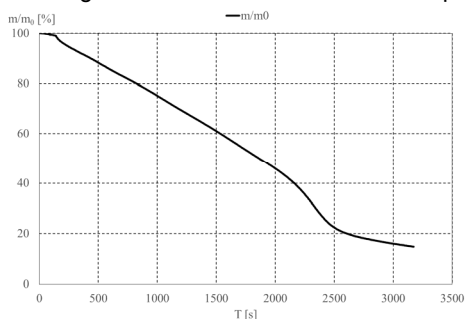
CÉLULAS	CORTES	LAJE 01	LAJE 01 (MÉDIA)	LAJE 02	LAJE 02 (MÉDIA)
3	C1, C2, C3	1,2	1,20	1,5	1,40
	C9, C10, C11	1,2		1,3	
2	C4, C5	0,7	0,65	0,8	0,80
	C12, C13	0,6		0,8	
1	C6, C7, C8	1,1	1,00	1,1	1,00
	C14, C15, C16	0,9		0,9	

Foi ainda avaliada a reação ao fogo de uma pequena amostra de placa de teto, com massa inicial de $m_0=147,543$ [g] e dimensões de $100 \times 100 \times 32$ [mm], num ensaio de calorímetro de cone, sujeita a um fluxo de calor de 25 [kW/m²]. A ignição da madeira ocorreu quando a amostra foi sujeita a uma faísca. Na Figura 11 está identificado o início e a extinção da ignição. Foi determinada a taxa de libertação de calor (HRR) e a taxa de perda de massa (MLR) da amostra da placa de teto. Na figura 12 está representado o valor da perda de massa (m/m_0). O tempo de

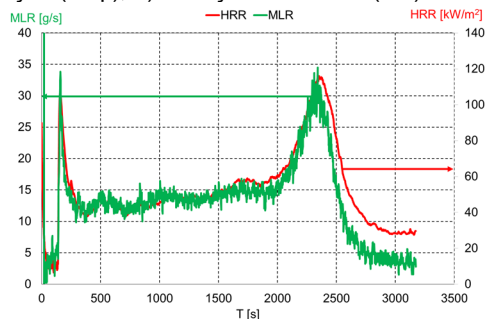
ignição da amostra foi 138 [s]. A taxa de libertação de calor apresenta um primeiro pico coincidente com o instante de ignição da amostra, seguindo de um estado de libertação de calor em regime permanente, até ao momento do segundo pico, coincidente com a combustão completa e extinção da chama.



Figura 11: Amostra de madeira tricapa. Ignição (esq.), b) Extinção da chama (dta).



a) Perda de massa da amostra.



b) HRR e MLR da amostra.

Figura 11: Reação da madeira tricapa a um fluxo de calor de 25 [kW/m²].

4. CONCLUSÕES

As lajes celulares em madeira com perfurações são soluções de engenharia e arquitetura muito frequentes, utilizadas para melhorar a absorção acústica das placas do teto. As perfurações aumentam a superfície da madeira exposta à ação do fogo, facilitando a penetração das chamas e o fluxo de calor. Esta situação aumenta a taxa de carbonização em relação a uma solução sem perfurações (célula 2). Foi possível caracterizar o comportamento térmico dos diferentes componentes e a evolução da temperatura no interior das células. Não foi atingido o estado limite de resistência ao fogo para o isolamento (I) e estanquidade (E), por se ter dado prioridade à medição da velocidade de carbonização. As células perfuradas atingem uma velocidade de carbonização quase duas vezes maior que as não perfuradas. Este facto é justificado pelas temperaturas registadas dentro das cavidades. Para o mesmo tempo de ensaio, a temperatura da cavidade não perfurada não ultrapassou os 100 [°C], enquanto que nas cavidades com aberturas este valor triplica.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- [1] 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.
- [2] White R. H., Dietenberger M. A. 1999. Fire Safety, Chap. 17, Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, Forest Products Laboratory, USDA Forest Service.
- [3] Poon L., England J. P. 2003. Literature Review on the Contribution of Fire Resistant Timber Construction to Heat Release Rate—Timber Development Association, Warrington Fire Research Aust. Pty. Ltd., Project No.20633, version 2b, p. 1-78.
- [4] Janssens M. L. 2004. Modeling of the thermal degradation of structural wood members exposed to fire. Fire and Materials, 28, p. 199-207.
- [5] Schaffer E. L. 1967. Charring rate of selected woods transverse to grain. Research paper FPL 69. Madison (WI): Forest Products Laboratory.
- [6] White R. H., Erik V., Nordheim E. V. 1992. Charring rate of wood for ASTM E119 exposure. Fire Technol, 28(1).
- [7] König J, Walleij L. 1999. One-dimensional charring of timber exposed to standard and parametric fires in initially unprotected and post protection situations. Swed Inst Wood Technol Res.
- [8] Gardner W. D., Syme D. R. 1991. Charring of glued-laminated beams of eight australian-grown timber species and the effect of 13 mm gypsum plasterboard protection on their charring. N.S.W. Technical report no.5, Sydney.
- [9] Collier PCR. 1992. Charring rates of timber. Study report, Branz, New Zealand.
- [10] Pun C. Y., Seng H. K., Midon M. S., Malik A. R. 1997. Timber design handbook. FRIM, Malayan Forest Records no.42.
- [11] Cachim P. B., Franssen J. M. 2010. Assessment of Eurocode 5 Charring rate Calculation Methods. Fire Technology, 46, p.169-181.
- [12] 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.
- [13] Fonseca EMM, 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.
- [14] CEN, EN1365-2, December 1999 "Fire resistance tests for loadbearing elements. Part 2: Floors and roofs", Brussels.
- [15] CEN, EN 1363-1, August 1999, "EN 1363-1 Fire resistance tests - Part 1, General requirements", Brussels.
- [16] CEN, EN1995-1-2: 2003, Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: Structural fire design, Brussels.
- [17] ISO TC 92, ISO 834-1. "Fire-resistance tests - Elements of building construction – Part 1: general requirements". 1999.
- [18] Frangi A., Knobloch M., Fontana M. 2008. Fire design of timber slabs made of hollow core elements. Engineering Structures, USA.