



6JORNINC

JORNADAS DE SEGURANÇA
AOS INCÊNDIOS URBANOS



1JORPROCIV

JORNADAS DE PROTEÇÃO CIVIL

João Paulo C. Rodrigues
António Moura Correia
Cristina Calmeiro dos Santos

ORGANIZAÇÃO

ALBRASCI . ASSOCIAÇÃO LUSO-BRASILEIRA
PARA A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO
UNIVERSIDADE DE COIMBRA





UNIVERSIDADE DE
COIMBRA



albrasci

associação luso-brasileira
para a segurança contra incêndio

6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos

1as Jornadas de Proteção Civil

**Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra**

29 e 30 de novembro de 2018

**Atas das Comunicações das 6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
e das 1as Jornadas de Proteção Civil**

**Editores: João Paulo Correia Rodrigues
António Moura Correia
Cristina Calmeiro dos Santos**

**Primeira edição
novembro, 2018**

Copyright © 2018 João Paulo C. Rodrigues

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida sem autorização escrita do editor.

ISBN: 978-989-96461-9-3

Edição:

ACIV – Associação para o Desenvolvimento da Engenharia Civil

PREFÁCIO

A Segurança Contra Incêndio de Edifícios (SCIE) tem uma importância vital na vida das sociedades, pois está em jogo não só a vida das pessoas como também interesses diversos tais como, por exemplo, os bens patrimoniais, os valores históricos e arquitectónicos com forte simbolismo e, ainda, a continuidade de serviços estratégicos para a sociedade em geral. Contudo, apesar da sua importância, trata-se duma área que ainda não tem uma consolidação efetiva no nosso País, quer ao nível do ensino quer do projeto e da construção, apesar da profusão de regulamentação existente, dos vários projetos de investigação e dos cursos que têm sido realizados. Esta é, por outro lado, uma área em que existe ainda muito conhecimento empírico, adquirido ao longo de anos de contatos com incêndios reais, experiências e exercícios diversos, em que o progresso dos conhecimentos científicos tem sido lento, fruto da sua complexidade e interdisciplinaridade.

No entanto, Portugal tem conhecido, nos últimos anos uma evolução assinalável quer no domínio do ensino quer no domínio legislativo. A concretização de programas de mestrado e doutoramento nesta área, para além da publicação de nova legislação nacional e europeia, em paralelo com outras ações, deram à SCIE uma visibilidade que até agora não tinha. As partes dos Eurocódigos de dimensionamento ao fogo das estruturas em conjunto com a regulamentação nacional constitui hoje um diferencial positivo que permite a construção de edificações mais seguras em relação ao incêndio.

As Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos (JORNINC) começaram em 2006, aquando da realização do primeiro Mestrado em Segurança Contra Incêndios Urbanos na Universidade de Coimbra e estão atualmente na sua 6ª edição. Estas Jornadas têm constituído um fórum de discussão dos problemas da área, mas também das evoluções tanto ao nível da regulamentação como também das novas tecnologias.

Este ano realizam-se também em paralelo com as 6JORNINC, as 1^{as} Jornadas em Proteção Civil (1JORPROCIV) que pretendem também elas constituir um fórum de discussão dos problemas e dos novos desenvolvimentos da área. Estas Jornadas realizar-se-ão a cada dois anos em conjunto com as JORNINC pretendendo reunir investigadores, técnicos e demais pessoas interessadas na área.

Para finalizar queria desejar-lhe as boas vindas a estas Jornadas e à UC e espero que este evento seja do seu maior interesse para si, sedimentando o seu conhecimento técnico e científico, e que também permita estabelecer novos contatos com outras pessoas da área.

João Paulo Correia Rodrigues

(Professor de Enga. Civil e de Enga. de Segurança ao Incêndio da UC)

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
1as Jornadas de Proteção Civil
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

Comissões

Comissão Organizadora

Aline Lopes Camargo - (Universidade de Coimbra)
Amarildo Benzane - (Universidade de Coimbra)
António Moura Correia - (Instituto Superior de Engenharia de Coimbra)
Cristina Calmeiro dos Santos - (Instituto Politécnico de Castelo Branco) (Co-coordenadora)
Débora Ferreira - (Instituto Politécnico de Bragança)
Hugo Caetano - (Universidade de Coimbra)
João Paulo Correia Rodrigues - (Universidade de Coimbra) (Coordenador)
João Viegas - (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)
José Pedro Lopes - (Autoridade Nacional de Proteção Civil)
Nuno Lopes - (Universidade de Aveiro)
Rúben Lopes - (Universidade de Coimbra)
Thiago Brazeiro - (Universidade de Coimbra)

Comissão Científica

Alexandre de Oliveira Tavares (Universidade de Coimbra)
Aldina M. da Cruz Santiago (Universidade de Coimbra)
António Leça Coelho (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)
António Moura Correia (Instituto Politécnico de Coimbra)
Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers)
Carlos Pina dos Santos (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)
Carlos Sousa Oliveira (Universidade de Lisboa)
Cristina Calmeiro dos Santos (Instituto Politécnico de Castelo Branco)
Débora Ferreira (Instituto Politécnico de Bragança)
Domingos Xavier (Universidade de Coimbra)
Elza Fonseca (Instituto Politécnico de Bragança)
Fernando Pedro S. da S. D. Simão (Universidade de Coimbra)
José Carlos M. Góis (Universidade de Coimbra)
João Carlos Viegas (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)
João Paulo Correia Rodrigues (Universidade de Coimbra) (Coordenador)
João Ramôa Correia (Universidade de Lisboa)
José Luís Zêzere (Universidade de Lisboa)

6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
1as Jornadas de Proteção Civil
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018

Lino Forte Marques (Universidade de Coimbra)
Luciano Fernandes Lourenço (Universidade de Coimbra)
Luís Mesquita (Instituto Politécnico de Bragança)
Miguel Chichorro Gonçalves (Universidade do Porto)
Nuno Lopes (Universidade de Aveiro)
Paulo A. G. Piloto (Instituto Politécnico de Bragança)
Paulo Jorge M. F. Vila Real (Universidade de Aveiro)
Paulo Lourenço (Universidade do Minho)
Pedro Coelho (Universidade de Lisboa)
Rui Faria (Universidade do Porto)

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
1as Jornadas de Proteção Civil
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

Índice

Prefácio	iii
Comissões	v
Índice	vii

6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos

SESSÃO 1 – REGULAMENTAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

PALESTRA I - Incêndios Florestais e de Interface

Domingos Xavier Viegas

.....	3
-------	---

O IMPACTO DO INCÊNDIO DE PEDRÓGÃO GRANDE NAS ESTRUTURAS

Luís Ribeiro, André Rodrigues, Davi Lucas, Domingos Xavier Viegas

.....	5
-------	---

HARMONIZAÇÃO DOS REQUISITOS REGULAMENTARES REFERENTES A MEIOS DE SEGUNDA INTERVENÇÃO PARA COMBATE A INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS

Ana Sousa, Tiago Ribeiro, Nuno Henriques, Nuno Serra

.....	13
-------	----

PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM UMA ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO BASEADO NO DESEMPENHO

António B. Leiras, João Paulo C. Rodrigues

.....	21
-------	----

A REGULAMENTAÇÃO DE SCIE PORTUGUESA E O REFERENCIAL FRANCÊS

Paulo Ramos, João Paulo C. Rodrigues

.....	29
-------	----

REVISÃO DA LEGISLAÇÃO NACIONAL E INTERNACIONAL NA ÁREA DA SEGURANÇA AO INCÊNDIO E ANÁLISE DA SUA ADEQUAÇÃO À REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM NÚCLEOS URBANOS ANTIGOS

Tiago Miguel Ferreira, A. Leça Coelho, José Domingues

.....	37
-------	----

A IMPORTÂNCIA DOS OBJETIVOS FUNCIONAIS NOS REGULAMENTOS DE SCIE

Paulo Ramos, João Paulo C. Rodrigues

.....	45
-------	----

SESSÃO 2 – MATERIAIS A ALTAS TEMPERATURAS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE PLACAS DE SILICATO DE CÁLCIO A TEMPERATURAS ELEVADAS: UMA ABORDAGEM NUMÉRICA E EXPERIMENTAL

Thiago Oliveira, Thiago Alves, Luís M. R. Mesquita

.....	51
-------	----

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
1as Jornadas de Proteção Civil
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

RESISTÊNCIA TERMOMECÂNICA EM REGIME ESTACIONÁRIO DE PROVETES DE TERRA COMPRIMIDA Diogo Lima, Edgar Soares, Débora Ferreira, Luís Mesquita, Tiago Miranda e Dinis Leitão	61
COMPORTAMENTO AO FOGO DE BLOCOS ECOLÓGICOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS Débora Ferreira, Eduarda Luso, Maria Lurdes Cruz, Eduarda Nepomuceno	67
CARACTERIZAÇÃO DE TERMOMECÂNICA DE MATERIAIS REFRAATÓRIOS: O ESTADO DE ARTE Rafael Luiz Oliveira, João Paulo Rodrigues, João M. Pereira	77
AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E DA REAÇÃO AO FOGO DE PAINÉIS DE DERIVADOS DE MADEIRA Lucas Coimbra Ferle, Gerson H. Dos Santos, Luís Mesquita	85
APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DE CERÂMICAS REFRAATÓRIAS: ESTADO DA ARTE Rafael Luiz Oliveira, João Paulo Rodrigues, João M. Pereira	93
SESSÃO 3 – ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	
PALESTRA II- LIGHT STEEL FRAMED WALLS MADE WITH COMPOSITE PANELS UNDER FIRE CONDITIONS Paulo Piloto	103
RESISTÊNCIA AO FOGO DA SECÇÃO TRANSVERSAL DE PERFIS ESBELTOS EM AÇO INOXIDÁVEL Nuno Lopes, Carlos Couto, Jorge Azevedo, Paulo Vila Real	125
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LIGAÇÕES MADEIRA-AÇO (W-S-W), METODOLOGIAS DE CÁLCULO ANALÍTICA E COMPUTACIONAL Fernando Miranda, Elza M M Fonseca, Jorge L N Góes	133
NOVA PROPOSTA DE CÁLCULO PARA VIGAS-COLUNA EM AÇO ENFORMADAS A FRIO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO Flávio Arrais, Nuno Lopes, Paulo Vila Real	143
PARTIALLY ENCASED COLUMNS: STRENGTH AND STIFFNESS EFFECT ON THE BUCKLING RESISTANCE UNDER FIRE Paulo A. G. Piloto, Bruno F. Alfredo, Diego R. Rossetto	151

6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
1as Jornadas de Proteção Civil
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018

REHABILITATION OF FIRE DAMAGED BUILDINGS

António Rubens R. A. Junior, João Paulo C. Rodrigues, Joaquim Carlos P. de Almeida

.....161

FIRE RESISTANCE OF COMPOSITE SLABS WITH PROFILED STEEL DECKING: TRAPEZOIDAL AND RE-ENTRANT NUMERICAL SIMULATION

Paulo A. G. Piloto, Lucas M.S. Prates, Carlos Balsa, Ronaldo Rigobello

.....169

SESSÃO 4 – SISTEMAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

IMPACTE DAS DIFERENÇAS DE PRESSÃO GERADAS PELO CONTROLO DE FUMO EM TÚNEIS

João Viegas, Oliveira Costa, Bernardo Monteiro, Paulo Pereira

.....181

SISTEMAS DE CONTROLO DE FUMO PASSIVOS – UMA PROPOSTA PARA A REVISÃO DO REGULAMENTO TÉCNICO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS

Ana Sousa, Tiago Ribeiro, Nuno Henriques, Nuno Serra

.....193

ALTERAÇÕES NA MICROESTRUTURA DE BETÕES FIBROSOS DE ALTA RESISTÊNCIA SUJEITOS A TEMPERATURAS ELEVADAS

Hugo Caetano, João P.C. Rodrigues

.....203

INTEGRAÇÃO DAS REDES PREDIAIS DE COMBATE A INCÊNDIO NO NOVO REGULAMENTO GERAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Armando Silva Afonso, Carla Pimentel-Rodrigues

.....211

FERRAMENTA BIM PARA VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE NORMAS TÉCNICAS (CODE CHECKING) RELACIONADAS ÀS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Marcelo Porto, José Franco, Renata Baracho, Lucas Alves, Isis Kroeff, Karina Oliveira

.....219

1as Jornadas de Proteção Civil

SESSÃO 5 – PROTEÇÃO CIVIL

PALESTRA III - Desastres Naturais e seus Planos de Contingência

José Luís Zêzere

.....229

DETERMINAÇÃO DA SEVERIDADE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS COM RECURSO IMAGENS SENTINEL-2

José Gaspar, Jorge Pereira

.....239

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
1as Jornadas de Proteção Civil
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO WILDFIRE ANALYST NO PLANEAMENTO DO COMBATE AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS

José Gaspar, Tiago Marinho, Verónica Catarino

.....249

ANÁLISE BASEADA NO DESEMPENHO À EFICÁCIA DAS ORGANIZAÇÕES DE RESPOSTA A EMERGÊNCIAS EM EDIFÍCIOS E RECINTOS

António B. Leiras, João Paulo C. Rodrigues

.....257

ANÁLISE DA PERCEÇÃO DE RISCO DA COMUNIDADE DO FRADE, PARA UMA EMERGÊNCIA NA CENTRAL NUCLEAR ALMIRANTE ÁLVARO ALBERTO

Alexandre Ribeiro

.....265

CONTRIBUIÇÃO PARA A RESILIÊNCIA DA COMUNIDADE ACADÉMICA EM CASO DE SISMO E INCÊNDIO

Ângela Santos, Margarida Queirós

.....275

A AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO E OS PLANOS MUNICIPAIS DE EMERGÊNCIA – UM ESTUDO APLICADO A COIMBRA

Marta Ribeiro, João Paulo C: Rodrigues

.....279

SESSÃO 6 – GESTÃO DA EMERGÊNCIA

ANÁLISE CRÍTICA DE MÉTODOS E MODELOS DE ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS. SUAS POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES

António Leça Coelho, Tiago Miguel Ferreira

.....293

INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS NA CIDADE DA BEIRA - MOÇAMBIQUE

Nádia Farinha, Cristina Calmeiro dos Santos

.....301

ANÁLISE DOS DANOS EM ESTABELECIMENTOS INDUSTRIAIS CAUSADOS POR INCÊNDIOS RURAIS: CASO DO INCÊNDIO DE OUTUBRO 2017 NA REGIÃO CENTRO DE PORTUGAL

Hadassa Lima, José Góis, Miguel Almeida

.....315

ROBÔS PARA DETEÇÃO E COMBATE A INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS

Carolina Conceição, Lino Marques

.....325

SESSÃO 7 – RISCO DE INCÊNDIO E EVACUAÇÃO

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
1as Jornadas de Proteção Civil
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

PALESTRA IV- O Sistema Nacional de Proteção Civil

José Pedro Lopes

.....335

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL DE FABRICAÇÃO DE PAPEL – GRUPO PORTUCEL SOPORCEL

António Correia, Pedro Tavares, José Correia, João Pereira

.....355

INFLUÊNCIA DO EFETIVO NO TEMPO DE EVACUAÇÃO DUM BLOCO DE URGÊNCIAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Amarildo Benzane, Luís Laím, João Paulo Rodrigues

.....365

FENÓMENOS DE INSTABILIDADE E MEDIDAS DE ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS APÓS INCÊNDIOS FLORESTAIS. CASO PARTICULAR DOS INCÊNDIOS DE OUTUBRO DE 2017 NA SERRA DA ESTRELA

Luís Araújo Santos, António Correia, Paulo Coelho

.....375

O USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS NA MONITORIZAÇÃO EM TEMPO REAL DA FLORESTA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

António Correia, Luís Santos, Paulo Carvalho, José Martinho

.....385

SEGURANÇA CONTRA INCENDIO E EXPLOSÕES NO TRANSPORTE E ARMAZENAGEM DE GÁS NATURAL EM PORTUGAL

Collete Pereira, José Góis

.....395

O QUE CORREU MAL NOS MEGAINCÊNDIOS DE 2017 EM PORTUGAL: ANÁLISE DOS RELATÓRIOS DAS COMISSÕES TÉCNICAS INDEPENDENTES E DO CENTRO DE ESTUDOS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS - UC

Susana Meneses, António Correia, Ana Ferreira, Alexandra Ribeiro

.....405

APLICAÇÃO DO REGULAMENTO JURÍDICO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS DE EDIFÍCIOS E DO REGULAMENTO TÉCNICO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS DE EDIFÍCIOS A EDIFÍCIOS EXISTENTES – MEDIDAS COMPENSATÓRIAS

Ana Laranjeiro Matias

.....413

Índice de Autores.....419

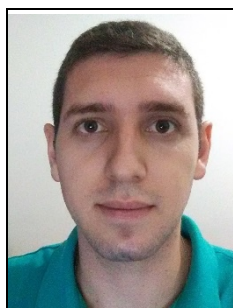
SESSÃO 2

MATERIAIS A ALTAS TEMPERATURAS

Coordenadora – Elza Fonseca (IPP)

Thiago Oliveira, Thiago Alves, Luís M. R. Mesquita “CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE PLACAS DE SILICATO DE CÁLCIO A TEMPERATURAS ELEVADAS: UMA ABORDAGEM NUMÉRICA E EXPERIMENTAL”
Diogo Lima, Edgar Soares, Débora Ferreira, Luís Mesquita, Tiago Miranda e Dinis Leitão “RESISTÊNCIA TERMOMECÂNICA EM REGIME ESTACIONÁRIO DE PROVETES DE TERRA COMPRIMIDA”
Débora Ferreira, Eduarda Luso, Maria Lurdes Cruz, Eduarda Nepomuceno “COMPORTAMENTO AO FOGO DE BLOCOS ECOLÓGICOS DE SOLO- CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS”
Rafael Luiz Oliveira, João Paulo Rodrigues, João M. Pereira “CARACTERIZAÇÃO DE TERMOMECÂNICA DE MATERIAIS REFRATÁRIOS: O ESTADO DE ARTE”
Lucas Coimbra Ferle, Gerson H. Dos Santos, Luís Mesquita “AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E DA REAÇÃO AO FOGO DE PAINÉIS DE DERIVADOS DE MADEIRA”
Rafael Luiz Oliveira, João Paulo Rodrigues, João M. Pereira “APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DE CERÂMICAS REFRATÁRIAS: ESTADO DA ARTE”

Resistência ao fogo de ligações madeira-aço (W-S-W), metodologias de cálculo analítica e computacional



Fernando Miranda
Estudante
ESTiG/IPB-Bragança



Elza M M Fonseca¹
Professor
ISEP/IPP - Porto



Jorge L N Góes
Professor
UTFPR – Brasil

SUMÁRIO

Este trabalho tem como objetivo apresentar metodologias de cálculo analítico e computacional, adequadas ao projeto de ligações madeira-aço (W-S-W) com chapa metálica central e ligadores do tipo cavilha em corte duplo e expostas ao fogo. Serão utilizadas as equações de cálculo simplificadas, pelo método de redução de carga, Eurocódigo 5 parte 1-1 e 1-2, na verificação da resistência ao fogo de ligações. Os cálculos de resistência ao fogo serão efetuados para o tempo de exposição 30 minutos, conforme o Eurocódigo 5 parte 1-2, tempo este capaz de ser atingido em ligações sem proteção. As mesmas ligações serão redimensionadas pelo aumento da espessura na madeira para garantia de maior resistência ao fogo. Em adição, serão desenvolvidos modelos numéricos, utilizando o método dos elementos finitos, para obter resultados da análise térmica na conjunção dos materiais da ligação.

PALAVRAS-CHAVE: Ligação W-S-W; madeira; aço; carbonização.

1. INTRODUÇÃO

As ligações são partes muito importantes em estruturas de madeira, pois são responsáveis por garantir a resistência e a estabilidade estrutural. Os elementos que promovem a ligação, ligadores, permitem a junção de partes na estrutura e podem ser classificadas em três categorias principais: cavilhas, placas dentadas e anéis de divisão. As ligações com ligadores de aço seguem as regras do Eurocódigo 5 parte 1-1 [1].

A análise das ligações madeira-aço sob altas temperaturas pode ser um desafio complexo, pela existência de diferentes geometrias, configurações, variedade de ligadores e a degradação das propriedades dos materiais durante o aquecimento. A madeira e o aço são materiais com propriedades dependentes da temperatura que influenciam diretamente a resistência da estrutura. Os elementos da ligação em aço, quando expostos a altas temperaturas, aquecem rapidamente e as suas propriedades sofrem uma degradação. Em simultâneo, transferem calor para o interior da união em madeira causando um aquecimento devido à sua elevada condutividade térmica [2]. A madeira é um material combustível e que arde facilmente quando exposto à ação do fogo. Em adição, o efeito da transferência de calor através dos elementos de ligação, aceleram o processo de carbonização da madeira.

¹Autor correspondente – Instituto Politécnico do Porto, ISEP | Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4249-015 Porto - PORTUGAL
email: elz@isep.ipp.pt

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a resistência ao fogo de ligações em corte duplo, para ligações protegidas pelo redimensionamento do aumento da espessura da madeira e não-protegidas. Em especial, as ligações em madeira com placa de aço central e cavilhas metálicas em duplo corte, são pouco estudadas no âmbito da análise por elementos finitos. Assim, o interesse do presente trabalho é focado na análise do comportamento desse tipo de ligações.

Inicialmente são estudadas 5 ligações, projetadas à temperatura ambiente, de acordo com o Eurocódigo 5 parte 1-1 [1], para 5 valores diferentes de carga de tração aplicada paralelamente às fibras da madeira. Posteriormente, utilizando o método de redução de carga conforme o Eurocódigo 5 parte 1-2 [3], é determinada a resistência ao fogo das mesmas ligações sem e com proteção pelo redimensionamento da ligação em madeira.

Utilizando um programa computacional, baseado no método dos elementos finitos, foi possível calcular a resistência ao fogo das ligações W-S-W, como uma metodologia de cálculo alternativa. Com a análise das ligações será possível aumentar o conhecimento e prever o comportamento destes elementos em situações de incêndio, avaliando a espessura da camada carbonizada, a velocidade de carbonização, a temperatura em cada material e a influência do ligador na condução de calor.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

A madeira utilizada é lamelada colada, a qual é fabricada a partir de placas de madeira coladas sucessivamente, geralmente produzidas com seção transversal retangular apresentando grande adaptabilidade em projeto. A norma ISO 1194 [4] apresenta oito classes de resistência para a madeira laminada colada. Considerando a madeira sólida e homogênea, com a mesma classe de resistência, a categoria é definida como GLxh. Nesse trabalho, foi considerada a madeira laminada colada da categoria GL28h pois apresenta boas características de resistência, rigidez e massa volúmica, apresentadas na tabela 1. Para os ligadores metálicos e placa metálica central foi considerado o aço da classe S275, de acordo com o Eurocódigo 3 parte 1-1 [5], onde a tensão de cedência f_y é igual a 275 MPa e a resistência última à tração f_u é igual a 430 MPa.

Tabela 1: Propriedades da madeira lamelada GL28H [4].

Designação	simbologia	valor
Resistência, MPa		
Resistência à flexão	$f_{m,g,k}$	28,00
Resistência à tração paralela à fibra	$f_{t,0,k}$	19,50
Resistência à tração perpendicular à fibra	$f_{t,90,k}$	0,45
Resistência à compressão paralela à fibra	$f_{c,0,k}$	26,50
Resistência à compressão perpendicular à fibra	$f_{c,90,k}$	3,00
Rigidez, MPa		
Módulo de elasticidade paralelo à fibra	$E_{g,0,mean}$	12600,00
Módulo de elasticidade perpendicular à fibra	$E_{g,90,m}$	420,00
Módulo de corte	$G_{g,mean}$	780,00
Massa volúmica, kg/m ³		
Massa volúmica	$\rho_{g,k}$	410,00

O Eurocódigo 5 parte 1-2 [3] apresenta as propriedades da madeira a altas temperaturas e o Eurocódigo 3 parte 1-2 [6] as propriedades do aço.

São estudadas 5 ligações diferentes, projetadas à temperatura ambiente, Eurocódigo 5 parte 1-1 [1] e ainda o estudo das mesmas ligações, mas para efeitos de cálculo da resistência ao fogo, Eurocódigo 5 parte 1-2 [3]. A metodologia aplica o método de redução de carga para as ligações não protegidas, de forma a verificar o tempo de resistência ao fogo. Posteriormente, as ligações são redimensionadas pelo incremento da espessura em madeira para permitirem um tempo de resistência ao fogo em 30 minutos. O redimensionamento para fins da proteção é realizado de acordo com o método alternativo do Eurocódigo 5 parte 1-2 [3]. As ligações estudadas são

6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
1as Jornadas de Proteção Civil
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018

projetadas de acordo com carregamento reais possíveis de serem aplicados em estruturas, diâmetros comerciais de cavilhas metálicas e variadas espessuras do membro lateral de madeira. São apresentadas tabelas de cálculo que podem ser utilizadas para determinação da configuração da ligação, de acordo com a carga de projeto e dimensões dos materiais utilizados, garantindo a utilização e a estabilidade em estruturas.

Os modelos de ligações projetadas ao fogo são comparados numericamente, através de uma análise térmica. Foi considerada a ação do fogo a atuar em 1 lado da ligação W-S-W, na superfície frontal das cavilhas, e a exposição em 3 lados, em que além da superfície frontal é considerada a exposição na superfície inferior e superior da ligação. O modelo computacional térmico é baseado em elementos finitos e permite uma análise em regime transiente com as propriedades térmicas não-lineares dos materiais envolvidos. Permite o cálculo da velocidade de carbonização e o campo de temperaturas, nas ligações protegidas pelo aumento da espessura e nas não-protegidas.

3. MÉTODO ANALÍTICO E RESULTADOS

A carbonização da madeira tem início quando o material é exposto a temperaturas superiores a 300 °C por determinado período de tempo. A carbonização introduz a formação de uma camada de carbono sobre a superfície da madeira, resultante da decomposição do material. Essa camada designada por carvão não apresenta valores de resistência e rigidez mecânica, por isso as estruturas de madeira perdem as funções de suporte de carga quando expostas ao fogo. O Eurocódigo 5 parte 1-2 [3] apresenta valores padrão de velocidade de carbonização em função do tipo da madeira e massa volúmica.

O método de redução de carga consiste na redução da capacidade resistente da ligação, através do cálculo de um fator η que depende do tempo de resistência ao fogo, $t_{d,fi}$, e de um parâmetro k , uma constante do ligador. Esse método aplica-se a ligações entre membros sob exposição ao fogo padrão e limita a resistência ao fogo de ligações não protegidas num tempo máximo de 30 minutos, máximo período de validade do parâmetro k . Para as ligações protegidas, a menos que existam indicações contrárias, a resistência máxima é 60 minutos. O método só tem validade desde que placa de madeira tenha uma espessura maior ou igual a t_1 :

$$t_1 = \max \begin{cases} 50 \\ 50 + 1,25(d - 12) \end{cases} \quad (1)$$

Para a exposição ao fogo padrão, a capacidade de carga característica de uma ligação com ligadores ao corte deve ser calculada com a seguinte equação:

$$F_{v,Rk,fi}^* = \eta F_{v,Rk}^* \quad (2)$$

Onde $F_{v,Rk}^*$ é a capacidade de carga lateral característica da ligação ao corte com ligadores à temperatura ambiente, obtido através da multiplicação da capacidade de carga característica de cada ligador pelo número de ligadores e planos de corte existentes na ligação. O fator de conversão, η , é calculado da seguinte forma:

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}} \quad (3)$$

k é um parâmetro de cada ligador obtido pela tabela 6.3 do Eurocódigo 5 parte 1-2 [3] e $t_{d,fi}$ é o período de resistência ao fogo de projeto de ligações não protegidas. A resistência ao fogo de projeto das ligações não protegidas numa situação de incêndio deve ser calculada de acordo com a seguinte equação:

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \ln \left(\frac{\eta_{fi} \eta_0 k_{mod} \gamma_{M,fi}}{\gamma_M k_{fi}} \right) \quad (4)$$

η_{fi} é o fator de redução da carga de projeto em situação de fogo, η_0 é grau de utilização em temperatura ambiente, k_{mod} é o fator de modificação, γ_M é o fator parcial de segurança para a ligação, k_{fi} é um valor obtido pela tabela 2.1 do Eurocódigo 5 parte 1-2 [3] e $\gamma_{M,fi}$ é o coeficiente de segurança parcial para a madeira ao fogo.

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
 Las Jornadas de Proteção Civil
 Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

Para aumentar a resistência ao fogo das ligações, o Eurocódigo 5 parte 1-2 [3] apresenta um método alternativo para proteger as superfícies finais e laterais dos membros com um aumento da espessura da madeira, incrementadas por a_{fi} de acordo com a equação (5).

$$a_{fi} = \beta_n k_{flux} (t_{req} - t_{d,fi}) \quad (5)$$

β_n é a velocidade de carbonização, k_{flux} é um coeficiente para o aumento do fluxo de calor através do ligador igual 1,5, t_{req} é o tempo requerido para resistência ao fogo e $t_{d,fi}$ é o tempo de resistência ao fogo da ligação não protegida calculado através da equação (4).

A tabela 2 apresenta as ligações projetadas. A tabela 3 contempla o conjunto das ligações redimensionadas pelo aumento da espessura da madeira. As dimensões finais dos membros das ligações são alteradas e consequentemente a capacidade de carga sofre um aumento.

Tabela 2: Método de redução de carga para ligações não protegidas.

Ligação	E_d kN	t_1 mm	d mm	H mm	$f_{t,0,k}$ N/mm ²	ρ kg/m ³	n ^o cavilhas	$E_{d,fi}$ kN	$t_{d,fi}$ min	$F_{v,Rk,fi}^*$ N	$F_{v,Rd,fi}^*$ N
1	10	50	12	72	19,5	410	2	6	12,90	12604,6	10083,7
2	20	50	12	72	19,5	410	4	12	12,90	25209,2	20167,3
3	30	50	12	108	19,5	410	6	18	12,90	37813,8	30251,0
4	40	50	12	108	19,5	410	8	24	12,90	50418,4	40334,7
5	50	50	12	72	19,5	410	9	30	12,90	56720,6	45376,5

Tabela 3: Método de redução de carga para ligações protegidas pelo aumento da espessura.

Ligação	$E_{d,fi}$ kN	t_1 mm	d mm	H mm	n ^o cavilhas	β_n mm/min	t_{req} min	a_{fi} mm	t_1^* mm	H* mm	$F_{v,Rk,fi}^*$ N	$F_{v,Rd,fi}^*$ N
1	6	50	12	72	2	0,7	30	18	68	108	15432,3	12345,8
2	12	50	12	72	4	0,7	30	18	68	108	30864,6	24691,6
3	18	50	12	108	6	0,7	30	18	68	144	46296,8	37037,5
4	24	50	12	108	8	0,7	30	18	68	144	61729,1	49383,3
5	30	50	12	72	9	0,7	30	18	68	108	69445,2	55556,2

4. MÉTODO COMPUTACIONAL E RESULTADOS

O modelo computacional para análise a elevadas temperaturas utiliza o elemento finito SOLID278. O elemento possui 8 nós com 1 grau de liberdade por nó, a temperatura, aplicável a uma análise térmica 3D em regime transiente. O SOLID278 permite malhas prismáticas e degenerações tetraédricas em regiões irregulares do modelo. A malha adotada tem elementos com tamanho de 5 mm. As condições de fronteira são de convecção e radiação com temperatura ambiente em função da imposição da curva normalizada de fogo ISO 834, para um tempo de exposição de 30 minutos, figura 1. O coeficiente de convecção é de 25 W/m²K, a emissividade do fogo igual a 1 e a temperatura inicial do modelo é de 20 °C.

A análise térmica permitiu determinar a velocidade de carbonização, a camada carbonizada, a distribuição do campo de temperatura em cada elemento da ligação e a influência dos ligadores. De acordo com o Eurocódigo 5 parte 1-2 [1] a madeira carboniza quando atinge 300°C, e não apresenta resistência mecânica para temperaturas superiores, diminuindo gradualmente a capacidade de carga conforme o avanço da profundidade de carbonização.

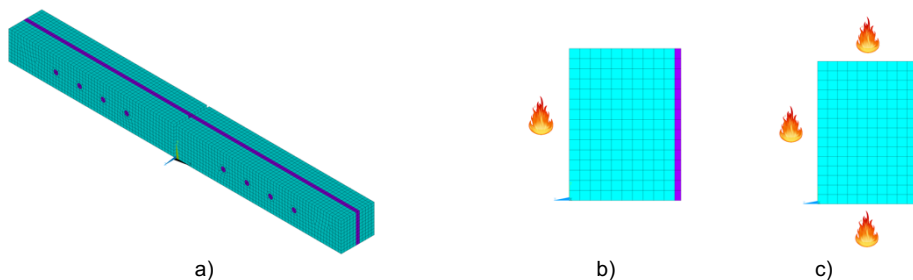


Figura 1: Ligação W-S-W: a) malha do modelo 1, b) fogo em 1 lado, c) fogo em 3 lados.

O modelo computacional desenvolvido permite conhecer a distribuição das temperaturas ao longo da cavilha. Esta análise ajuda a entender a evolução das temperaturas para o interior da ligação. A figura 2 representa as temperaturas ao longo do comprimento da cavilha após 12,90 minutos de exposição ao fogo (1 e 3 lados) para as ligações não protegidas e protegidas. Em relação à condução de calor pela cavilha, pode perceber-se que a proteção pelo aumento da espessura da madeira é mais eficiente na exposição ao fogo em 3 lados para curtos tempos de exposição. Embora a cavilha se apresente como um mecanismo de condução de calor para o interior da ligação em todos os casos, apenas na exposição em 3 lados não protegidas a temperatura ultrapassa 300 °C.

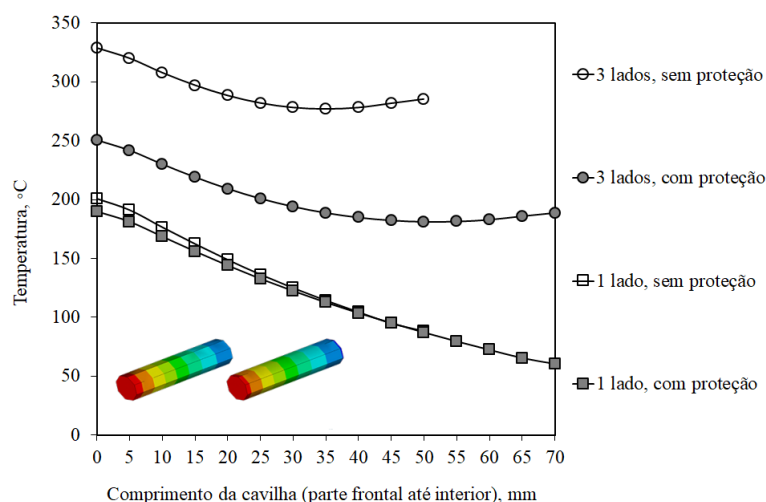


Figura 2: Temperatura ao longo do comprimento da cavilha após 12,90 minutos de exposição.

As figuras 3 e 4 representam o campo de temperaturas na ligação, numa seção transversal da madeira, a carbonização atingida na madeira (representada a cor cinza) e o perfil de temperaturas nos elementos em aço. Apresentam-se os resultados nas ligações sem e com aumento da espessura da madeira, para 1 e 3 frentes de exposição ao fogo no final de 12,9 minutos. De acordo com o Eurocódigo 5 parte 1-2 [3], as ligações não protegidas têm uma resistência de 12,90 minutos. Nas ligações com aumento da espessura da madeira a resistência ao fogo deve atingir 30 minutos, de acordo com Eurocódigo 5 parte 1-2 [3].

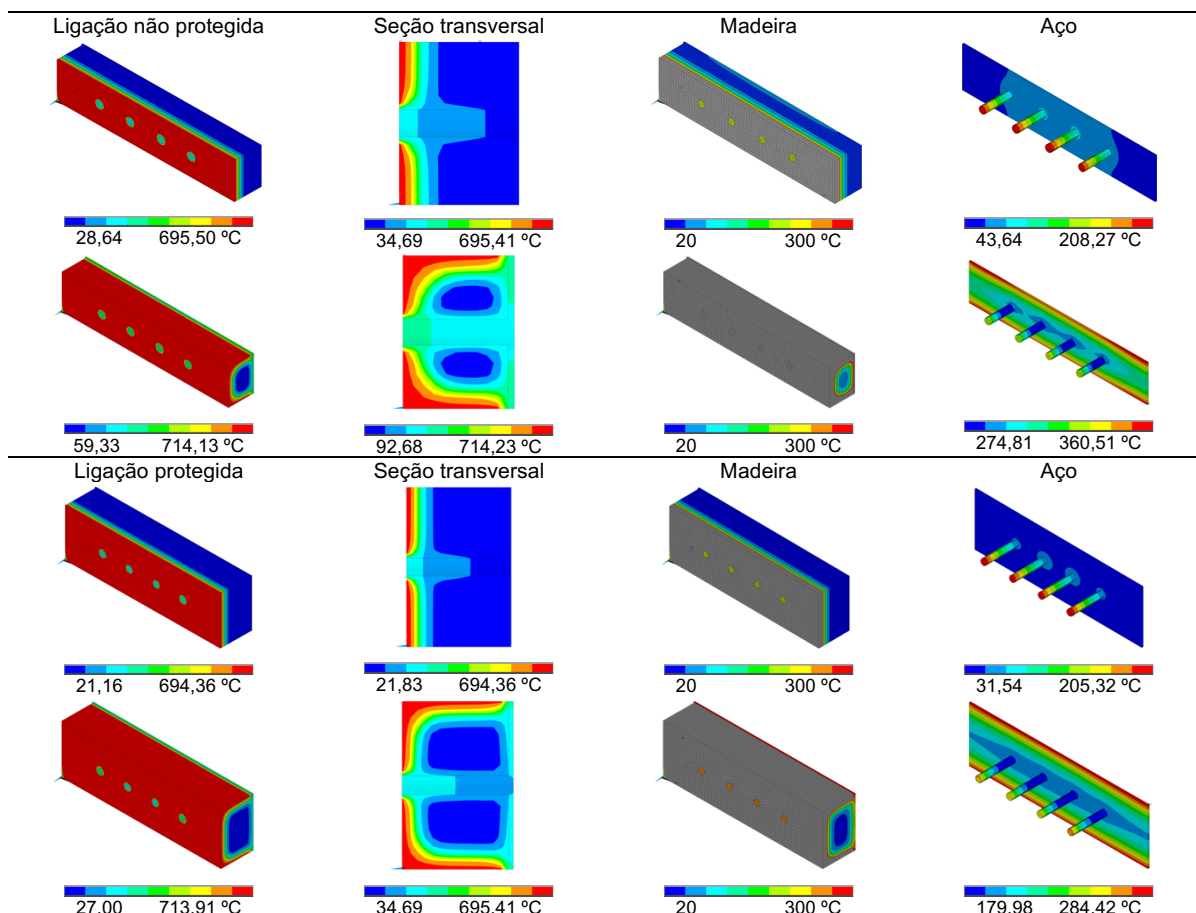


Figura 3: Temperaturas na ligação não protegida e protegida, exposição 1 e 3 lados, 12,90 min.

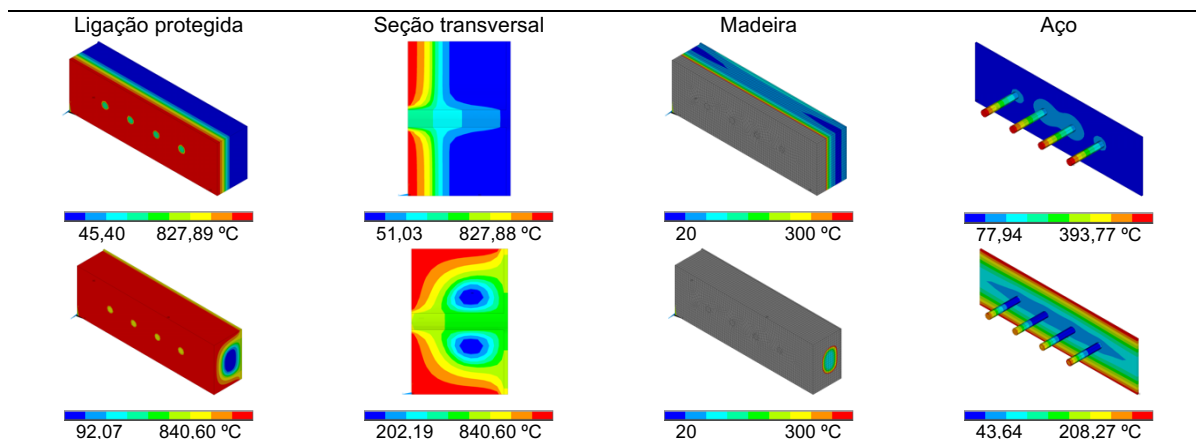


Figura 4: Temperaturas na ligação protegida com exposição 1 e 3 lados, final de 30 min.

6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
1as Jornadas de Proteção Civil
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018

A carbonização foi analisada em três seções distintas considerando o cálculo da profundidade em mm e da velocidade de carbonização em mm/min, conforme se apresenta nas tabelas 4 e 5: a seção 1 é a mais distante do ligador, a seção 2 contempla o interior da madeira e ligador, e a seção 3 é na madeira entre ligadores. As medições da profundidade carbonizada foram efetuadas partindo da superfície frontal das ligações que contem as cavilhas (para 1 e 3 lados de exposição ao fogo) e ainda na superfície superior da ligação (no caso de fogo em 3 frentes).

Com base nos resultados da tabela 4, para uma frente de exposição ao fogo, observa-se que todas as ligações não protegidas possuem a mesma velocidade de carbonização na seção 1. Na seção 2, nota-se que as cavilhas metálicas exercem influência no cálculo da carbonização em todas as ligações obtendo-se uma menor velocidade de carbonização. Na seção 3, entre cavilhas, a carbonização é uniforme, sendo menor do que a seção 1 e maior que a seção 2. Na exposição ao fogo em 3 lados, a carbonização na seção 1 tem uma profundidade semelhante à exposição de 1 lado. Na seção 2 a camada de carbonização é significativamente menor nas ligações com mais de uma linha de ligadores. A seção 3 apresenta valores iguais à seção 1. Entende-se assim que as regiões não próximas das cavilhas sofrem pouca influência durante a carbonização. Em relação à carbonização da superfície superior do membro de madeira com 3 lados de exposição, identifica-se uma menor velocidade na seção 1. Na exposição do fogo em 3 lados, existe o efeito de arredondamento de canto, que contribui para a carbonização avançar de forma mais rápida na diagonal das seções.

A tabela 5 apresenta a espessura e a velocidade de carbonização após 30 minutos de exposição ao fogo nas ligações protegidas pelo aumento de espessura. Para 1 lado de exposição, a velocidade de carbonização média nas 3 seções analisadas foi 0,71 mm/min. Para a exposição de 1 lado a carbonização sofre pouca influência pela configuração adotada das cavilhas. Na superfície superior, a seção 1 apresenta uma carbonização uniforme entre as ligações e maior do que nas ligações não protegidas. A seção 2 praticamente não tem seção residual, por isso os valores não são apresentados na tabela 5. A seção 3 apresenta uma velocidade de carbonização elevada, evidenciando a influência dos elementos metálicos na condução de calor para o interior da ligação. Na superfície superior da ligação, a profundidade e a velocidade de carbonização são maiores. O Eurocódigo 5 parte 1-2 [3] adota a mesma velocidade para todos os lados, entretanto, em alguns estudos [7] os lados estreitos das seções transversais possuem uma velocidade de carbonização maior, conforme os resultados do presente trabalho.

6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
Las Jornadas de Proteção Civil
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018

Tabela 4: Ligações não protegidas: exposição 1 e 3lados, superfície superior (3lados), 12,9min.

1 lado	Seção 1, mm	mm/min	Seção 2, mm	mm/min	Seção 3, mm	mm/min
1	9,25	0,72	9,00	0,70	9,25	0,72
2	9,30	0,72	9,10	0,70	9,25	0,71
3	9,30	0,72	8,75	0,68	9,25	0,71
4	9,30	0,72	8,70	0,67	9,25	0,71
5	9,25	0,72	9,10	0,71	9,15	0,71
Média	9,28	0,72	8,93	0,69	9,23	0,71
3 lados						
1	9,55	0,74	10,00	0,78	9,45	0,72
2	9,45	0,73	10,00	0,83	9,45	0,71
3	9,25	0,72	9,10	0,71	9,25	0,71
4	9,25	0,72	9,00	0,70	9,25	0,71
5	9,25	0,73	10,00	0,77	9,15	0,71
Média	9,37	0,73	9,78	0,77	9,37	0,71
Sup.superior (3lados)						
1	9,26	0,72	9,41	0,73	9,58	0,75
2	9,26	0,72	9,60	0,74	9,51	0,73
3	9,18	0,71	8,93	0,70	9,34	0,73
4	9,13	0,71	9,46	0,74	9,18	0,72
5	8,98	0,70	9,29	0,72	9,20	0,71
Média	9,16	0,71	9,34	0,73	9,36	0,73

Tabela 5: Ligações protegidas, exposição 1 e 3lados, superfície superior (3lados), 30 min.

1 lado	Seção 1, mm	mm/min	Seção 2, mm	mm/min	Seção 3, mm	mm/min
1	21,42	0,71	21,37	0,71	21,13	0,70
2	21,42	0,71	21,47	0,72	21,27	0,71
3	21,47	0,72	21,23	0,71	21,32	0,71
4	21,47	0,72	21,18	0,71	21,37	0,71
5	21,42	0,72	21,42	0,71	21,32	0,71
Média	21,44	0,71	21,33	0,71	21,28	0,71
3 lados						
1	23,12	0,77	-	-	24,28	0,81
2	23,17	0,77	-	-	24,29	0,81
3	21,86	0,73	-	-	22,34	0,74
4	21,86	0,73	-	-	22,83	0,76
5	22,88	0,76	-	-	24,29	0,81
Média	22,58	0,75	-	-	23,61	0,79
Sup.superior (3lados)						
1	25,82	0,86	-	-	26,06	0,87
2	25,77	0,86	-	-	26,41	0,88
3	24,38	0,81	-	-	26,20	0,87
4	24,43	0,81	-	-	25,90	0,86
5	25,72	0,86	-	-	25,83	0,86
Média	25,23	0,84	-	-	26,08	0,87

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta diferentes metodologias aplicadas ao projeto em situação de incêndio em ligações W-S-W. Foram utilizadas equações analíticas apresentadas no Eurocódigo 5 parte 1-1 [1] para o projeto de ligações em temperatura ambiente e posteriormente utilizado o método de redução de carga, conforme o Eurocódigo 5 parte 1-2 [3], para avaliar o desempenho das ligações a elevadas temperaturas. A velocidade de carbonização é um parâmetro importante no cálculo e dimensionamento das ligações em estudo. Os resultados mostram que a carbonização da madeira sofre grande influência dos ligadores de aço tanto retardando a carbonização em curtos tempos de exposição, como acelerando para longos tempos de exposição. A configuração das cavilhas e os tipos de exposição causam grande variação nos resultados de carbonização. O método de proteção das ligações com um incremento de espessura da madeira apresenta-se como uma boa alternativa de proteção para ligações expostas num lado ao fogo, e não tão eficiente para exposição de 3 lados em longos períodos de exposição, devido à condução de calor pelos elementos de aço (cavilhas e placa central). O modelo computacional proposto na análise térmica apresenta boa correlação com o modelo analítico, e pode ser utilizado para determinação dos campos de temperatura em cada material da ligação W-S-W e determinar a velocidade de carbonização em diferentes seções da ligação. Na análise térmica os valores obtidos no cálculo da velocidade foram maiores que os apresentados no Eurocódigo 5 parte 1-2 [3], com maior variação nas regiões próximas às cavilhas. O modelo computacional também pode ser usado para diferentes tipos de madeira e ligações. Neste tipo de análise, os ligadores tiveram forte influência na avaliação da resistência térmica, assim como nas mesmas condições, o arranjo dos ligadores pode aumentar significativamente a capacidade de carga resistente da ligação.

REFERÊNCIAS

- [1] CEN, EN1995-1-1: Eurocode 5: *Design of timber structures*. Part 1-1: General Common rules and rules for buildings, Brussels, 2004.
- [2] L. Peng, G. Hadjisophocleous, J. Mehaffey, M. Mohammad - *On the Fire Performance of Double-Shear Timber Connections*, *Fire Safety Science*, vol. 42, 2011, p. 1207-1218. DOI: 10.3801/IAFFS.FSS.10-1207.
- [3] CEN, EN1995-1-2: Eurocode 5: *Design of timber structures*. Part 1-2: General Structural fire design, Brussels, 2004.
- [4] CEN, BS EN 1194:1999, *Timber Structures – Glued laminated timber – Strength classes and determination of characteristic values*. British Standard, 1999.
- [5] CEN, EN1993-1-1: Eurocode 3: *Design of steel structures*. Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [6] CEN, EN1993-1-2: Eurocode 3: *Structural fire design*. Part 1-2: General rules, Brussels, 2005.
- [7] König, J. - *Structural fire design according to Eurocode 5 - Design rules and their background*, *Fire Mater*, vol. 29, no. 3, 2005, p. 147–163.