

8JORNINC-3JORPROCIV

8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
e as 3as Jornadas de Proteção Civil
Porto, 1 e 2 de junho 2023

Resumos das 8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e as 3as Jornadas de Proteção Civil (8JORNINC-3JORPROCIV)

isep

Instituto Superior de
Engenharia do Porto

P. PORTO

2 de junho de 2023



Gislotica



CIN
PERFORMANCE COATINGS



ORDEM
DOS
ENGENHEIROS



albrasci

8JORNINC-3JORPROCIV

ISBN: 978-989-35087-2-5



8JORNINC-3JORPROCIV

8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
e as 3as Jornadas de Proteção Civil
Porto, 1 e 2 de junho 2023

LIVRO DE RESUMOS

isep Instituto Superior de
Engenharia do Porto

P.PORTO

*8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e as 3as Jornadas de Proteção Civil
Instituto Superior de Engenharia - Portugal - 1-2 de junho de 2023*

TÍTULO:

Resumos das 8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e as 3as Jornadas de Proteção Civil (8JORNINC-3JORPROCIV)

EDITOR:

Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP

COORDENADORES DA EDIÇÃO:

Elza M. M. Fonseca; Hernâni R. Lopes; Armando V. Campos;
Ana R. João; António G. Magalhães; João F. Silva

ISBN:

978-989-35087-2-5

TIRAGEM:

60

1ª edição, junho de 2023

OBSERVAÇÃO:

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou transmitida de qualquer outra forma ou por qualquer meio, eletrónico, fotocópia, ou outros, sem prévia autorização escrita dos editores.

A qualidade científica e os conteúdos dos resumos são da inteira responsabilidade dos respetivos autores.

PREFÁCIO

Este livro contém os resumos dos trabalhos apresentados às 8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e às 3as Jornadas de Proteção Civil (8JORNINC-3JORPROCIV), que decorreram no Porto, Portugal, no dias 1-2 de junho de 2023.

Na presente edição das 8JORNINC-3JORPROCIV foram submetidos 50 trabalhos, tendo sido aceites 42. Os trabalhos foram distribuídos em 8 sessões paralelas temáticas, em adição a 2 sessões plenárias.

O evento foi iniciado e promovido em Portugal, sob a organização do professor Doutor João Paulo Rodrigues, com as 1as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos, em 2005, na Universidade de Coimbra, bem como nos anos seguintes, as 2as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2011 e as 3as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2013, também na Universidade de Coimbra.

As edições seguintes aconteceram em diferentes locais: as 4as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2014, no Instituto Politécnico de Bragança; as 5as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2016, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em Lisboa; as 6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e 1as Jornadas de Proteção Civil em 2018, na Universidade de Coimbra; e as 7as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e 2as Jornadas de Proteção Civil, em 2021, no Instituto Politécnico de Castelo Branco.

As 8JORNINC apresentam grande importância num contexto atual de vários e graves incêndios urbanos, florestais e de interface em Portugal. A pertinência do tema da segurança na prevenção e no combate a incêndios, quer pelas consequências emergentes deste tipo de acidentes, quer pela necessidade de redução das ocorrências, do número de vítimas mortais, feridos, prejuízos materiais, patrimoniais, ambientais e sociais, leva a que as Jornadas se destinem a um leque alargado de profissionais e público em geral.

As 3JORPROCIV têm como objetivo promover conhecimentos nas áreas da prevenção civil, de riscos e planos de emergência. Pretendem assim, contribuir para a atualização dos conhecimentos técnicos e científicos da segurança e proteção civil, no âmbito do planeamento e prevenção perante cenários de crise e emergência. As Jornadas de Proteção Civil permitem partilhar um leque de conhecimentos multidisciplinares suscetíveis de impulsionar uma intervenção por parte de técnicos, especialistas e dos agentes da proteção civil. A visão interdisciplinar e integradora dos problemas e desafios que a proteção civil apresenta será refletida na prevenção e mitigação dos riscos inerentes a uma situação de acidente.

*8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e as 3as Jornadas de Proteção Civil
Instituto Superior de Engenharia - Portugal - 1-2 de junho de 2023*

Os trabalhos apresentados nesta edição, permitirão o avanço das 8JORNINC-3JORPROCIV, através da divulgação dos recentes desenvolvimentos e do conhecimento nos domínios da segurança ao incêndio e proteção civil.

Por fim, a comissão organizadora das 8JORNINC-3JORPROCIV gostaria de agradecer:

- o apoio dos patrocinadores e das instituições do Sistema Científico e Tecnológico;
- a todos os autores que partilharam os seus excelentes trabalhos;
- e aos elementos da Comissão Científica que auxiliaram no processo de revisão.

Todos em conjunto, tornaram possível a realização destas Jornadas.

A organização das 8JORNINC-3JORPROCIV:

Elza M. M. Fonseca
Hernâni R. Lopes
Armando V. Campos
Ana R. João
António G. Magalhães
João F. Silva

COMISSÃO EXECUTIVA

Elza M. M. Fonseca (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)
Hernâni R. Lopes (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)
Armando V. Campos (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)

COMISSÃO ORGANIZADORA

Ana R. João (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)
António G. Magalhães (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)
João F. Silva (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)

ORADORES CONVIDADOS

Aline Camargo (I&DT – Núcleo Técnico e Científico, Itecons - Pólo II, Universidade de Coimbra)
Anabela Martins (INEGI, Laboratório de Fumo e Fogo, Porto)

COMISSÃO CIENTÍFICA

Aldina Aldina Santiago (Universidade de Coimbra)
Aline L. Camargo (Universidade de Coimbra)
Ana R. João (Instituto Politécnico do Porto)
António José Pedroso de Moura Correia (Instituto Politécnico de Coimbra)
Armando V. Campos (Instituto Politécnico do Porto)
António G. Magalhães (Instituto Politécnico do Porto)
Carlos André Soares Couto (Universidade de Aveiro)
Carlos Balsa (Instituto Politécnico de Bragança)
Carlos Miguel P. da Silva Santos (Instituto Superior de Engenharia do Porto)
Cristina Calmeiro dos Santos (Instituto Politécnico de Castelo Branco)
Cristina Delerue-Matos (Instituto Politécnico do Porto)
Débora Macanjo Ferreira (Instituto Politécnico de Bragança)
Domingos Xavier Viegas (Universidade de Coimbra)
Elza M. M. Fonseca (Instituto Politécnico do Porto)
Hernâni R. Lopes (Instituto Politécnico do Porto)
Humberto Varum (Universidade do Porto)
João Carlos Viegas (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)
João F. Silva (Instituto Politécnico do Porto)
João Paulo Correia Rodrigues (Universidade de Coimbra) – Coordenador
João Ramôa Correia (Universidade de Lisboa)
José Carlos Góis (Universidade de Coimbra)
José Gaspar (Instituto Politécnico de Coimbra)
José Luís Zêzere (Universidade de Lisboa)
Leonardo José da Silva Ribeiro (Instituto Politécnico do Porto)
Lino Marques (Universidade de Coimbra)
Luciano Lourenço (Universidade de Coimbra)
Luís Laím (Universidade de Coimbra)
Luís M. R. Mesquita (Instituto Politécnico de Bragança)
Mário A. P. Vaz (Universidade do Porto)
Nuno Lopes (Universidade de Aveiro)
Paulo A. G. Piloto (Instituto Politécnico de Bragança)
Paulo B. Lourenço (Universidade do Minho)
Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira (Universidade de Coimbra)
Pedro Dias Simão (Universidade de Coimbra)
Paulo Vila Real (Universidade de Aveiro)
Pedro J. Coelho (Universidade de Lisboa)
Ricardo Mendes (Universidade de Coimbra)
Rui A. Rego (Instituto Politécnico do Porto)
Simone Morais (Instituto Politécnico do Porto)

ÍNDICE

PREFÁCIO.....	ii
COMISSÃO EXECUTIVA.....	ii
COMISSÃO ORGANIZADORA.....	ii
ORADORES CONVIDADOS.....	ii
COMISSÃO CIENTÍFICA.....	iii
SESSÕES PLENÁRIAS.....	6
ARQUITECTURA E URBANISMO NA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO.....	8
REAÇÃO AO FOGO – CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS E ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO.....	10
SESSÕES PARALELAS TEMÁTICAS.....	12
ANACRONISMO DA REGULAMENTAÇÃO DE SCIE PORTUGUESA FACE À DE OUTROS PAÍSES EUROPEUS.....	14
ESTUDO DE CASO DE PROJETO DE SCIE BASEADO NO DESEMPENHO DE UM EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO.....	16
MEDIDAS DE AUTOPROTEÇÃO E INCÊNDIOS FLORESTAIS – A AUSÊNCIA DE REQUISITOS ESPECÍFICOS DO CÓDIGO NO REGULAMENTO PORTUGUÊS.....	18
POR UM NOVO PARADIGMA PARA OS FOGOS DE INTERFACE URBANO-FLORESTAL.....	20
PERFIS EM ALUMÍNIO COM E SEM PROTEÇÃO AO FOGO: COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO SIMPLIFICADO E NUMÉRICO.....	22
AVALIAÇÃO TÉRMICA DE LIGAÇÕES AÇO-MADEIRA EM CORTE SIMPLES QUANDO SUBMETIDAS AO FOGO.....	24
AVALIAÇÃO DA SEÇÃO RESIDUAL DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DE SUPORTE EM MADEIRA COM PROTEÇÃO SUBMETIDOS AO FOGO.....	26
AVALIAÇÃO DAS DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA REGULAMENTARES ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FOGOS FLORESTAIS.....	28
PROPOSTA PARA REGULAMENTAÇÃO NA VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE HABITAÇÕES AO FOGO FLORESTAL.....	30
NUMERICAL ASSESSMENT OF FIREBRAND ACCUMULATION.....	32
EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF FIREBRANDS ACCUMULATION TEMPERATURE-TIME CURVES IN PLANE SURFACES.....	34
MODELLING TECHNIQUES FOR THE FIRE PERFORMANCE OF EMPTY CAVITIES IN LSF WALLS.....	36
DESIGNING COMPRESSED MEMBERS OF TRUSSES AND BRACING SYSTEMS IN FIRE USING MACHINE LEARNING MODELS.....	38
PROTECÇÃO PASSIVA CONTRA O FOGO E PROTECÇÃO ANTICORROSIVA: COMBINAÇÃO DE ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO FOGO COM ENSAIOS DE PROTECÇÃO ANTICORROSIVA DE ACORDO COM A NORMA ISO 12944.....	40
AUSTENITIC HOLLOW STAINLESS STEEL BEAMS AT ELEVATED TEMPERATURES: EXPERIMENTAL AND NUMERICAL VALIDATION.....	42
SMOKE FLOW IN SLOPED TUNNELS.....	44
FINITE ELEMENT ANALYSIS TO MODEL THE FIRE BEHAVIOUR OF MULTILAYER WOOD-BASED SYSTEMS.....	46
A NEW PROPOSAL FOR ESTIMATING THE TEMPERATURES ON THE STEEL DECK COMPONENTS OF COMPOSITE SLABS UNDER FIRE.....	48
VELOCIDADES DE EVACUAÇÃO PEDONAL EM CENÁRIO DE INCÊNDIO - CASO DE ESTUDO DE CABANÕES.....	50
RISCOS PARA A SAÚDE DOS OPERACIONAIS DURANTE O COMBATE A INCÊNDIOS E NECESSIDADES NO APOIO SANITÁRIO EM PORTUGAL.....	52
CONTRIBUIÇÃO DO COMBATE AOS INCÊNDIOS URBANOS PARA A EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL COMO BOMBEIRO.....	54

*8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e as 3as Jornadas de Proteção Civil
Instituto Superior de Engenharia - Portugal - 1-2 de junho de 2023*

NÍVEIS DE PARTÍCULAS RESPIRÁVEIS LIBERTADOS DURANTE FOGOS CONTROLADOS URBANOS.....	56
FIRE BEHAVIOUR OF MORTARS WITH PORTLAND CEMENT AND RESIDUAL DIATOMACEOUS EARTH	58
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE PROVETES DE GRANITO SUJEITOS A TEMPERATURAS ELEVADAS	60
SIMULAÇÃO CFD DA DESENFUMAGEM DE UM PARQUE DE ESTACIONAMENTO EM CASO DE INCÊNDIO.....	62
ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EDIFÍCIO REMODELADO EM CASTELO BRANCO	64
EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS – CASO DE ESTUDO DE UM EDIFÍCIO ESCOLAR	66
FLOOD RISK ASSESSMENT OF THE HISTORIC CITY CENTRE OF AVEIRO, PORTUGAL	68
REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM ESTRUTURA METÁLICA DANIFICADOS POR INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	70
SIMULACRO DE INCÊNDIO NUM EDIFÍCIO HOSPITAL – CASO DO HOSPITAL SOBRAL CID, EM COIMBRA	72
ANÁLISE DAS MEDIDAS DE PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO DO RISCO DE EXPLOÇÃO DE POEIRA NO PROCESSO INDUSTRIAL DE SECAGEM DE RESINAS DE POLICLORETO DE VINILO	74
ANÁLISE ESPECÍFICA DE RISCOS PARA O TÚNEL DE MONTEMOR.....	76
INCIDENTES/ACIDENTES NO TÚNEL DE MONTEMOR E TROÇOS DE AUTOESTRADA ADJACENTES	78
AVALIAÇÃO PARAMÉTRICA DOS MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR NUM CENÁRIO DE INCÊNDIO NA INTERFACE URBANO - FLORESTAL	80
FOREST FIRE EMISSIONS AS A PUBLIC HEALTH BURDEN	82
BIOMARKERS FOR THE SURVEILLANCE OF FIREFIGHTER'S HEALTH	84
POTENCIAL DAS ÁGUAS TERMAIS PARA MELHORAR A SAÚDE RESPIRATÓRIA DOS BOMBEIROS	86
AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DO UHPC APÓS EXPOSIÇÃO A TEMPERATURAS ELEVADAS.....	88
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE BETÕES DE ULTRA-ELEVADO DESEMPENHO (UHPC) APÓS EXPOSIÇÃO A ELEVADAS TEMPERATURAS	90
AI-4-MUFF PROJECT RESULTS OVERVIEW: GOING THROUGHT THREE YEARS OF RESEARCH ON URBAN FIRES OCCURRENCE IN PORTUGAL.....	92
A MADEIRA vs. OUTROS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO AO FOGO	94
A CAPACIDADE DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE VIGAS SUJEITAS AO FOGO.....	96
ÍNDICE REMISSIVO DE AUTORES	98

MODELLING TECHNIQUES FOR THE FIRE PERFORMANCE OF EMPTY CAVITIES IN LSF WALLS

Paulo A. G. Piloto*
Professor
IPB – Bragança
INEGI - LAETA

Stephan Gomes
MSc student
IPB – Bragança

Leonardo Torres
PhD student
UA – Aveiro
Risco

Carlos Couto
Researcher
UA – Aveiro
Risco

Paulo Vila Real
Full Professor
UA – Aveiro
Risco

ABSTRACT

Three different solution models were used to compare the fire performance of LSF walls with void cavities. The first solution method considers the air-structure interaction in the cavity region. The second solution method considers the existence of interface elements for the radiation heat transfer in the cavity region allowing the bulk temperature prediction. The third solution method considers the convection and radiation in the cavity region with a prescribed bulk temperature from experiments (hybrid). Solution methods 1 and 3 give a smaller root mean square error (RMSE), when compared with solution method 2. Solution method 3 gives a better approximation because can capture the main fire events during fire testing, such as the cracks and fall off.

KEYWORDS: LSF; Fire; Cavity; Bulk temperature.

1. INTRODUCTION

The numerical validation is discussed towards the prediction of the fire resistance. Two distinct stud geometries have been selected, considering the experimental tests developed by Kolarkar and Mahendran [1], where the LSF walls are using three G500 lipped studs type C 90x40x15x1.15, spaced every 500 mm, and the experimental tests developed by Dias et al. [2], where the LSF walls are using the G500 web-stiffened studs type Σ , 90x40x15x1.15, spaced every 450 mm. Both structures were protected by multiple 16 mm thick fireproof gypsum layers.

2. MATERIAL AND MODELS

All the models have been tested with single and double gypsum protection layers under standard fire conditions. The results for the specimen 3 are depicted in Figure 1. Temperature is compared over time for each experimental measurement available, over steel and gypsum.

*Corresponding author – Instituto Politécnico de Bragança, Departamento de Mecânica Aplicada, Campus Santa Apolónia, Bragança, Portugal email: ppiloto@ipb.pt <http://www.ipb.pt>

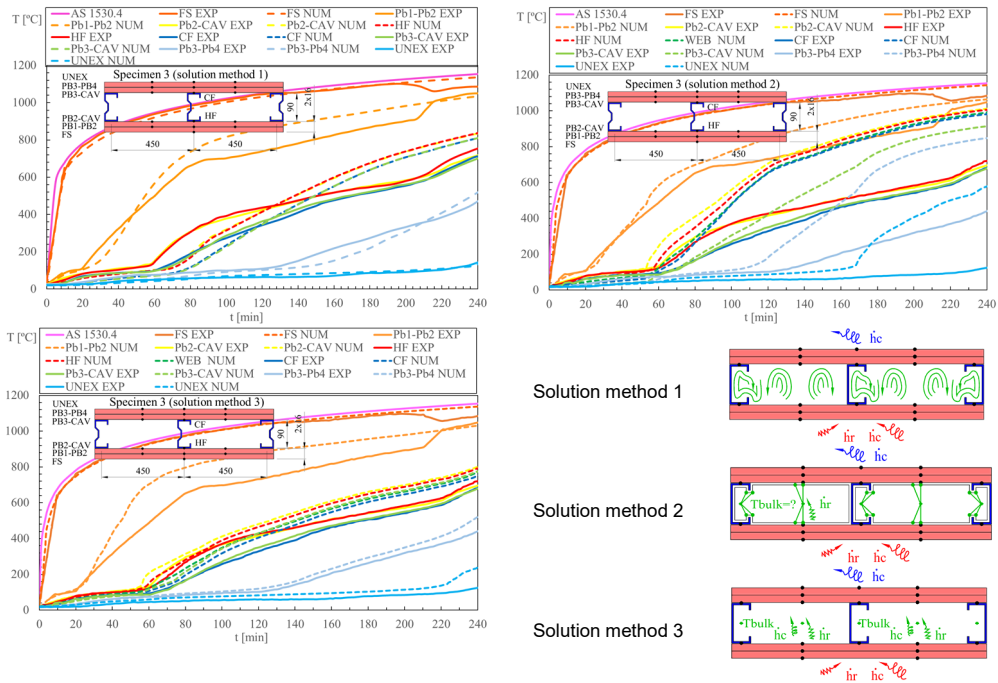


Figure 1 – Solution methods for specimen 3 and temperature history results.

3. CONCLUSIONS

All the models are overpredicting the experimental temperatures because standard furnace temperature has been used (not real furnace) and some fire events are missing in simulations (cracks, fall off of gypsum plates). Even though the effective properties are being used to mimic some singularities that occurred during the experimental tests. Solution methods 1 (CFD running with FVM) and 3 (hybrid model running with FEM) provide the smaller RMSE during the simulation of the experimental tests. The fire resistance has been predicted using the three solution methods. The relative error is also smaller for solution methods 1 and 3.

REFERENCES

- [1] P. Kolarkar and M. Mahendran, "Experimental studies of non-load bearing steel wall systems under fire conditions," *Fire Saf. J.*, vol. 53, pp. 85–104, Oct. 2012.
- [2] Y. Dias, P. Keerthan, and M. Mahendran, "Fire perf. of steel and plasterboard sheathed non-load bearing LSF walls," *Fire Saf. J.*, vol. 103, no. October 2018, pp. 1–18, 2019.



8JORNINC-3JORPROCIV

8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
e as 3as Jornadas de Proteção Civil
Porto, 1 e 2 de junho 2023

LIVRO DE ATAS

isep Instituto Superior de
Engenharia do Porto

P.PORTO

*8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e as 3as Jornadas de Proteção Civil
Instituto Superior de Engenharia - Portugal - 1-2 de junho de 2023*

TÍTULO: Atas das 8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e as 3as Jornadas de Proteção Civil (8JORNINC-3JORPROCIV)

EDITOR:

Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP

COORDENADORES DA EDIÇÃO:

Elza M. M. Fonseca; Hernâni R. Lopes; Armando V. Campos;

Ana R. João; António G. Magalhães; João F. Silva

ISBN:

978-989-35087-3-2

TIRAGEM:

USB Flash Drive

1ª edição, junho de 2023

OBSERVAÇÃO:

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou transmitida de qualquer outra forma ou por qualquer meio, eletrónico, fotocópia, ou outros, sem prévia autorização escrita dos editores.

A qualidade científica e os conteúdos dos resumos são da inteira responsabilidade dos respetivos autores.

PREFÁCIO

Este livro de ATAS contém os artigos apresentados às 8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e às 3as Jornadas de Proteção Civil (8JORNINC-3JORPROCIV), que decorreram no Porto, Portugal.

Na presente edição das 8JORNINC-3JORPROCIV foram submetidos 50 trabalhos, tendo sido aceites 42. Os trabalhos foram distribuídos em 8 sessões paralelas temáticas, em adição a 2 sessões plenárias, apresentados no dia 2 de junho de 2023.

O evento foi iniciado e promovido em Portugal, sob a organização do professor Doutor João Paulo Rodrigues, com as 1as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos, em 2005, na Universidade de Coimbra, bem como nos anos seguintes, as 2as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2011 e as 3as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2013, também na Universidade de Coimbra.

As edições seguintes aconteceram em diferentes locais: as 4as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2014, no Instituto Politécnico de Bragança; as 5as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2016, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em Lisboa; as 6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e 1as Jornadas de Proteção Civil em 2018, na Universidade de Coimbra; e as 7as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e 2as Jornadas de Proteção Civil, em 2021, no Instituto Politécnico de Castelo Branco.

As 8JORNINC apresentam grande importância num contexto atual de vários e graves incêndios urbanos, florestais e de interface em Portugal. A pertinência do tema da segurança na prevenção e no combate a incêndios, quer pelas consequências emergentes deste tipo de acidentes, quer pela necessidade de redução das ocorrências, do número de vítimas mortais, feridos, prejuízos materiais, patrimoniais, ambientais e sociais, leva a que as Jornadas se destinem a um leque alargado de profissionais e público em geral.

As 3JORPROCIV têm como objetivo promover conhecimentos nas áreas da prevenção civil, de riscos e planos de emergência. Pretendem assim, contribuir para a atualização dos conhecimentos técnicos e científicos da segurança e proteção civil, no âmbito do planeamento e prevenção perante cenários de crise e emergência. As Jornadas de Proteção Civil permitem partilhar um leque de conhecimentos multidisciplinares suscetíveis de impulsionar uma intervenção por parte de técnicos, especialistas e dos agentes da proteção civil. A visão interdisciplinar e integradora dos problemas e desafios que a proteção civil apresenta será refletida na prevenção e mitigação dos riscos inerentes a uma situação de acidente.

*8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e as 3as Jornadas de Proteção Civil
Instituto Superior de Engenharia - Portugal - 1-2 de junho de 2023*

Os trabalhos apresentados nesta edição, permitirão o avanço das 8JORNINC-3JORPROCIV, através da divulgação dos recentes desenvolvimentos e do conhecimento nos domínios da segurança ao incêndio e proteção civil.

Por fim, a comissão organizadora das 8JORNINC-3JORPROCIV gostaria de agradecer:

- o apoio dos patrocinadores e das instituições do Sistema Científico e Tecnológico;
- a todos os autores que partilharam os seus excelentes trabalhos;
- e aos elementos da Comissão Científica que auxiliaram no processo de revisão.

Todos em conjunto, tornaram possível a realização destas Jornadas.

A organização das 8JORNINC-3JORPROCIV:

Elza M. M. Fonseca
Hernâni R. Lopes
Armando V. Campos
Ana R. João
António G. Magalhães
João F. Silva

COMISSÃO EXECUTIVA

Elza M. M. Fonseca (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)
Hernâni R. Lopes (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)
Armando V. Campos (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)

COMISSÃO ORGANIZADORA

Ana R. João (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)
António G. Magalhães (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)
João F. Silva (ISEP, Instituto Politécnico do Porto)

ORADORES CONVIDADOS

Aline Camargo (I&DT – Núcleo Técnico e Científico, Itecons - Pólo II, Universidade de Coimbra)
Anabela Martins (INEGI, Laboratório de Fumo e Fogo, Porto)

COMISSÃO CIENTÍFICA

Aldina Aldina Santiago (Universidade de Coimbra)
Aline L. Camargo (Universidade de Coimbra)
Ana R. João (Instituto Politécnico do Porto)
António José Pedroso de Moura Correia (Instituto Politécnico de Coimbra)
Armando V. Campos (Instituto Politécnico do Porto)
António G. Magalhães (Instituto Politécnico do Porto)
Carlos André Soares Couto (Universidade de Aveiro)
Carlos Balsa (Instituto Politécnico de Bragança)
Carlos Miguel P. da Silva Santos (Instituto Superior de Engenharia do Porto)
Cristina Calmeiro dos Santos (Instituto Politécnico de Castelo Branco)
Cristina Delerue-Matos (Instituto Politécnico do Porto)
Débora Macanjo Ferreira (Instituto Politécnico de Bragança)
Domingos Xavier Viegas (Universidade de Coimbra)
Elza M. M. Fonseca (Instituto Politécnico do Porto)
Hernâni R. Lopes (Instituto Politécnico do Porto)
Humberto Varum (Universidade do Porto)
João Carlos Viegas (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)
João F. Silva (Instituto Politécnico do Porto)
João Paulo Correia Rodrigues (Universidade de Coimbra) – Coordenador
João Ramôa Correia (Universidade de Lisboa)
José Carlos Góis (Universidade de Coimbra)
José Gaspar (Instituto Politécnico de Coimbra)
José Luís Zêzere (Universidade de Lisboa)
Leonardo José da Silva Ribeiro (Instituto Politécnico do Porto)
Lino Marques (Universidade de Coimbra)
Luciano Lourenço (Universidade de Coimbra)
Luís Laím (Universidade de Coimbra)
Luís M. R. Mesquita (Instituto Politécnico de Bragança)
Mário A. P. Vaz (Universidade do Porto)
Nuno Lopes (Universidade de Aveiro)
Paulo A. G. Piloto (Instituto Politécnico de Bragança)
Paulo B. Lourenço (Universidade do Minho)
Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira (Universidade de Coimbra)
Pedro Dias Simão (Universidade de Coimbra)
Paulo Vila Real (Universidade de Aveiro)
Pedro J. Coelho (Universidade de Lisboa)
Ricardo Mendes (Universidade de Coimbra)
Rui A. Rego (Instituto Politécnico do Porto)
Simone Morais (Instituto Politécnico do Porto)

ÍNDICE

PREFÁCIO.....	ii
COMISSÃO EXECUTIVA.....	iv
COMISSÃO ORGANIZADORA.....	iv
ORADORES CONVIDADOS.....	iv
COMISSÃO CIENTÍFICA.....	v
ATAS DAS JORNADAS.....	8
ANACRONISMO DA REGULAMENTAÇÃO DE SCIE PORTUGUESA FACE À DE OUTROS PAÍSES EUROPEUS.....	9
ESTUDO DE CASO DE PROJETO DE SCIE BASEADO NO DESEMPENHO DE UM EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO.....	14
MEDIDAS DE AUTOPROTEÇÃO E INCÊNDIOS FLORESTAIS – A AUSÊNCIA DE REQUISITOS ESPECÍFICOS DO CÓDIGO NO REGULAMENTO PORTUGUÊS.....	21
PERFIS EM ALUMÍNIO COM E SEM PROTEÇÃO AO FOGO: COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO SIMPLIFICADO E NUMÉRICO.....	28
AVALIAÇÃO TÉRMICA DE LIGAÇÕES AÇO-MADEIRA EM CORTE SIMPLES QUANDO SUBMETIDAS AO FOGO.....	38
AVALIAÇÃO DA SEÇÃO RESIDUAL DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DE SUPORTE EM MADEIRA COM PROTEÇÃO SUBMETIDOS AO FOGO.....	48
AVALIAÇÃO DAS DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA REGULAMENTARES ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FOGOS FLORESTAIS.....	56
PROPOSTA PARA REGULAMENTAÇÃO NA VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE HABITAÇÕES AO FOGO FLORESTAL.....	68
NUMERICAL ASSESSMENT OF FIREBRAND ACCUMULATION.....	89
EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF FIREBRANDS ACCUMULATION TEMPERATURE-TIME CURVES IN PLANE SURFACES.....	102
MODELLING TECHNIQUES FOR THE FIRE PERFORMANCE OF EMPTY CAVITIES IN LSF WALLS.....	113
DESIGNING COMPRESSED MEMBERS OF TRUSSES AND BRACING SYSTEMS IN FIRE USING MACHINE LEARNING MODELS.....	123
PASSIVE FIRE PROTECTION AND ANTICORROSION PROTECTION: COMBINATION OF ANTICORROSION TESTS UNDER ISO 12944 AND FIRE RESISTANCE TESTS.....	135
AUSTENITIC HOLLOW STAINLESS STEEL BEAMS AT ELEVATED TEMPERATURES: EXPERIMENTAL AND NUMERICAL VALIDATION.....	145
SMOKE FLOW IN SLOPED TUNNELS.....	155
FINITE ELEMENT ANALYSIS TO MODEL THE FIRE BEHAVIOUR OF MULTILAYER WOOD-BASED SYSTEMS.....	165
A NEW PROPOSAL FOR ESTIMATING THE TEMPERATURES ON THE STEEL DECK COMPONENTS OF COMPOSITE SLABS UNDER FIRE.....	172
VELOCIDADES DE EVACUAÇÃO PEDONAL EM CENÁRIO DE INCÊNDIO - CASO DE ESTUDO DE CABANÕES.....	183
RISCOS PARA A SAÚDE DOS OPERACIONAIS DURANTE O COMBATE A INCÊNDIOS E NECESSIDADES NO APOIO SANITÁRIO EM PORTUGAL.....	192
CONTRIBUIÇÃO DO COMBATE AOS INCÊNDIOS URBANOS PARA A EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL COMO BOMBEIRO.....	200
NÍVEIS DE PARTÍCULAS RESPIRÁVEIS LIBERTADOS DURANTE FOGOS CONTROLADOS URBANOS.....	209
FIRE BEHAVIOUR OF MORTARS WITH PORTLAND CEMENT AND RESIDUAL DIATOMACEOUS EARTH.....	219
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE PROVETES DE GRANITO SUJEITOS A TEMPERATURAS ELEVADAS.....	225
SIMULAÇÃO CFD DA DESENFUMAGEM DE UM PARQUE DE ESTACIONAMENTO EM CASO DE INCÊNDIO.....	230

*8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e as 3as Jornadas de Proteção Civil
Instituto Superior de Engenharia - Portugal - 1-2 de junho de 2023*

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EDIFÍCIO: REMODELADO EM CASTELO BRANCO	237
EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS – CASO DE ESTUDO DE UM EDIFÍCIO ESCOLAR.....	245
FLOOD RISK ASSESSMENT OF THE HISTORIC CITY CENTRE OF AVEIRO, PORTUGAL	255
REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM ESTRUTURA METÁLICA DANIFICADOS POR INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	263
SIMULACRO DE INCÊNDIO NUM EDIFÍCIO HOSPITAL – CASO DO HOSPITAL SOBRAL CID, EM COIMBRA	277
ANÁLISE DAS MEDIDAS DE PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO DO RISCO DE EXPLOSÃO DE POEIRA NO PROCESSO INDUSTRIAL DE SECAGEM DE RESINAS DE POLICLORETO DE VINILO	287
ANÁLISE ESPECÍFICA DE RISCOS PARA O TÚNEL DE MONTEMOR.....	296
INCIDENTES/ACIDENTES NO TÚNEL DE MONTEMOR E TROÇOS DE AUTOESTRADA ADJACENTES	307
AVALIAÇÃO PARAMÉTRICA DOS MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR NUM CENÁRIO DE INCÊNDIO NA INTERFACE URBANO - FLORESTAL	318
FOREST FIRE EMISSIONS AS A PUBLIC HEALTH BURDEN	328
BIOMARKERS FOR THE SURVEILLANCE OF FIREFIGHTER'S HEALTH	336
POTENCIAL DAS ÁGUAS TERMAIS PARA MELHORAR A SAÚDE RESPIRATÓRIA DOS BOMBEIROS	344
AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DO UHPC APÓS EXPOSIÇÃO A TEMPERATURAS ELEVADAS	353
PRÓPRIEDADES MECÂNICAS DE BETÕES DE ULTRA-ELEVADO DESEMPENHO (UHPC) APÓS EXPOSIÇÃO A ELEVADAS TEMPERATURAS	361
ÍNDICE REMISSIVO DE AUTORES	371

MODELLING TECHNIQUES FOR THE FIRE PERFORMANCE OF EMPTY CAVITIES IN LSF WALLS

Paulo A. G. Piloto*
Professor
IPB – Bragança
INEGI - LAETA

Stephan Gomes
MSc student
IPB – Bragança

Leonardo Torres
PhD student
UA – Aveiro
Risco

Carlos Couto
Researcher
UA – Aveiro
Risco

Paulo Vila Real
Full Professor
UA – Aveiro
Risco

ABSTRACT

Three different solution models were used to compare the fire performance of LSF walls with void cavities. The first solution method considers the air-structure interaction in the cavity region. The second solution method considers the existence of interface elements for the radiation heat transfer in the cavity region allowing the bulk temperature prediction. The third solution method considers the convection and radiation in the cavity region with a prescribed bulk temperature from experiments (hybrid). Solution methods 1 and 3 give a smaller root mean square error (RMSE), when compared with solution method 2. Solution method 3 gives a better approximation because can capture the main fire events during fire testing, such as the cracks and fall off.

KEYWORDS: LSF walls; Fire resistance; Cavity modelling; Bulk temperature.

1. INTRODUCTION

Lightweight steel framing (LSF) walls are commonly used in modern construction due to their high strength-to-weight ratio and readiness for installation. These walls can use insulation material in the cavity region or can be left unfilled (empty or void). Empty cavities within these walls develop a fire performance that should be properly evaluated. Thermal models can also be used to simulate the behaviour of LSF walls with empty cavities in the case of a fire scenario. These models can predict the spread of heat through the empty cavity, allowing designers to identify potential fire hazards and make adjustments in the design to mitigate those risks. Several issues can arise when modelling the behaviour of fire in the cavity region of the LSF wall. One issue is the difficulty in accurately predicting the behaviour of fire within the cavity. Experimental tests are used to validate the accuracy of numerical models used to predict the behaviour of the wall in the buildings. Herein, three experimental tests are used to validate the three solution methods. The differences between the results obtained from numerical models and experimental results are

*Corresponding author – Instituto Politécnico de Bragança, Departamento de Mecânica Aplicada, Campus Santa Apolónia, Bragança, Portugal email: ppiloto@ipb.pt <http://www.ipb.pt>

usually defined by errors, that might be caused by several factors (model simplifications, uncertainty in input data, model limitations, and experimental deviations). Previous research has been developed to evaluate the performance of the cavity insulation, the efficiency of the LSF, and the efficiency of the protection layer, among other design parameters. In 1996, Mohamed Sultan [1] presented the results obtained by the 1D finite difference method developed to solve the heat transfer model and compared them with experimental results over time. The model considered convection and radiation from both gypsum layers facing the cavity region but neglected the heat by radiation from the steel studs to the gypsum surface. This paper also presents the thermophysical properties of the gypsum type X (herein identified as Gypsum 2). In 2002, Geoff Thomas [2] investigated the thermal properties of gypsum plasterboard at high temperatures and developed a finite element heat transfer model for LSF walls. The thermal conductivity has been modified at higher temperatures to capture ablation and the specific heat has been changed to avoid numerical instabilities. The thermal properties were considered effective and suitable to use in the finite element models. C. N. Ang and Y. C. Wang in 2004 [3] investigated the effect of moisture transfer in the gypsum plates, using an equivalent specific heat (effective) to develop the heat transfer analysis, without having to explicitly consider the effect of water movement. Keerthan P. and Mahendran M. in 2012 [4] studied the thermal behaviour of multiple layers of gypsum boards (without LSF) using the SAFIR finite element software and some previous experimental tests to validate the results. New simplified equations were proposed to predict the temperature evolution on the unexposed side of the gypsum layers when using varying thicknesses. Keerthan and Mahendran in 2013 [5] simulated the composite panels using SAFIR and discussed the necessity to use apparent thermal properties. Rusthi et al in 2015 [6] used the 3D finite element model, applying only radiation inside the cavity region. The gypsum thermal properties were considered effective. The ABAQUS 3D numerical model was validated with experiments developed in 2010, but no error information has been provided. Jonathan Vallée in 2016 [7] developed ABAQUS 3D thermal models using radiation and conduction in the cavity region. The author compared only the fire resistance, using the relative error, and found differences between the numerical and experimental results, ranging from 6% to 28%. In 2021, Tao et al. [8] developed the validation of numerical models using LSF walls made by SHS/RHS studs, highlighting the advantage of using closed shape studs in insulated cavities. The simulation of the heat transfer in the cavity region was made by radiation only and no information was given about the hollow region of the studs. In 2022, Samiee et al. [9] developed a numerical investigation to understand the effect of the steel plates and gypsum strips near the studs. The heat transfer in the cavity region accounts only for radiation and authors assume that convection may be neglected due to the restricted airflow inside the wall cavity. The use of strips can prevent a sudden increase in the temperature of the hot flange of the studs. The modelling of the cavity region was developed with radiation heat transfer only. Upasiri et al. [10] in 2022, made a numerical investigation to analyse the effect of different cavity concrete based insulation materials. The results have been compared with traditional LSF walls without cavity insulation material and with rockwool cavity insulation, for both fire scenarios (ISO834 and hydrocarbon). The simulation of the cavity region was developed by radiation only. The disadvantage of filling the cavity with lightweight concrete is the increase in total weight. Perera et al. [11] in 2022, made a numerical investigation regarding the insulation fire resistance of innovative solutions for walls. The use of back blocking in both stud flanges (stripes) and the use of discontinuous cavity insulation, improve the insulation fire resistance. These authors only used radiation for modelling the thermal behaviour of the cavity region, neglecting convection due to restricted air movement

inside the cavities. The fire performance on LSF walls is also being investigated by the authors, with the aim of: developing accurate numerical models based on the thermal analysis with air-structure interaction [12]; validating the numerical models with experimental tests developed elsewhere [13], analysing the fire performance of LSF using the simplified one dimensional heat flow [14]; presenting a sequential numerical model to study the fire resistance of LSF walls made with composite panels [15], based on a hybrid finite element model [16] [17], and more recently, new research has been established on double stud LSF walls [18] and on the analysis of the critical temperature on load bearing LSF walls [19]. All these experimental tests have been developed in the reduced scale and full scale LSF wall specimens and the numerical simulations were developed accordingly. This current investigation establishes the best numerical modelling technique to simulate the fire behaviour in the cavity region, compares the effect of two different gypsum types, and the effect of different cladding systems (number and thickness of gypsum layers) on the fire resistance.

2. METHODS, MODELS AND MATERIALS

Three different two-dimensional (2D) numerical solution methods are presented to simulate the fire performance of the non-load-bearing LSF wall. All the models assume perfect contact between materials, see Figure 1. Solution method 1 uses the finite volume method (FVM) with thermal and fluid interaction for both parts, solid and fluid regions. This method considers laminar flow and is based on density variation. The grid for all the domains (solid and fluid) is presented in Figure 1, using the minimum cell size equal to 0.0003 m. Solution method 2 uses the finite element method (FEM) and considers only the thermal analysis for solids, assuming perfect contact between materials, see Figure 1. The transient and nonlinear thermal analysis is solved. One additional boundary condition is applied in the cavity region, assuming heat transfer by radiation between all the internal faces. This model can predict the bulk temperature of the cavity region. The two-dimensional (2D) analyses were developed using the finite element PLANE55 and SURF151, both available in the Ansys library. Solution method 3 uses the hybrid finite element method (H-FEM) to simulate heat transfer by radiation and convection in the cavity region. This model can be used to determine the fire resistance of LSF wall with void cavities, assuming knowing the behaviour of bulk temperature. These bulk temperatures can be determined by previous experiments. This solution method requires the existence of radiation and convection inside the cavity region. The convection coefficient can be assumed to be 17 (W/m²K). The two-dimensional (2D) analyses were made using the finite element PLANE55 alone, imposing the bulk temperature in the cavity. All these models are running with the standard boundary conditions applied on the exposed side and on the unexposed side [20]. The numerical validation is discussed towards the prediction of the fire resistance and fire performance during the tests.

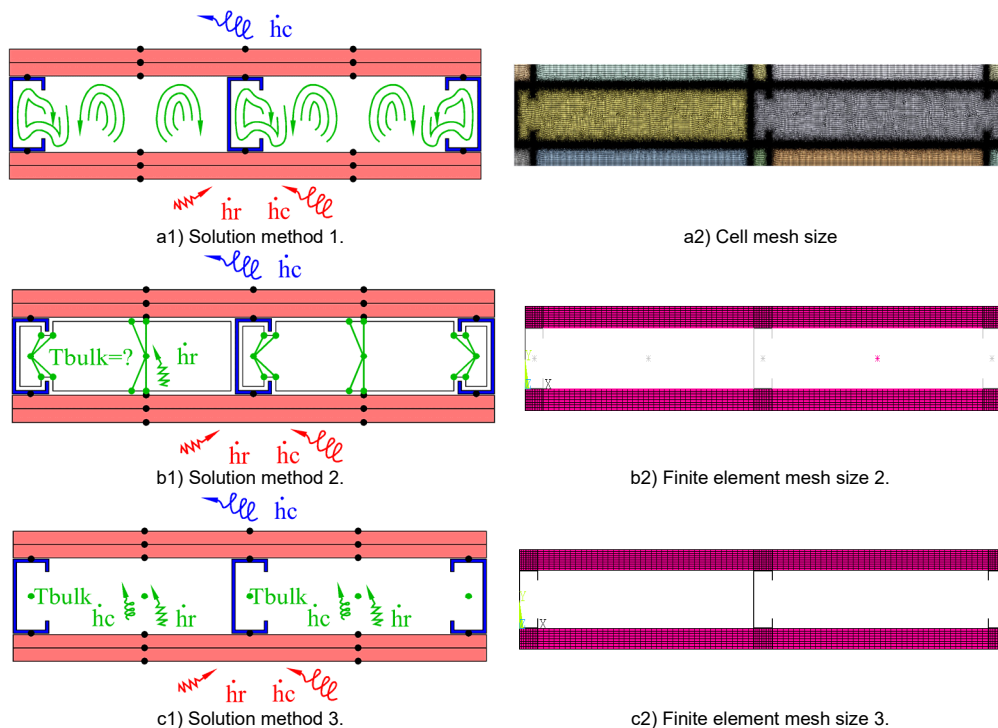


Figure 1 – Three different methods were used to simulate the heat transfer in the cavity region.

Two distinct stud geometries have been selected, considering the experimental tests developed by Kolarkar and Mahendran [21], where the LSF walls are using three G500 lipped studs type C 90x40x15x1.15, spaced every 500 mm, see Figure 2, and the experimental tests developed by Dias et al. [22], where the LSF walls are using the G500 web-stiffened studs type Σ , 90x40x15x1.15, spaced every 450 mm, see Figure 2. Both LSF structures were protected by multiple 16 mm thick fireproof gypsum layers (gypsum 1). Thermal properties are required to solve the numerical models, see Figure 2. This introduces the nonlinearity to the solution, for which it is required to use an incremental and iterative method. For solution method 1 the iterative method is based on the verification of the residuals for velocity, using the absolute difference of 10^{-3} in each direction, the residual for the continuity with an absolute difference of 10^{-3} , and the residual for temperature with an absolute difference of 10^{-6} . For the solution method 2 and 3, the convergence is verified by the heat flow, using a tolerance value of 0.001 and a reference value of 10^{-6} [W]. These properties were selected from established standards [23], [24] and experimental studies [1] [25].

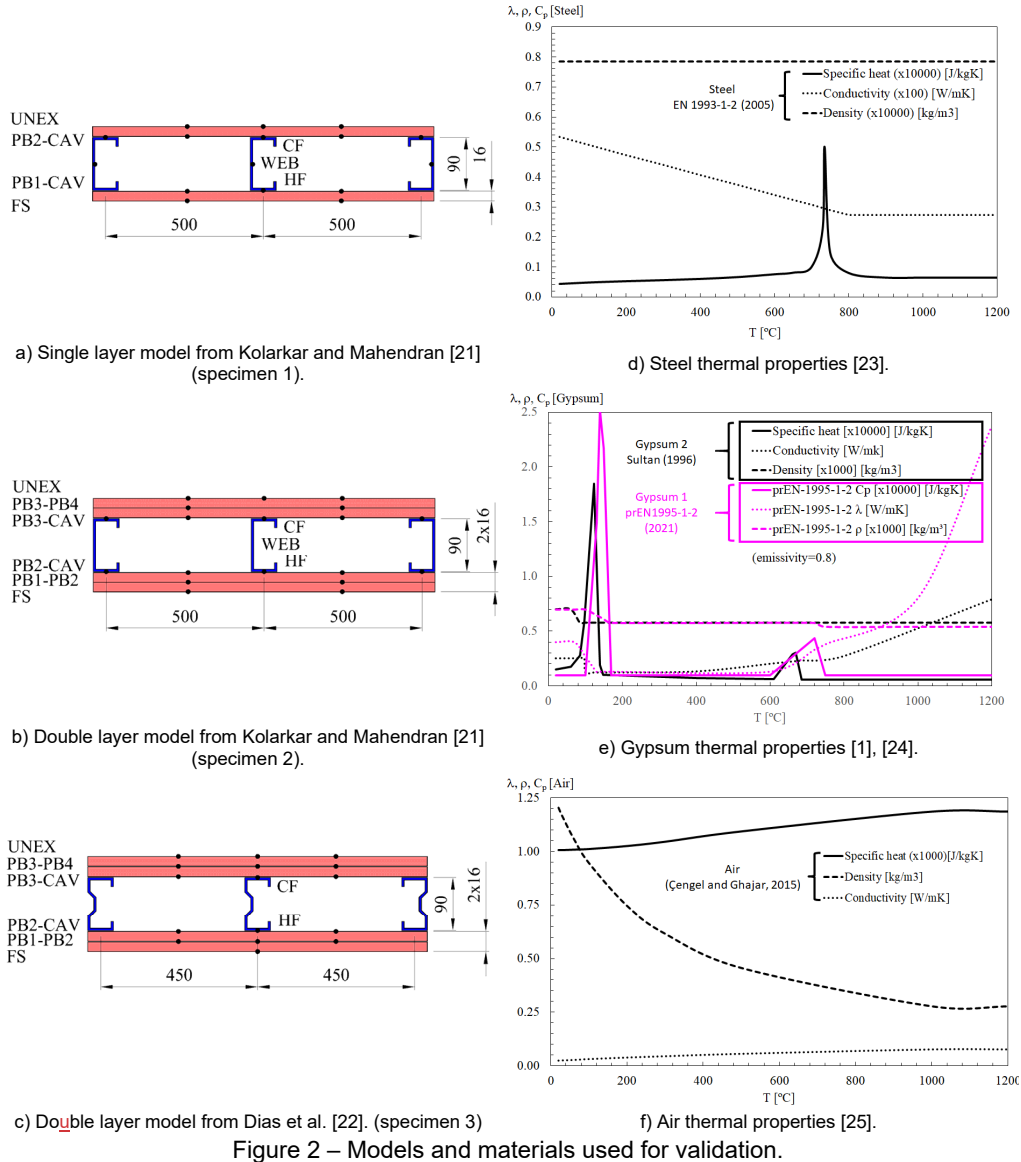


Figure 2 – Models and materials used for validation.

3. ACCURACY OF THE NUMERICAL MODELS

This section presents the comparison of the results for each specimen, using the three solution methods. The comparison is presented by the Root Mean Square Error (RMSE) for the temperature evolution of each component and by the relative error used to determine the fire resistance developed by insulation (I). The steel frame from test Specimen 1 was protected on both sides by a single layer of plasterboard (16 mm) without any joints [21], see Figure 2. Figure

3 presents the comparison between the experimental results and the numerical results. Figure 3 also depicts the temperature field for all the solution methods, including the air velocity field for solution method 1. The unexposed temperature is characterised by the average and the maximum temperature. The average temperature (UNEX) is compared for all solution methods being noticed that this evolution starts to increase sooner when using solution method 2 after 65 min and later on when using solution method 1 (99 min). The temperature field is also depicted in the solid region for all solution methods, including the air temperature in the fluid region for solution method 1.

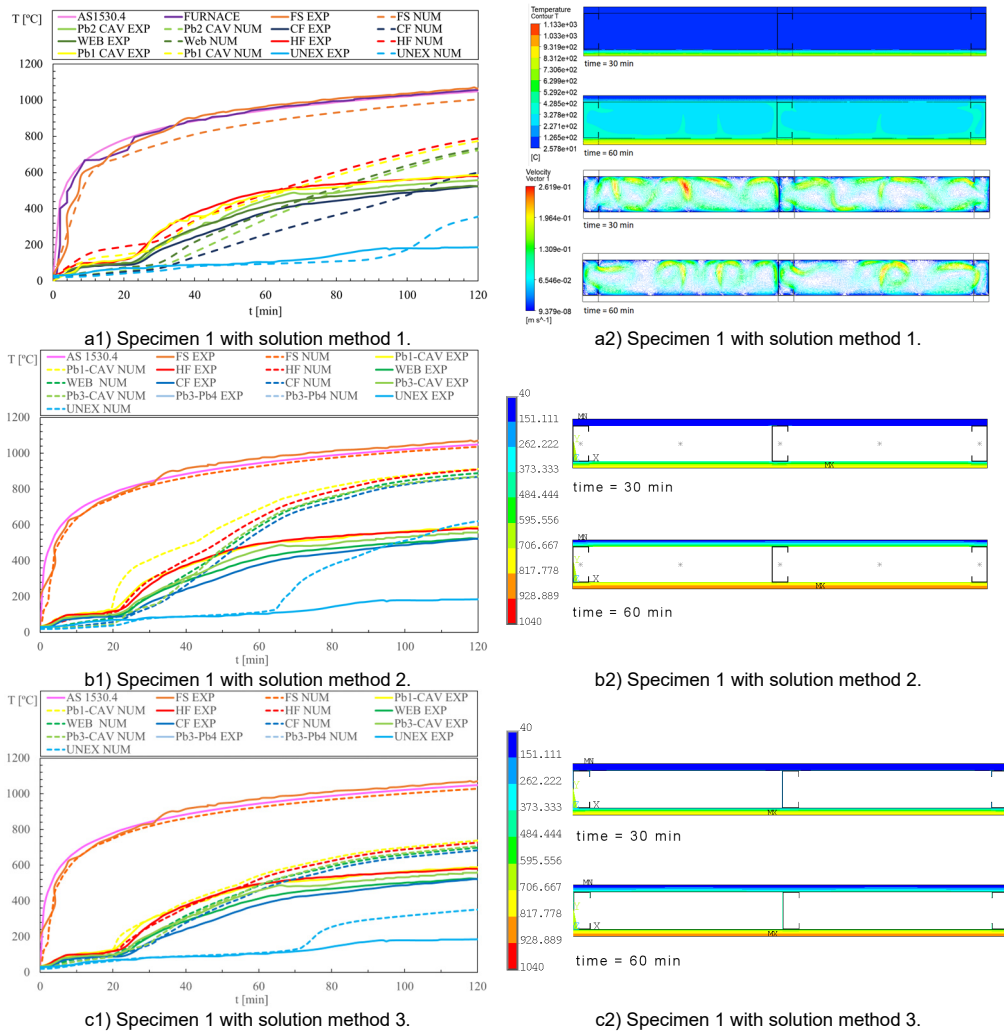


Figure 3 – Comparison of results for specimen 1.

The RMSE is quite good when using solution method 1 and solution method 3, [26]. Solution method 2 is producing higher RMSE and this may be explained by the missing component for the

heat flow (convection). For the first 60, 100 and 120 min of comparison. Solution method 1 presents an average RMSE of 76.3 °C, while solution method 2 is presenting an average RMSE of 144.2 °C. The RMSE for solution method 3 is 61.7 °C. The experimental fire resistance for insulation was 89 min. Solution method 1 overpredicts this value with a difference of 11%, while solution method 3 underpredicts the fire resistance by 18%. Specimen 2 was built with two gypsum layers on each side [21]. Figure 4 presents the difference between the experimental and numerical results for specimen 2. Solution method 1 predicts 240 min of fire resistance, even though the numerical solution is only presented to the maximum registry time from experiments. The fire resistance from solution method 3 will be higher than 200 min.

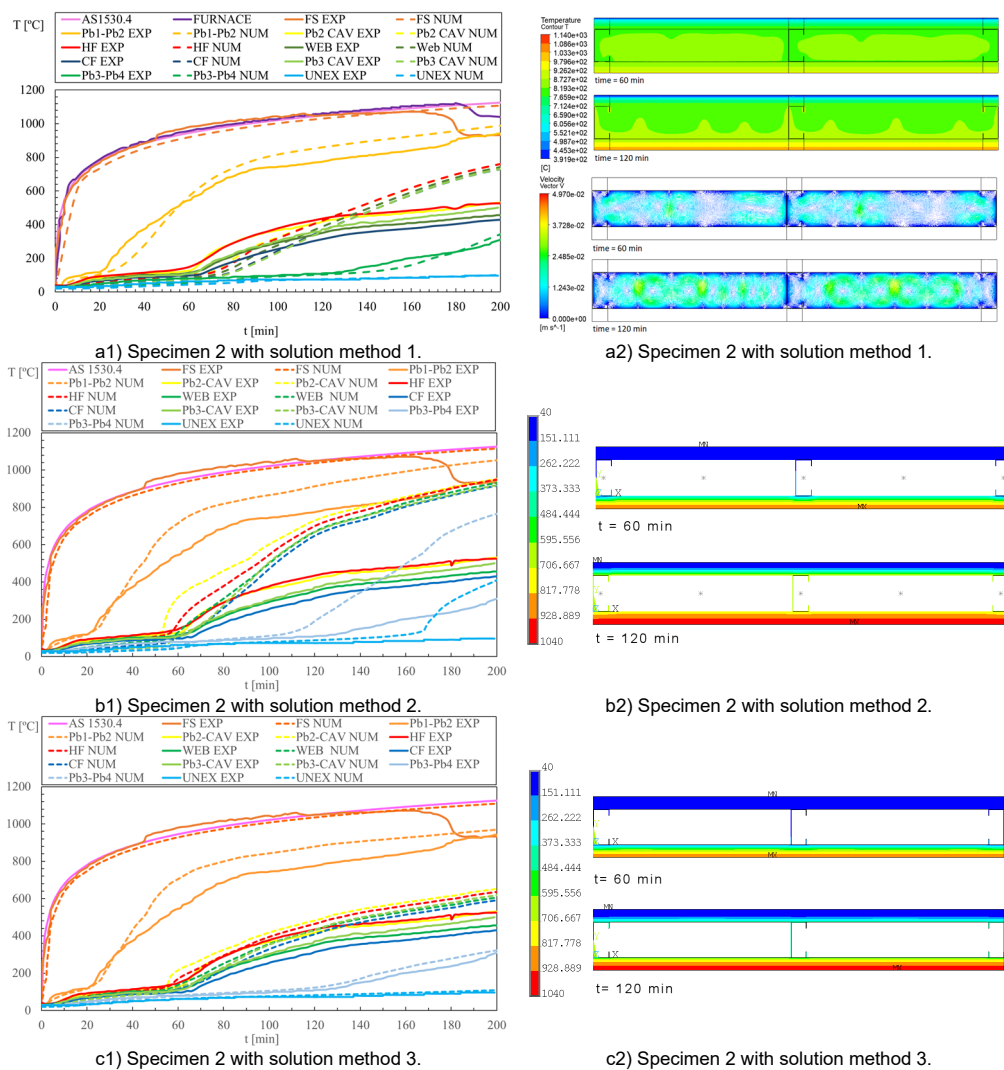


Figure 4 – Comparison of results for specimen 2.

Solution method 2 is producing a higher RMSE and the reason is the same. Specimen 3 was built with two gypsum layers [22], and the results are presented in Figure 5. The insulation failure was defined by the average temperature criterion after 252 min of fire exposure. This specimen has the same level of fire protection when compared to specimen 2, which means that for the same wall thickness, the geometry effect of the stud is not making any difference for the insulation fire resistance. Once again, solution method 2 underpredicts the fire resistance (169 min). Solution method 1 predicts 244 min of fire resistance. The insulation fire resistance from solution method 3 presents an intermediate value of 225 min.

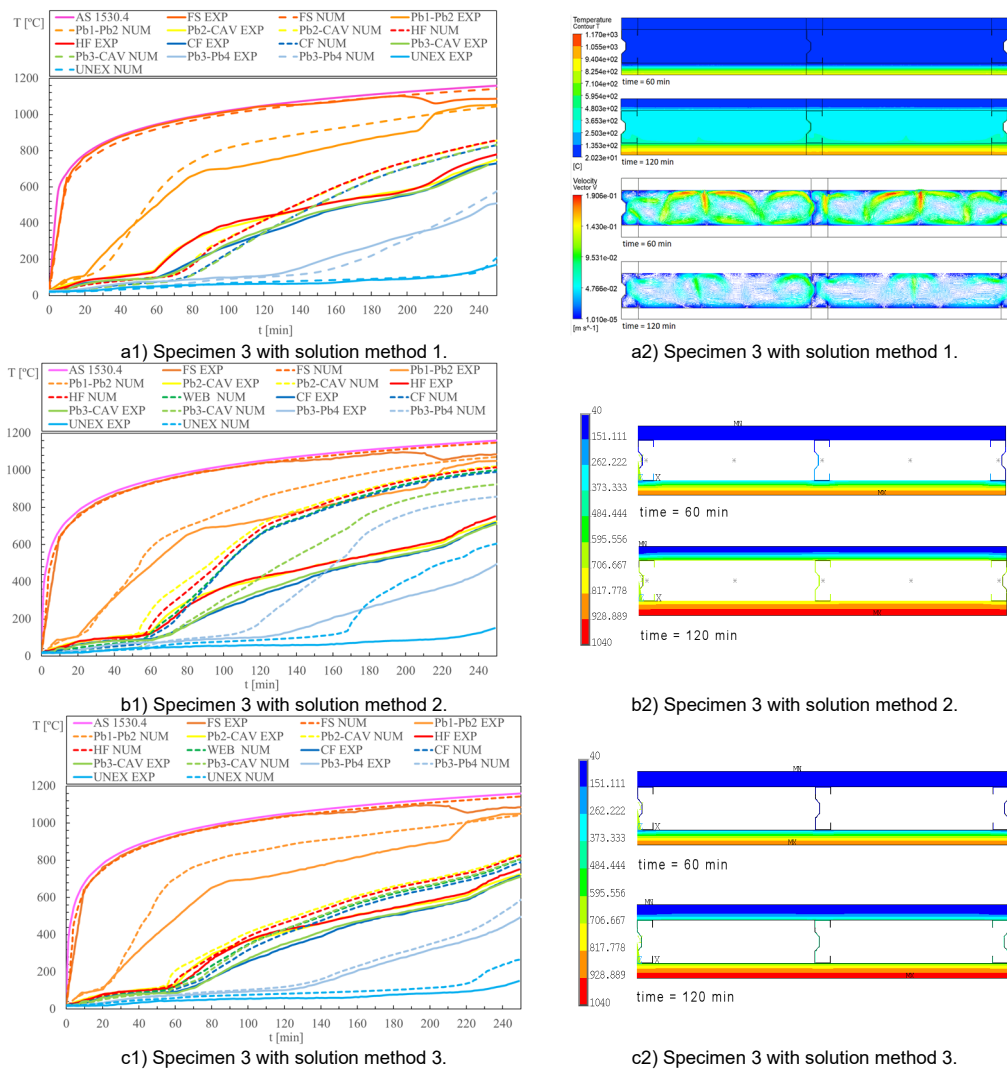


Figure 5 - Comparison of results for specimen 3.

Once again, solution method 2 is producing the highest RMSE. For the first 180 min of comparison, solution method 1 presents an average RMSE of 39.2 K, while solution method 2 is presenting an average RMSE of 74.4 °C. The RMSE for solution method 3 is presenting an average RMSE of 41 °C. The experimental fire resistance can be compared with the numerical results. Both solution methods 1 and 3 present small relative errors, representing 3 and 10%, while solution method 2 presents the highest relative error (33%).

4. CONCLUSIONS

All the models are overpredicting the experimental temperatures because standard furnace temperature has been used (not real furnace) and some fire events are missing in simulations (cracks, fall off of gypsum plates). Even though the effective properties are being used in order to mimic some singularities that occurred during the experimental tests. Solution methods 1 (CFD running with FVM) and 3 (hybrid model running with FEM) provide the smaller RMSE during the simulation of the experimental tests. The fire resistance has been predicted using the three solution methods. The relative error is also smaller for solution methods 1 and 3.

REFERENCES

- [1] M. A. Sultan, "A model for predicting heat transfer through noninsulated unloaded steel-stud gypsum board wall assemblies exposed to fire," *Fire Technol.*, vol. 32, no. 3, pp. 239–259, 1996, doi: 10.1007/BF01040217.
- [2] G. Thomas, "Thermal properties of gypsum plasterboard at high temperatures," *Fire Mater.*, vol. 26, no. 1, pp. 37–45, 2002, doi: 10.1002/fam.786.
- [3] C. N. Ang and Y. C. Wang, "The effect of water movement on specific heat of gypsum plasterboard in heat transfer analysis under natural fire exposure," *Constr. Build. Mater.*, vol. 18, no. 7, pp. 505–515, 2004, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2004.04.003.
- [4] P. Keerthan and M. Mahendran, "Numerical studies of gypsum plasterboard panels under standard fire conditions," *Fire Saf. J.*, vol. 53, pp. 105–119, 2012, doi: 10.1016/j.firesaf.2012.06.007.
- [5] P. Keerthan and M. Mahendran, "Thermal Performance of Composite Panels Under Fire Conditions Using Numerical Studies: Plasterboards, Rockwool, Glass Fibre and Cellulose Insulations," *Fire Technol.*, vol. 49, no. 2, pp. 329–356, 2013.
- [6] M. Rusthi, Mohamed, Keerthan, Poologanathan, Ariyanayagam, Anthony Deloge, & Mahendran, "Numerical studies of gypsum plasterboard and MGO board lined LSF walls exposed to fire," in *Proceedings of PLSE 2015*, 2015, pp. 1077–1084.
- [7] Jonathan Vallée, "Reliability of fire barriers," Lund University - Faculty of Engineering Department, 2016.
- [8] Y. Tao, M. Mahendran, and A. Ariyanayagam, "Numerical study of LSF walls made of cold-formed steel hollow section studs in fire," *Thin-Walled Struct.*, vol. 167, no. July, p. 108181, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.tws.2021.108181.
- [9] P. Samiee, S. Esmaeili Niari, and E. Ghandi, "Thermal and structural behavior of cold-formed steel frame wall under fire condition," *Eng. Struct.*, vol. 252, no. October 2021, p. 113563, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.113563.

- [10] I. R. Upasiri, K. M. C. Konthesigha, S. Nanayakkara, K. Poologanathan, P. Gatheeshgar, and D. Perera, "Fire performance of lightweight concrete-filled LSF wall panels," *Structures*, vol. 40, no. October 2021, pp. 1039–1055, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.istruc.2022.04.081.
- [11] D. Perera *et al.*, "Novel conventional and modular LSF wall panels with improved fire performance," *J. Build. Eng.*, vol. 46, no. May 2021, p. 103612, Apr. 2022.
- [12] P. A. G. Piloto, M. S. Khetata, and A. B. R. Gavilán., "Fire performance of non-loadbearing light steel framing walls - numerical simulation," in *7th international conference mechanics and materials in design*, 2017, pp. 1603–1610.
- [13] M. Khetata, L. Fernandes, C. Marinho, P. Piloto, A. Gavilán, and H. Razuk., "Fire resistance of non-loadbearing light steel framing walls: numerical validation," in *XI Portuguese Congress on Steel and Composite Construction – CMM 2017*, 2017, pp. 853–862.
- [14] P. A. G. Piloto, M. S. Khetata, and A. B. R. Gavilán, "Fire Performance of Non-Loadbearing Light Steel Framing Walls-Numerical and simple calculation methods," *Int. J. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 13–23, 2017, doi: <https://dx.doi.org/10.20319/mijst.2017.33.1323> FIRE.
- [15] P. A. G. Piloto, "Fire resistance of cold-formed steel walls with composite panels : Results from insulation rating (I) and loadbearing prediction rating (R)," *Metálica internacional*, no. 7, Portuguese Association for Steel and Composite Construction, Coimbra, pp. 12–17, 2018.
- [16] P. A. G. Piloto, M. S. Khetata, and A. B. R. Gavilán, "Loadbearing Capacity of LSF Walls under Fire Exposure," *MATTER Int. J. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 104–124, 2018, doi: <https://dx.doi.org/10.20319/mijst.2018.43.104124>.
- [17] S. M. Khetata, P. A. G. Piloto, and A. B. R. Gavilán, "Fire resistance of composite non-load bearing light steel framing walls," *J. Fire Sci.*, vol. 38, no. 2, pp. 136–155, Mar. 2020, doi: 10.1177/0734904119900931.
- [18] M. H. Alves, G. Constantini, A. Ianni, E. F. A. Kimura, A. Meda, and P. A. G. Piloto, "Fire performance of non-load-bearing double-stud light steel frame walls: Experimental tests, numerical simulation, and simplified method," *Fire Mater.*, no. February, p. fam.2969, Apr. 2021, doi: 10.1002/fam.2969.
- [19] P. A. G. Piloto, M. S. Khetata, and A. B. Ramos-Gavilán, "Analysis of the critical temperature on load bearing LSF walls under fire," *Eng. Struct.*, vol. 270, no. July, p. 114858, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.engstruct.2022.114858.
- [20] CEN, "EN 1991-1-2, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire," *CEN- European Committee for Standardization*. CEN-European Committee for Standardization, Brussels, p. 59, 2002.
- [21] P. Kolarkar and M. Mahendran, "Experimental studies of non-load bearing steel wall systems under fire conditions," *Fire Saf. J.*, vol. 53, pp. 85–104, Oct. 2012.
- [22] Y. Dias, P. Keerthan, and M. Mahendran, "Fire performance of steel and plasterboard sheathed non-load bearing LSF walls," *Fire Saf. J.*, vol. 103, no. October 2018, pp. 1–18, 2019, doi: 10.1016/j.firesaf.2018.11.005.
- [23] CEN, *EN 1993-1-2: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design*. Brussels: CEN - European Committee for Standardization, 2005.
- [24] CEN, "pr EN 1995-1.2, Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design." CEN - European Committee for Standardization, Brussels, 2020.
- [25] Y. A. Çengel and A. J. Ghajar, *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [26] CEN, "EN 1363-1: Fire resistance tests Part 1: General Requirements." CEN- European Committee for Standardization, Brussels, p. 52, 2020.