

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

A NEW PROPOSAL FOR ESTIMATING THE TEMPERATURES ON THE STEEL DECK COMPONENTS OF COMPOSITE SLABS UNDER FIRE



Carlos Balsa*
Professor
CeDRI-IPB
Bragança



Lídia R. S. Lima
MSc Student
IPB
Bragança



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

ABSTRACT

This work aims to improve the estimation of the temperatures on the steel deck under fire. An accurate estimation of these temperatures is crucial to determine the load-bearing capacity (R) of the slab. An analytical method, alternative to the simplified method provided by Eurocode 4, that enables temperature estimation on the steel deck components (web, lower and upper flange), is derived from the numerical results, obtained with a three-dimensional computational model. This new proposal considers the effect of the concrete thickness h_1 , enables to obtain unbiased temperatures and, contrary to the Eurocode 4 proposal, fits very well the numerical results.

Keywords: Composite slabs; Fire resistance; Numerical simulation; Least squares method.

1. INTRODUCTION

This paper deals with the determination of the thermal behaviour of composite slabs under a standard ISO -834 fire [1], focusing on the temperature evolution at the steel deck components (web, lower and upper flange). As these components are, jointly with the rebar, the structural components of the composite slab, that are mainly affected by the temperature, an accurate and reliable estimation of the temperatures in these structural components are required. Specially to determine the load-bearing criterion (R) because these temperatures have a direct influence on the reduction factors for the steel components and thus on the bending resistance of the slabs. The results of a numerical analysis, carried out with different slab geometries models (re-entrant and trapezoidal), and different concrete thickness h_1 (from 40 to 150mm), are used to obtain a new analytical proposal that enables to estimate accurately the temperatures.

*Autor correspondente – Instituto Politécnico de Bragança, Dep.de Matemática, Campus Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal email: balsa@ipb.pt <http://www.ipb.pt>

2. METODOLOGY AND PRELIMINARY RESULTS

The simplified calculation method for the load-bearing criterion (R) presented in Eurocode EN1994 1.2 [2] can be applied to simply supported composite slabs when subjected to an ISO - 834 standard fire [1]. The proposed analytical formulation is a linear combination of different geometric parameters of the slab, where the coefficients are provided for the three components of the steel deck and for the required fire rating. In this work, one add a fifth term to the formula, to consider the effect of thickness h_1 , in order to estimate the temperature:

$$\theta = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{l_3} + b_2 \cdot \frac{A}{L_r} + b_3 \cdot \Phi + b_4 \cdot \Phi^2 + b_5 \cdot h_1 \quad (1)$$

A 3-D representative volume of the slab is meshed to solve the nonlinear transient thermal problem by finite elements. This method requires the solution of the energy equation in the multiple subdomains of the slab with the respective boundary conditions. Matlab was used for the numerical solution of this thermal problem. The thermal properties are temperature dependent and vary according to the material (steel and concrete) [2]. The numerical results were used to determine the coefficients of Equation (1). This is accomplished by fitting the numerical results. The resulting least square problem is solved by the singular value decomposition method [3]. When comparing the analytical results to the numerical results, one observed that the maximum errors were 1.05% in upper flange of the Cofraplus slab, 2.22% in the upper Flange of Bondeck slab, all for the 45 min time rating, see Figure 1 and Figure 2. The results obtained with this new proposal are much more accurate when compared to the Eurocode 4 results.

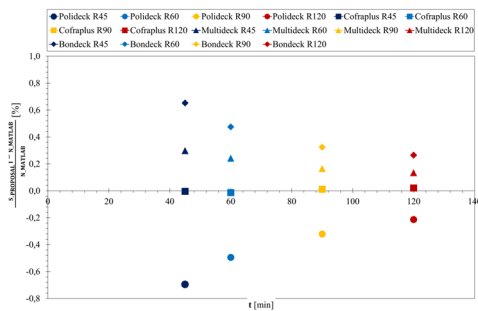


Figure 1: Lower flange.

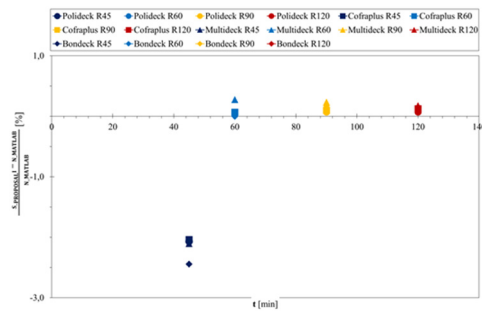


Figure 2: Web.

REFERENCES

- [1] ISO: International standard ISO 834 - fire-resistance tests: Elements of building construction (1975).
- [2] CEN- European Committee for Standardization, *EN 1994-1-2: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-2: General rules - Structural fire design*. Brussels: CEN- European Committee for Standardization, 2005.
- [3] Balsa, C., Piloto, P.A.G. (2022). Estimating the Temperature on the Reinforcing Bars of Composite Slabs Under Fire Conditions. In: Marreiros, G., et al (eds), *Progress in Artificial Intelligence. EPIA 2022. LNCS, vol 13566*. Springer, Cham.



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

A NEW PROPOSAL FOR ESTIMATING THE TEMPERATURES ON THE STEEL DECK COMPONENTS OF COMPOSITE SLABS UNDER FIRE



Carlos Balsa*
Professor
CeDRI-IPB
Bragança



Lídia R. S. Lima
MSc Student
IPB
Bragança



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

ABSTRACT

This study aims to improve the estimation of the temperatures on the steel deck of a composite slab under fire. An accurate estimation of these temperatures is crucial to determine the load-bearing capacity (R) of the slab. A new proposal, alternative to the simplified method provided by Eurocode 4, that enables temperature estimation on the steel deck components (web, lower and upper flange), is derived from the numerical results, obtained with a three-dimensional computational model. This new proposal considers the effect of the concrete thickness h_1 and includes the fire rating and, contrary to the Eurocode 4 proposal, fits very well the numerical results.

Keywords: Composite slabs; Fire resistance; Numerical simulation; Least squares method.

1. INTRODUCTION

Steel-concrete composite slabs include of reinforced concrete and a profiled steel deck that can operate as permanent formwork, see Figure 1. This is one of the main advantages of this building solution because it reduces construction time, presenting itself as a more efficient, requires less concrete, and lighter solution when compared to conventional reinforced concrete slabs. Composite slabs can suffer significant damage when exposed to fire since the steel elements responsible for ensuring the slabs' flexural resistance capacity are significantly affected under fire

*Autor correspondente – Instituto Politécnico de Bragança, Dep.de Matemática, Campus Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal email: balsa@ipb.pt <http://www.ipb.pt>

conditions. Therefore, it is necessary to perform a thermal analysis before the structural analysis, thus ensuring that this construction element has fire resistance under regulations and standards.

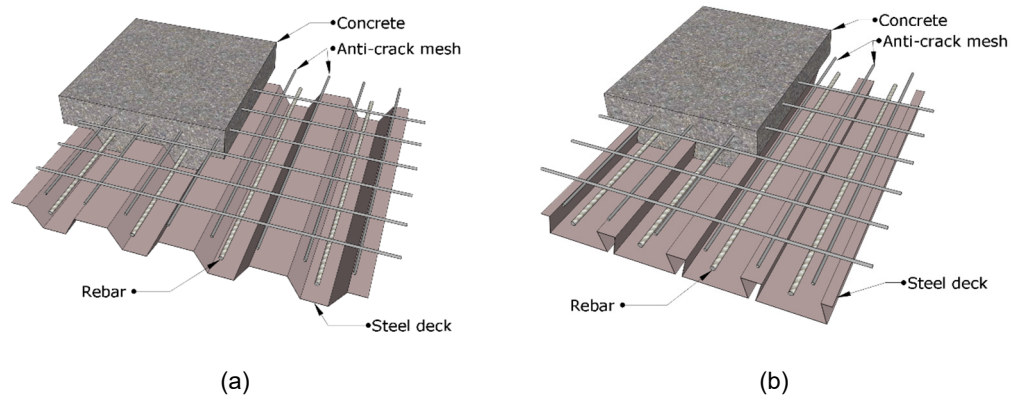


Figure 1: Typical layout of a composite slab with the (a) Trapezoidal and (b) Re-entrant steel deck.

The European Standard EN 13501-2 [1] defines these criteria and the fire rating classification of building products and elements. The three criteria (REI) are the classification time during which all criteria are satisfied (R- loadbearing capacity, E- integrity, and I- thermal insulation). Structural elements need to meet fire-safety requirements according to building codes. Seeking to guide the safety design and application of this technology, in 1983 the European Convention for Steel Construction (ECCS) published the first technical note for calculating the fire resistance of composite concrete slabs with profiled steel decks [2]. This standard was developed to guarantee structural safety according to the fire resistance classes established by ISO 834-1 [3] without the obligation to carry out experimental tests. The note provided geometric requirements, such as the minimum slab height, based on the desired fire resistance class of the structural element. Since this date, several studies have been conducted to evaluate the fire resistance of concrete slabs with steel deck. In 1990 Hamerlinck et al., developed a numerical computation model that satisfactorily predicted the fire behaviour of different slab geometries to analyse the mechanical and thermal behaviour of composite slabs [4]. Later, in 1991, Hamerlinck [5] described in detail all the procedures used to perform experimental and numerical studies on the mechanical and thermal behaviour of reinforced composite slabs during a fire. The experimental investigation was carried out to confirm the standard rates. The models considered the mechanical responses of the slab as well as the temperature evolution over time. This author concluded that there was a minimal variation between the predicted and the observed data. In recent years, several investigations have been carried out, where several finite element programs have developed a wide range of thermal and structural models to predict the structural and thermal behaviour of steel-concrete composite slabs under fire conditions. In 2019 Piloto et al. [6], [7] presented 3D numerical validation models on load bearing (R) and insulation (I) fire resistance criteria. The main objective of the investigation was to determine how load affected the resistance criterion (R) and how concrete thickness affected the insulation criterion (I). Due to experimental findings, these authors adopted an alternative model with air gaps between the steel deck and the concrete [4].

When the composite slab is exposed to fire from below, the steel deck heats up and expands rapidly, causing separation from the concrete. The authors concluded that the current standard overestimates the actual fire resistance (R) of the composite slab for load levels less than 40% and underestimates it for load levels greater than 40% when using the air gap model. When using perfect contact between materials, the numerical model underestimates the insulation fire resistance (I).

The present paper deals with the determination of the thermal behaviour of composite slabs under a standard ISO - 834 fire [3], focusing on the temperature evolution at the steel deck components (web, lower and upper flange) using MATLAB Partial Differential Equations Toolbox (PDE Toolbox). As these components are, along with the rebar, the structural components of the composite slab, that are mainly affected by the temperature, an accurate and reliable estimation of the temperatures in these structural components are required. Specially to determine the load-bearing criterion (R) because these temperatures have a direct influence on the reduction factors for the steel components and thus on the bending resistance of the slabs. The results of a numerical analysis, carried out with different slab geometries models (re-entrant and trapezoidal), and different concrete thickness h_1 (from 40 to 150mm), are used to obtain a new proposal, alternative to Annex D of EN 1994-1.2 [8], that enables to estimate accurately the temperatures on the steel deck.

2. THERMAL ANALYSIS

A 3-D representative volume of the slab (left side of Figure 2) is generated computationally in MATLAB to solve the nonlinear transient thermal problem by finite elements (right side of Figure 2). This method requires the solution of the energy equation in the multiple subdomain, corresponding to the different materials, with the respective boundary conditions. The thermal properties are temperature dependent and vary according to the material (steel and concrete) [2] and air [11]. The temperature has also been averaged from the affected four components to define the new proposal for the temperature calculation over the main fire ratings (30, 60, 90 and 120 min).

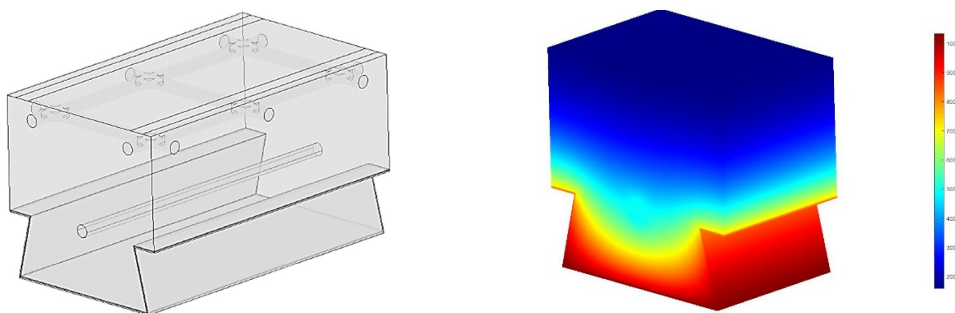


Figure 2: Representative volume and finite element results after 120 min for Multideck with concrete cover $h_1 = 90$ [mm].

The heat conduction inside the physical domain is mathematically modelled by the energy conservation Equation (1).

$$\rho(\theta)C_p(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda(\theta)\nabla\theta) \quad (1)$$

Where θ represents the respective material temperature [$^{\circ}\text{C}$], $\rho(\theta)$ is the specific mass [kg/m^3], $C_p(\theta)$ is the specific heat [J/kgK], $\lambda(\theta)$ is the thermal conductivity [W/mK], t is the time in [s] and $\nabla = (\partial_x, \partial_y, \partial_z)$ is the gradient. The discretization of Equation (1) by finite elements gives rise to matrix formulation of the energy equations.

$$C(\theta)\dot{\theta} + K(\theta)\theta = F \quad (2)$$

where K is the conductivity matrix, F is the vector of the thermal loads, including the boundary conditions, $\dot{\theta}$ is the vector of the time derivatives of the nodal temperatures, and C is the capacitance matrix. Only the tetrahedral finite element type is used in the composite slab's finite element model. Four nodes make up this finite element, which employs linear interpolation techniques. The final mesh comprises five sub-domains, each with unique thermal properties: concrete, steel deck, rebar, anti-crack mesh and air-gap. Two examples of meshes are presented in Figure 5.

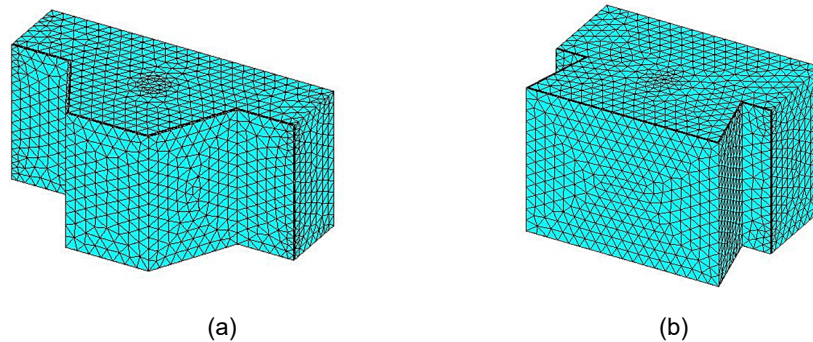


Figure 5: Finite elements mesh: (a) Trapezoidal and (b) Re-entrant profile.

The non-linear transient thermal analysis was developed and solved using the MATLAB PDE toolbox. Simulations were carried out with different values of the parameters that define the geometry of the mesh and can influence the temperature of the structural components. Table 1 resumes the ranges of the investigated parameters.

The boundary conditions that affect how heat is transferred through composite slabs were defined according to EN 1991-1-2 [12]. These boundary conditions are illustrated in Figure 6.

Table 1: Parameters of the parametric study.

Steel deck profile	h_1 [mm]	t_d [mm]	ϕ_{reb} [mm]	Steel mesh [mm//mm]
ArcelorMittal Cofraplus 60 (Trapezoidal)	50,70,90,110,125	1.00,1.25	10,16	$\phi 6//50$
ArcelorMittal Polydeck 59S (Trapezoidal)	50,70,90,110,125	1.00,1.25	10,16	$\phi 6//50$
Kingspan Multideck (Re-entrant)	60,70,90,110,125	1.00,1.20	10,16	$\phi 6//50$
Lysaght Bondeck (Re-entrant)	60,70,90,110,125	0.75,1.00	10,16	$\phi 6//50$

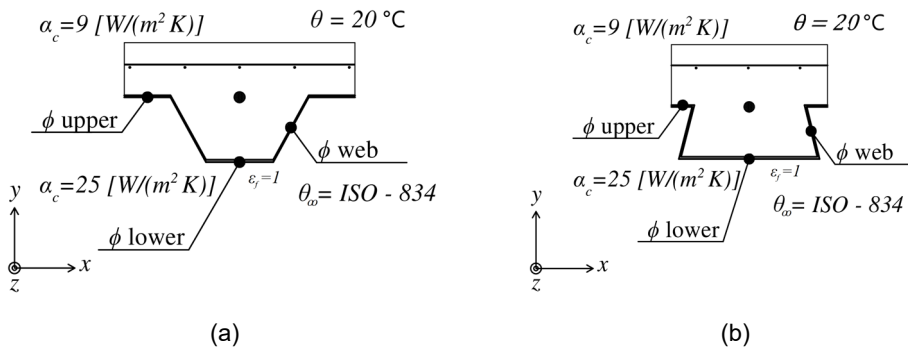


Figure 6: Boundary conditions: (a) Trapezoidal profile, (b) Re-entrant profile.

3. SIMPLIFIED CALCULATION METHOD

The simplified solution method for the load-bearing criterion (R) can be applied to simply supported composite slabs with steel deck when exposed to an ISO 834 standard fire [3], is available in the Annex D of EN 1994 Part 1-2 [8]. According to EN 1994-1-2, the temperatures of the steel decking components can be estimated by

$$\theta_a = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{l_3} + b_2 \cdot \frac{A}{L_r} + b_3 \cdot \Phi + b_4 \cdot \Phi^2 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3)$$

where b_i are tabulated empirical coefficients given by EN 1994 1.2 [8] for each steel deck part (web, lower and upper flange) and depending on the type of concrete. The factor Φ corresponds to the view factor of the upper flange. The parameter l_3 is the distance within the ribs.

4. NUMERICAL AND ANALYTICAL RESULTS

A parametric analysis was developed, regarding the evolution of temperature and the fire resistance of composite slabs by load-bearing criteria (R). The critical temperatures of the steel components were determined based on fire resistance criteria. A total of 80 numerical simulations of fire exposure for 2 hours were carried out, using the air gap of $t_a=0.5$ [mm]. This value has been determined and optimized through previous investigations [13], [6], [7], [14]. Results presented herein are related to slabs with rebar diameter ϕ_{rebar} of 10 [mm] and the thickness of the steel deck t_s of 1.0 [mm], with a concrete topping h_f equal to 90 [mm]. The numerical results were compared with one obtained by the simplified method provided by Annex D of EN 1994-1-2[8] (Figure 7 to Figure 10).

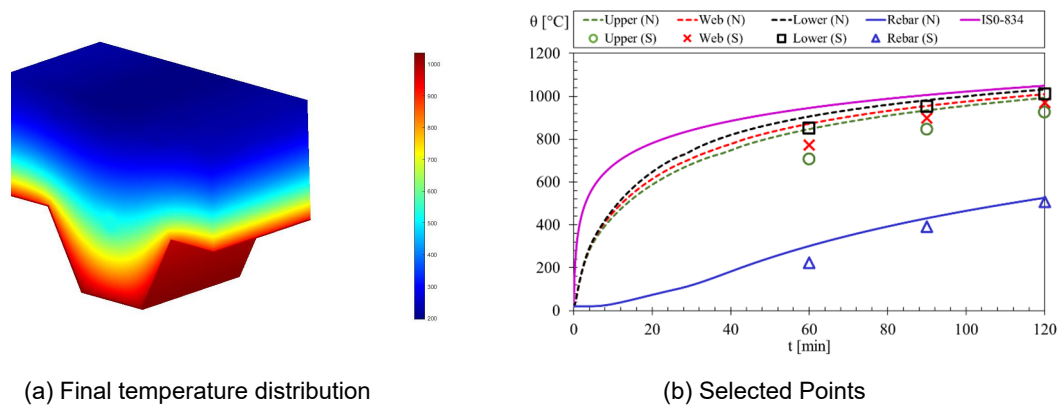


Figure 7: Polydeck 59S. (a) Final temperature distribution. (b) Temperature evolution: (N) stands for numerical and (S) for simplified method.

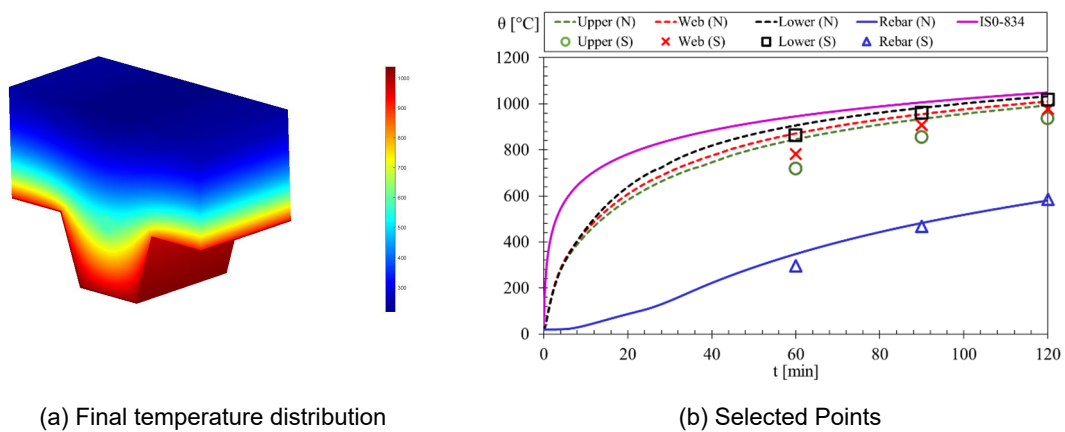


Figure 8: Cofraplus 60. (a) Temperature evolution: (N) stands for numerical and (S) for the simplified method. (b) Unexposed temperature evolution.

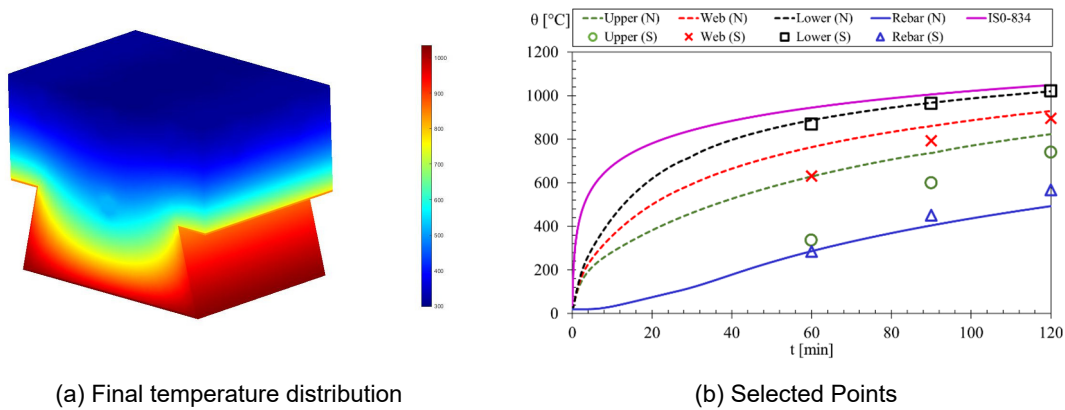


Figure 9: Multideck. (a) Temperature evolution: (N) stands for numerical and (S) for the simplified method. (b) Unexposed temperature evolution.

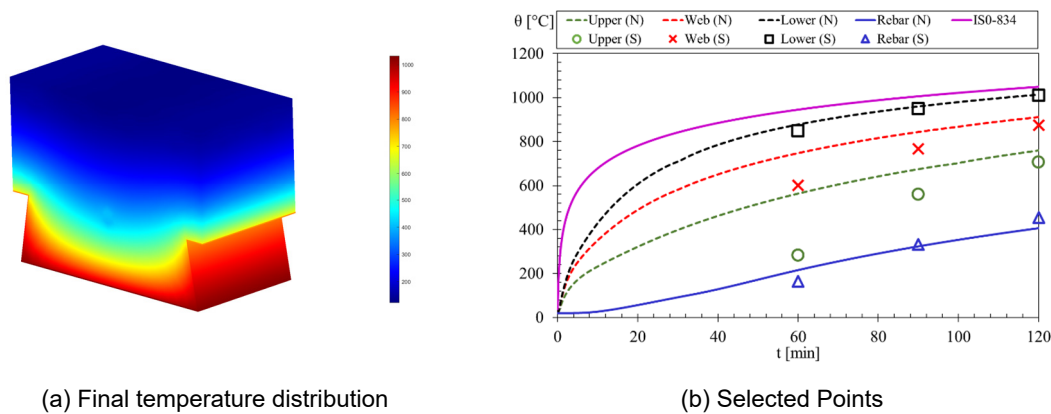


Figure 10: Bondeck. (a) Temperature evolution: (N) stands for numerical and (S) for the simplified method. (b) Unexposed temperature evolution.

It can be observed that the EN 1994-1-2 simplified method (S), used to determine the fire resistance, is, in most of the cases, on the unsafe side. The fire resistance obtained with this simplified calculation method (S) gives a critical temperature value quite below to the one obtained with the numerical simulation (N).

5. THE NEW PROPOSAL

The new proposal (NP) is a linear combination of different geometric parameters of the slab, where the coefficients are provided for the three components of the steel deck, with the possibility to specify the fire rating. The Equations 5 establish new optimized coefficients for trapezoidal and re-entrant profiles, including the new parameter for the “fire rating” t [min] and the usual geometric

parameters (l_3 , A/L_r), the view factor Φ of the upper flange, the new parameter for the concrete thickness h_1 and the new parameter for the diameter of the rebar ϕ_{reb} .

$$\theta_a = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{l_3} + b_2 \frac{A}{L_r} + b_3 \cdot \Phi + b_4 \cdot \Phi^2 + b_5 \cdot h_1 + b_6 \cdot t + b_7 \cdot \phi_{reb} \quad (5)$$

The empirical coefficients were determined by fitting the mathematical model to the numerical results by a least-square method, which minimizes the sum of the squared difference between the numerical and the analytical results. The resulting coefficients used to determine the temperature on the steel deck, for trapezoidal and Re-entrant slabs, are presented in Table 2.

Table 2: Coefficients of the new proposal to determine the temperature of the steel deck components.

Profile	Flange	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
Trapezoidal	Lower	279.01	-4.30	-1.49	279.01	279.01	-0.002	2.06	-0.03
	Web	489.29	-7.71	17.23	-132.97	-330.37	-0.05	2.27	-0.02
	Upper	438.00	-6.94	2.05	230.10	100.74	-0.23	2.54	-0.68
Re-entrant	Lower	277.16	-0.76	-1.83	277.14	277.16	-0.20	2.20	0.21
	Web	59.50	-0.14	22.26	6.74	-194.19	-0.09	2.67	-0.20
	Upper	668.94	-1.83	-7.50	153.03	28.05	-0.36	3.09	0.13

6. COMPARISON RESULTS

To verify the differences between the results proposed by the simplified method (S), presented in EN 1994-1-2 [8], the numerical results (N), and the new proposal (NP), deviations (errors) in relation to numerical results were calculated. In Tables 3 to 5, the values obtained by the analytical methods y_i for $i = 1, 2, \dots, 80$, given by the simplified method, or by the New Proposal are compared with the numerical results x_i for $i = 1, 2, \dots, 80$. The Root Mean-Squared Error (RMSE) is used as an error measure to compare the results:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (7)$$

and the Bias, representing the systematic errors, given by:

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \quad (8)$$

To complement the RMSE and Bias metrics, the Standard Deviation of the Error (SDE), that is a measure of the random errors, is also considered [15]. The SDE simply corresponds to:

$$SDE = \sqrt{RMSE^2 - Bias^2} \quad (9)$$

Table 3: Errors for EN 1994-1-2 and the new proposal concerning the Lower Flange.

Lower flange												
Fire Rating	45 [min]			60 [min]			90 [min]			120 [min]		
Error	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE
EN 1994-1-2	-	-	-	95.26	95.57	7.74	57.26	57.51	5.36	42.30	42.52	4.29
NP (Trapezoidal)	45 60 90 120 [min]											
	Bias			RMSE			SDE					
	0			38.69			38.69					
NP (Re-entrant)	0			41.74			41.74					

Table 4: Errors for EN 1994-1-2 and the new proposal concerning the Web.

Web												
Fire Rating	45 [min]			60 [min]			90 [min]			120 [min]		
Error	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE
EN 1994-1-2	-	-	-	130.46	133.35	27.62	70.78	73.10	18.25	38.88	39.84	8.70
NP (Trapezoidal)	45 60 90 120 [min]											
	Bias			RMSE			SDE					
	0			42.57			42.57					
NP (Re-entrant)	0			46.96			46.96					

Table 5: Errors for EN 1994-1-2 and the new proposal concerning the Upper Flange.

Upper flange												
Fire Rating	45 [min]			60 [min]			90 [min]			120 [min]		
Error	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE
EN 1994-1-2	-	-	-	72.53	203.19	189.8	101.63	108.5	38.0	65.15	68.52	21.21
NP (Trapezoidal)	45 60 90 120 [min]											
	Bias			RMSE			SDE					
	0			48.19			48.19					
NP (Re-entrant)	0			52.46			52.46					

It can be seen that the new proposal is not biased (Bias is zero in all cases) and that the new proposal gives better results than the Eurocode proposal. Moreover, the new proposal is generic for all fire ratings, it results in lower RMSE values for all these times.

7. CONCLUSION

A series of heat transfer analyses were conducted to determine the adequacy of the prescriptive codes to safeguard against standard fires. New and more realistic computational models were developed to evaluate the thermal behaviour of composite slabs under standard fire conditions. The parametric analysis results allow us to determine the temperatures for different slab geometries and compare them with those provided by the simplified calculation method of EN

1994-1-2. The steel-concrete interface includes the air gap effect. The EN 1994-1-2 proposal for the fire resistance (R) is on the unsafe side, that is, the fire resistance obtained with the simple calculation method, proposed in the Eurocode, gives a critical temperature value quite lower to the one obtained with the numerical simulation. The new proposal, developed from the numerical results of the simulations, includes the previous parameters provided by the current version of the EN 1994-1-2, but also includes additional parameters, as the effect of the concrete thickness h_1 , the rebar diameter ϕ_{reb} and the fire rating time t , which makes the analysis even more simplified and straightforward. The new proposal establishes new optimized coefficients by fitting the new proposal to the numerical results using a least-squares method for both steel deck geometries in order to improve the simplified calculation approach. Future works should study the effect of other parameters comprising a series of different steel deck geometries, for both normal weight and lightweight concrete.

REFERENCES

- [1] CEN, *EN 13501-2 Fire classification of construction products and building elements*. Brussels, 2009.
- [2] "ECCS, "Calculation of the fire resistance of composite concrete slabs with profiled steel sheet exposed to the standard fire," *Fire Saf. Steel Struct. Eur. Conv. Constr. Steelwork - Comm. T3*, p. 48, 1983.
- [3] ISO, "ISO 834-8, Fire Resistance Tests - Elements of Building Construction, International Organization for Standardization, Geneva," *Elem. Build. Constr. Genova ISO*, 1999.
- [4] R. Hamerlinck and J. W. B. Stark, "Scholars ' Mine A Numerical Model for Fire-exposed Composite Steel / concrete Slabs," 1990.
- [5] R. Hamerlinck, *The Behaviour of Fire-Exposed Composite Steel/Concrete Slabs*. 1991. doi: 10.6100/IR348360.
- [6] P. A. G. Piloto, C. Balsa, F. Ribeiro, L. Santos, R. Rigobello, and É. Kimura, "Three-Dimensional Numerical Modelling of Fire Exposed Composite Slabs With Steel Deck," *MATTER Int. J. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 48–67, 2019, doi: 10.20319/mijst.2019.52.4867.
- [7] P. A. G. Piloto, C. Balsa, L. M. C. Santos, and É. F. A. Kimura, "Effect of the load level on the resistance of composite slabs with steel decking under fire conditions," *J. Fire Sci.*, vol. 38, no. 2, pp. 212–231, 2020, doi: 10.1177/0734904119892210.
- [8] "CEN - European Committee for Standardization, EN 1994-1-2: Design of composite steel and concrete structures - Part 1 - 2: General rules - Structural fire design. Brussels, 2005.," *CEN - Eur. Comm. Stand.*, vol. 1, no. 2005, 2005.
- [9] CEN - EN 1993-1-2, "Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design Eurocode," 2005
- [10] CEN - EN 1992-1-2, "Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design," 2004
- [11] Y. A. Çengel and A. J. Ghajar, *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [12] "CEN - European Committee for Standardization, EN 1991-1-2: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire. Brussels," 2002.
- [13] P. A. G. Piloto, C. Balsa, F. Ribeiro, and R. Rigobello, "Computational Simulation of the

- Thermal Effects on Composite Slabs Under Fire Conditions,” *Math. Comput. Sci.*, vol. 15, no. 1, pp. 155–171, 2021, doi: 10.1007/s11786-020-00466-0.
- [14] P. Piloto, C. Balsa, L. Prates, and R. Rigobello, “The air gap effect on the fire resistance of composite slab with steel deck,” *Numer. Methods Eng. – C*, 2019, pp. 610–624, 2019.
- [15] T. Chai and R. R. Draxler, “Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) – Arguments against avoiding RMSE in the literature,” *Geosci. Model Dev.*, vol. 7, no. 3, pp. 1247–1250, Jun. 2014, doi: 10.5194/gmd-7-1247-2014.