

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 EXPLOSÃO 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

AUSTENITIC HOLLOW STAINLESS STEEL BEAMS AT ELEVATED TEMPERATURES: EXPERIMENTAL AND NUMERICAL VALIDATION

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

Luís M. R. Mesquita
Professor
IPB – Bragança
ISISE

Áureo A. T. Cruz
MSc student
IPB – Bragança

Nuno Lopes
Professor
UA – Aveiro
RISCO

Flávio Arrais
PhD Researcher
UA – Aveiro
RISCO

Paulo Vila Real
Full Professor
UA – Aveiro
RISCO

ABSTRACT

Eight experimental bending tests of RHS 150x100x3 austenitic stainless steel beams, of two different grades (1.4301, 1.4571) at elevated temperatures (500, 700 °C), are presented. Both material grades were experimentally characterised at room temperature. The load-displacement behaviour is validated with 3D shell finite element models, assuming a true stress-strain material model, based on the two-stage Ramberg Osgood constitutive law. A parametric analysis is presented to study the bending resistance of both materials, using three different cross-sections and eleven different temperatures. Stainless steel grade 1.4301 beams present higher bending resistance at room temperature while grade 1.4571 presents higher bending resistance at elevated temperatures.

KEYWORDS: Austenitic; Stainless steel; Hollow Sections; Elevated temperatures.

1. INTRODUCTION

The numerical validation is presented towards the prediction of the bending resistance of hollow stainless steel beams (3 point bending test). Constant temperature has been applied previously to the load application.

Local instability of the web defines the maximum load-bearing capacity. The numerical model is based on GMNIA 3D shell181 (ANSYS) finite element analysis, uses full integration with incompatible modes, with incremental force based on the arc-length method (variable load from 0.05 N to 5000 N). The convergence criterion is based on displacement, using a tolerance value of 0.1% and a reference value of 0.1 m.

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

2. MATERIAL AND MODELS

The load-displacement results are depicted in Figure 1. The analytical methods proposed by the EN1993-1-4 [1] and by Rasmussen et al. [2], are also included. More results are presented, based on a parametric study (66 simulations).

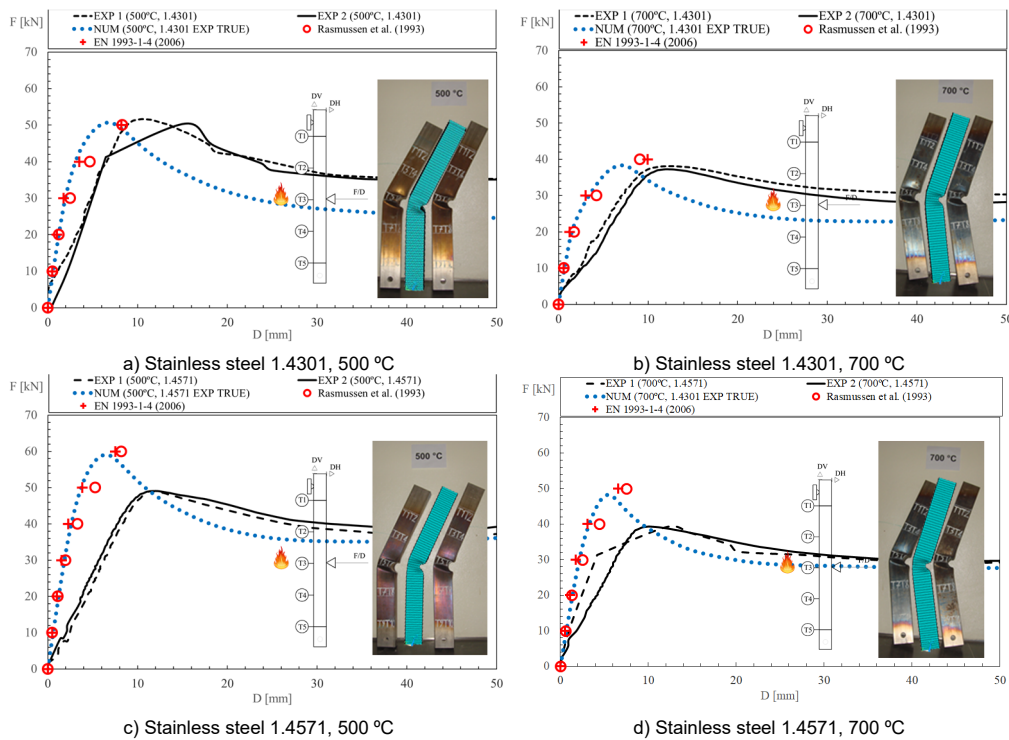


Figure 1 – Bending resistance at elevated temperature (load-displacement).

3. CONCLUSIONS

Stainless steel grade 1.4301 presents higher bending resistance at room temperature while grade 1.4571 presents higher bending resistance at elevated temperatures. Doubling the thickness of the hollow section is responsible for doubling the bending resistance. The bending resistance decreases with temperature as expected.

REFERENCES

- [1] CEN, "EN 1993-1-4:2006 - Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-4: General rules - Supplementary rules for stainless steels," *CEN- European Committee for Standardization*, Brussels, 2005.
- [2] K. J. R. Rasmussen and G. J. Hancock, "Design of Cold-Formed Stainless Steel Tubular Members. II: Beams," *J. Struct. Eng.*, vol. 119, no. 8, pp. 2368–2386, Aug. 1993, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:8(2368).



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 INTERFÁCE 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

AUSTENITIC HOLLOW STAINLESS STEEL BEAMS AT ELEVATED TEMPERATURES: EXPERIMENTAL AND NUMERICAL VALIDATION

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

Luís M. R. Mesquita
Professor
IPB – Bragança
ISISE

Áureo A. T. Cruz
MSc student
IPB – Bragança

Nuno Lopes
Professor
UA – Aveiro
RISCO

Flávio Arrais
PhD Researcher
UA – Aveiro
RISCO

Paulo Vila Real
Full Professor
UA – Aveiro
RISCO

ABSTRACT

Eight experimental bending tests of RHS 150x100x3 austenitic stainless steel beams, of two different grades (1.4301, 1.4571) at elevated temperatures (500, 700 °C), are presented. Both material grades were experimentally characterised at room temperature. The load-displacement behaviour is validated with 3D shell finite element models, assuming a true stress-strain material model, based on the two-stage Ramberg Osgood constitutive law. A parametric analysis is presented to study the bending resistance of both materials, using three different cross-sections and eleven different temperatures. Stainless steel grade 1.4301 beams present higher bending resistance at room temperature while grade 1.4571 presents higher bending resistance at elevated temperatures.

KEYWORDS: Austenitic; Stainless steel; Hollow Sections; Elevated temperatures.

1. INTRODUCTION

The fire behaviour of stainless steel beams has been the subject of numerous research studies and experimental tests. These studies have provided valuable information on the fire resistance of stainless steel beams. In general, it is found that stainless steel beams can maintain their load-carrying capacity for a certain period of time when exposed to fire, depending on the temperature and duration of exposure. However, at high temperatures, the strength and stability of stainless steel beams are affected, leading to deformation and failure. Several investigations have been developed, and in the following, some studies are presented regarding this subject. In 1993, Rasmussen and Hancock, [1] presented a nonlinear method to determine deflections of stainless steel beams, based on secant and tangential modulus of elasticity. These results were compared with experimental results on 4-point bending tests, with reasonable agreement. In 2000,

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

Mirambell and Real [2], developed experimental tests on six simply supported stainless steel beams loaded centrally and six continuous beams loaded symmetrically at mid-span. Numerical simulations were developed using beam finite elements and deflection results were also compared using the secant modulus of elasticity. Reasonable agreement was achieved for small displacements on simply supported beams. In 2004, Gardner and Nethercot [3], developed a series of nine 3-point bending tests on cold-formed austenitic stainless steel beams. Full load displacement graphs were used for the validation of the numerical model and the verification of the EN1993-1-4 [4] design rules. According to these authors, design rules looked to be over-conservative, underpredicting the bending resistance by almost 30% for class 1 cross-section beams. The load-displacement behaviour had typical non-linear increasing and decreasing branches. The beams had almost the same slenderness range as the ones used in this paper. In 2005, Real and Mirambell [5] discussed different analytical non-linear methods for the calculation of the stainless steel maximum beam deflections, presenting also numerical and experimental results. In 2006, Gardner and Baddoo, [6] performed experimental fire tests on four stainless steel beams to validate the numerical model applied in a parametric analysis. Some design recommendations were also presented for stainless steel beams supporting a concrete slab, based on the test and finite element results. These recommendations have been included in several reference documents, such as the design manual for structural stainless steel from SCI [7] and implemented in the Eurocode EN1993-1-2 [8], with minor adjustments for consistency with carbon steel. In 2006, Gardner and Ng [9] compared the physical properties of austenitic stainless steel with the ones of carbon steel, on the prediction of the beam temperature development under standard fire. New thermal parameters were proposed for the convection coefficient heat transfer and the emissivity of stainless steel. In 2007, Ng and Gardner [10] examined previous experimental tests developed on six stainless steel beams by conducting a numerical investigation towards the prediction of the critical temperature. The ratio between the predicted and the experimental temperature was found to be around 0.74 and an improvement of 14% on the in plane bending resistance was proposed concerning the current version of EN1993-1-2 [8]. Beams had similar slenderness to the ones used in our investigation. In 2010, Lopes et al. [11] used SAFIR to study the lateral-torsional buckling of stainless steel beams, using GMNIA models, including two modifications on SAFIR towards the constitutive law to be used for shell finite element analysis and the pattern for the residual stresses. The effect of the residual stress field was found to be small on the ultimate load-bearing capacity of class 1 beam sections. In 2018, Huang & Young [12] made a numerical investigation regarding the behaviour of lean stainless steel at elevated temperatures (from 24 to 900 °C). The results were compared with the design rules to determine the reliability and concluded that, in general, standards are conservative to predict flexural strength at elevated temperatures. In 2019, Pournaghshband et al. [13] developed a numerical investigation to determine the effect of the axial restraint on the 4-point bending behaviour of stainless steel beams under fire. A new analytical model was proposed to predict the axial restraint force during the heating process, being able to model the catenary effect. Stainless steel beams were able to support higher temperatures, before the onset of the catenary effect. The numerical model was validated against carbon steel experimental tests. In 2022, Xing et al [14] have made an experimental investigation on the bending resistance around the weak axis at elevated temperatures (4 point bending tests) and concluded that all specimens presented a considerable inelastic strength reserve. These experimental tests were used to enhance the predictions of the bending resistance using the plastic effective width method. Other research on stainless steel members under fire has been focusing on the development of new design formulae

for beams and columns. Xing, Kucukler, et al. in 2021 [15], Vila Real et al. in 2008 [16], Xing, and Zhao et al. in 2021 [17] have proposed new design formulas, but still, there is a lack of experimental evidence of the fire resistance of stainless steel members, in particular beams at elevated temperatures. This study presents the numerical validation towards the prediction of the bending resistance of hollow stainless steel beams (3 point bending test). Constant temperature (thermal steady state condition) has been applied previously to the application of the load. Local instability of the web defines the maximum load-bearing capacity. The numerical model is based on GMNIA 3D shell181 (ANSYS) finite element analysis, using full integration with incompatible modes. The numerical model also includes higher stiffness elements to represent the loading system, herein represented by the beam188 (ANSYS). Two different austenitic stainless steel grades are considered (1.4301, 1.4571) and two different temperature levels (500 and 700 °C). The RHS 150x100x3 mm has been used for the experiments. After the numerical validation, sixty-six simulations were developed to consider the two stainless steel grades, three cross sections, and eleven temperature levels. Coupon tests have been used to determine the mechanical properties at room temperature. The material properties at elevated temperatures were defined by the reduction coefficients.

2. EXPERIMENTAL TESTS

2.1- Coupon tests

Tensile coupons were machined from the web of two beams made from austenitic stainless-steel profiles with a cross-section RHS 150x100x3 mm (one with the grade 1.4301 and another with the grade 1.4571). Three tests were considered at room temperature for grade 1.4301 and four tests were considered for grade 1.4571. The standard tensile test has been developed according to EN ISO 6892-1 [18], using an incremental displacement of 1.35 mm/min in the very beginning, changing to a second speed of 2.70 mm/min after a 5% strain value. The average results are presented in Table 1 for both material grades.

Table 1 – Average values determined from tensile tests at room temperature (engineering data).

Property	Units	Average 1.4301	Stand. Deviation 1.4301	Average 1.4571	Stand. Deviation 1.4571
F_m	[kN]:	24.59	0.80	19.03	0.342
σ_u	[MPa]:	725.8	27.69	658.7	25.12
$\sigma_{p0.2}$	[MPa]:	417.2	21.65	377.0	13.78
ϵ_c	[%]:	0.387	0.008	0.353	0.022
$\sigma_{p0.01}$	[MPa]:	265.7	13.08	183.7	29.62
$\sigma_{p0.05}$	[MPa]:	334.2	10.71	291.9	10.17
$\sigma_{p1.0}$	[MPa]:	471.1	25.01	430.9	17.62
$\epsilon_{1.0}$	[%]:	1.21	0.005	1.20	0.007
$\sigma_{2.0}$	[MPa]:	487.3	25.44	445.2	18.11
ϵ_u	[%]:	45.49	0.686	44.69	0.482
$k_{2\%}$		0.227	0.015	0.245	0.005
E_a	[GPa]	221.57	4.41	211.91	9.18

The results include the maximum load during the tests (F_m), the ultimate stress (σ_u), the proportional stress at 0.2% strain ($\sigma_{p0.2}$), the total strain at the proof stress (ϵ_c), the proportional stress at 0.01, 0.05 and 1% strain ($\sigma_{p0.01}$, $\sigma_{p0.05}$, $\sigma_{p1.0}$), the total strain at 1% ($\epsilon_{1.0}$), the stress at 2% total strain ($\sigma_{2.0}$), the strain at maximum stress (ϵ_u), the correction factor ($k_{2\%}$) to determine the yield strength obtained from the annex C in EN1993-1-2, and finally the elastic modulus (E_a) obtained between 0% and 0.1% total strain. These values have been used to build the constitutive law for each stainless steel grade at room temperature and elevated temperatures. The two-stage model from the Ramberg-Osgood has been used at room temperature for the current version of the EN1993-1-4 [4], and at elevated temperature for the future generation of the EN1993-1-2 [19], using the corresponding reduction coefficients. Moreover, the true-stress true-strain curve modification has been included in the numerical models.

2.2- Bending tests

This experimental investigation is developed with a fire resistance furnace and a steel portal frame. This frame is responsible to fix the beam and to apply the load, using the 3-point bending configuration. The beam is positioned in the vertical direction and the load is applied by the hydraulic jack in the horizontal direction. The experimental test runs with steady state heating conditions (constant temperature inside the furnace), see Figure 1. The temperature of the beam is controlled by 10 thermocouples, two for each position identified by T1 to T5, and the temperature of the furnace is controlled by a plate thermocouple (TG=FURNACE). Tests have been developed at 500 °C and 700 °C for each material grade, according to Table 2.

Table 2 – Specimens under bending test at elevated temperature.

Specimens	Test number	Material grade	Temperature
1	EXP 1	1.4301	500
2	EXP 2	1.4301	500
3	EXP 1	1.4301	700
4	EXP 2	1.4301	700
5	EXP 1	1.4571	500
6	EXP 2	1.4571	500
7	EXP 1	1.4571	700
8	EXP 2	1.4571	700

The temperature evolution is represented for each tested beam, see Figure 2. After 20 minutes the beams have almost uniform temperatures, when comparing the measurements in the locations T1, T2 and T3. Extra measurements were developed at the bottom and top of the furnace and these temperatures were slightly below the testing temperature, due to the heat loss from the bottom and top of the furnace (conduction through the stainless steel beam, even using internal insulation in the cross-section in these regions).

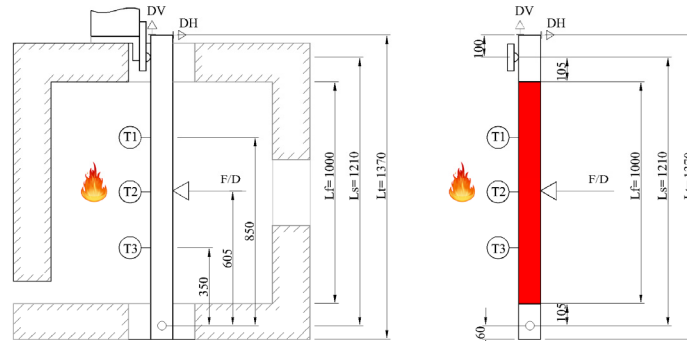


Figure 1 – Experimental setup.

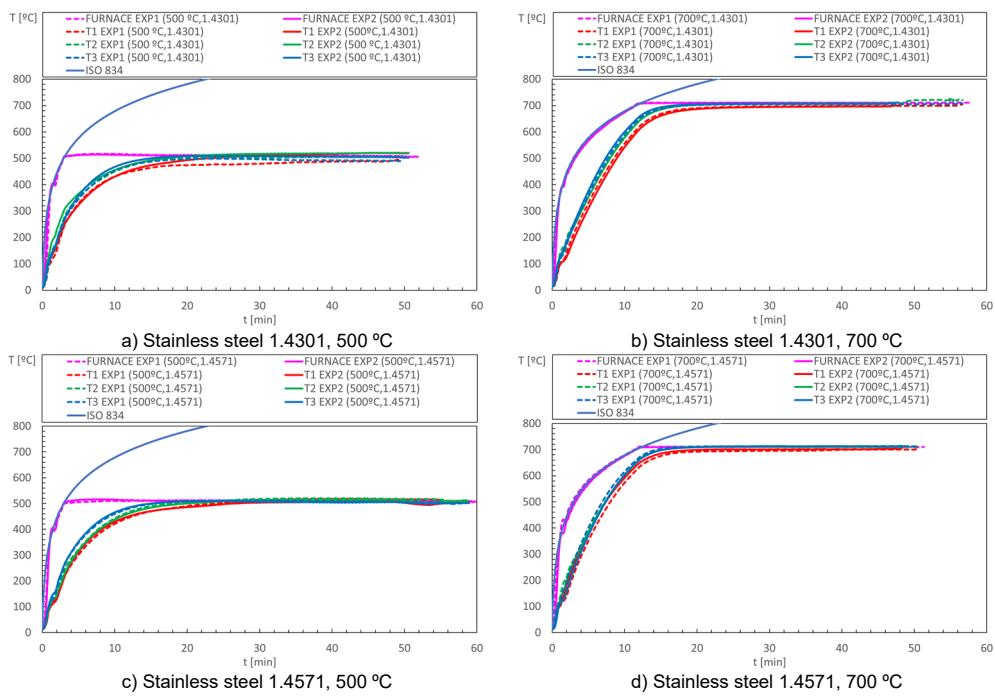


Figure 2 – Heating the beams to steady conditions.

The heating process was kept without loading conditions for approximately 40 to 53 minutes (depending on the specimen) and then, the load has been increased over time to determine the bending resistance. The load-displacement results are depicted in Figure 3 for each specimen. The numerical results are superposed (see section 3) and the analytical results proposed by EN1993-1-4 [4] and by Rasmussen et al. [1], are also included (see section 4).

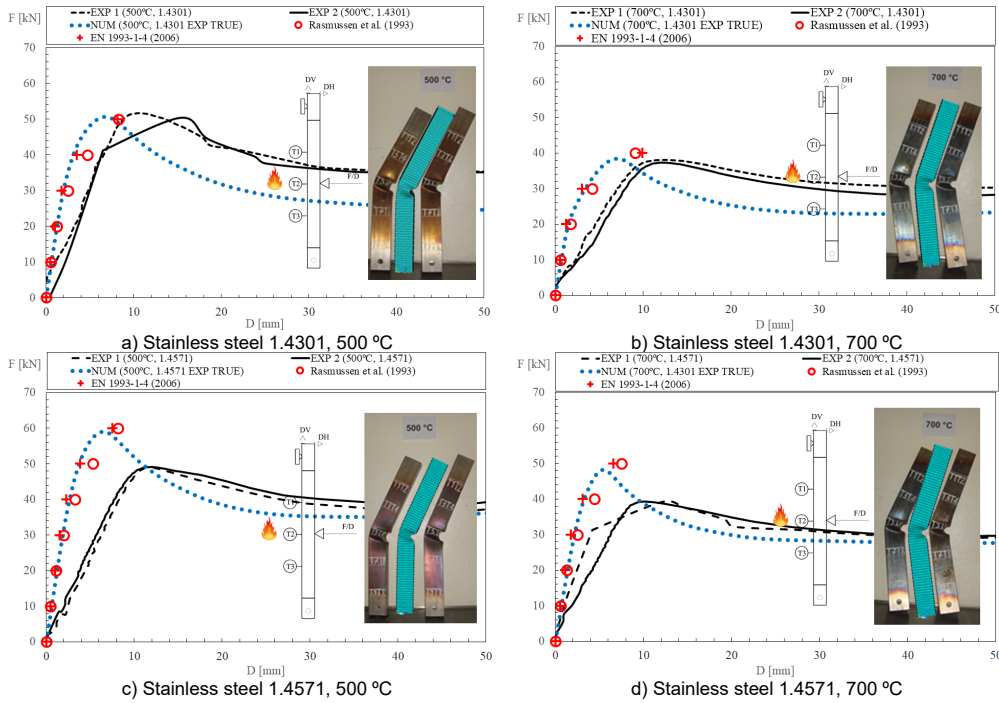


Figure 3 – Bending resistance at elevated temperature (load-displacement).

3. SIMPLIFIED CALCULATION METHODS

The simplified method is presented to predict the load-displacement behaviour [1], which is only valid for small displacements. Deflections may be determined considering the non-linear constitutive law of stainless steel, being estimated using the secant and tangent modulus. For any load level, the maximum bending moment M_{max} is determined. For the case of the 3 point bending setup, the Eq. (1) is used to determine the stress at the extreme fibre σ .

$$\sigma = k_{\sigma} \frac{M_{max}}{W_e} \quad (1)$$

The factor k_{σ} is introduced to avoid very large deflections due to the calculation procedure to find the average secant modulus E_S at the section for the maximum bending moment and also due to the calculation of the stress in the extreme fibres. This factor should be less or equal to the unity ($k_{\sigma} = 0.8$). The W_e represents the elastic section modulus of the cross-section. The equivalent modulus E_{eq} is based on the average value obtained from the secant E_S and tangent E_T modulus, see Eq. (2) - Eq (3).

$$E_{eq} = (E_S + E_T)/2 \quad (2)$$

$$E_S = \left[1 + 0.002 \frac{E_0}{\sigma_{0.2}} \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.2}} \right)^{n-1} \right]^{-1}, E_T = \left[1 + 0.002 \times n \times \frac{E_0}{\sigma_{0.2}} \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.2}} \right)^{n-1} \right]^{-1} \times E_0 \quad (3)$$

Where E_0 represents the initial elastic modulus, $\sigma_{0.2}$ the proportional stress at 0.2% strain, σ the stress used for the modulus calculation and n is a constant determined by requiring that the modified Ramberg-Osgood curve intersected the measured stress-strain curve for the proportional stress at 0.05%. These values are based on the tension and compression values for the extreme fibres at the cross-section of the maximum bending moment, following the constitutive law of Ramberg-Osgood. They were determined for each temperature level, based on the values of the experimental tensile tests. The constant value of 3.56 is used for the parameter n [1]. The maximum deflection is then calculated according to Eq. (4), replacing the Elastic modulus E_0 , with the equivalent elastic modulus E_{eq} .

$$D = \frac{PL^3}{48E_{eq}I} \quad (4)$$

A similar approximation is presented by the current version of EN 1993-1-4 [4], using only the secant modulus of elasticity, as an average between the value determined for the compression and tension flanges. The values for the secant modulus may be estimated by Eq. (5), where $\sigma_{i.Ed,ser}$ represents the serviceability design stress, f_y the yield strength, and n depends on the grade of the stainless steel ($n = 6$).

$$E_S = E_0 / \left[1 + 0.002 \frac{E_0}{\sigma_{i.Ed,ser}} \left(\frac{\sigma_{i.Ed,ser}}{f_y} \right)^n \right] \quad (5)$$

4. NUMERICAL MODEL

The numerical model is based on the finite element method using the Ansys APDL. The average surface of the SHS150x100x3 section is modelled using the SHELL181 shell finite element, with four nodes with six degrees of freedom at each node, displacements and rotations along the X, Y and Z axes, suitable for the analysis of thin to moderately thin shells. thick in the linear and non-linear regime of large deformations, including the plastic behaviour of the material. This element uses linear interpolating functions, and full integration with incompatible modes to enhance the accuracy in bending-dominated problems. Rigid beam finite elements have been used to simulate the loading device, using BEAM188 element, with 3 nodes with six degrees of freedom at each node (the same used for the shell). This element used linear interpolating functions, and one integration point along the length. The finite element model is presented in Figure 4. The beam is subjected to bending at three points, considering bi-articulated support at the bottom and simple support with restraint to the normal direction of all nodes of the lower flange of the cross-section. The beam presents a total length of $L_t=1.37$ [m], a bending length of $L_s=1.21$ [m] and the heat-affected length is $L_f=1.0$ [m].

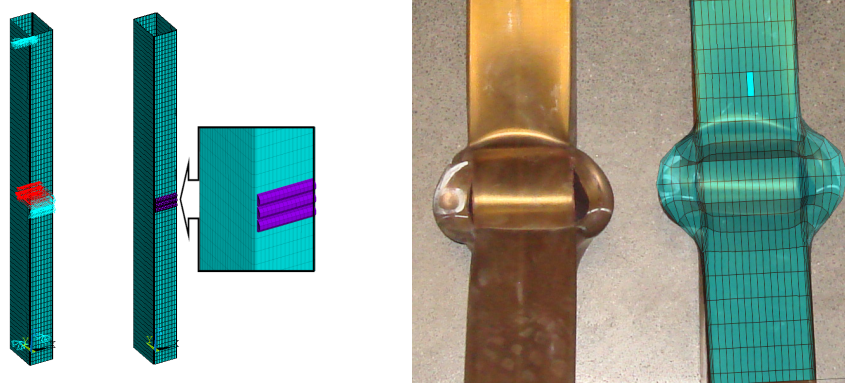


Figure 4 – Finite element model and comparison of the defor. shape from specimens 1 and 2.

4.1- Validation model

The GMNIA models consider the two-stage Ramberg Osgood constitutive material law, based on material properties experimentally determined at room temperature. The reduction coefficients from the future generation of Eurocode have been used to define the mechanical behaviour at elevated temperatures [19]. The engineering curves have been modified to true stress and true strain material models. Local geometric imperfections with an amplitude corresponding to 80% of the manufacturing geometric tolerances are considered. These imperfections are based on the first mode of local buckling instability determined by elastic linear analysis. The nominal dimensions from the stainless steel structural element RHS 150x100x3 have been used. The solution method includes an incremental load based on the arc-length method (variable load from 0.05 N to 5000 N). The convergence criterion is based on displacement, using a tolerance value of 0.1% and a reference value of 0.1 m. The numerical results agree very well with the experimental results, see Figure 3, and the model can catch the post-buckling behaviour, just by restraining the vertical displacement of the central nodes of the beam. The deformed shape mode is also in agreement with the experimental results, see Figure 4. The numerical model does not include the material damage. This effect is due to the loss of the material ductility during the processing conditions to obtain the stainless steel profile (direct forming). This processing condition is responsible for the lower ductility and higher yield strength of the corner regions when compared to the flat regions. These types of structural elements exhibit poor plastic deformation capacity, as mentioned by Landolfo [20] and observed during the experimental tests. The numerical model used the same material model for all the regions (corners and flat regions).

4.2- Parametric analysis

The parametric study is focused on the cross-section type, temperature level and material grade, see Table 3. Based on the nominal dimensions and properties, all the cross-sections are classified as slender, considering the calculation of the relative slenderness at elevated temperature, according to the next generation of the EN1993-1-2 [19]. The material strength at elevated

temperature should be considered at 2% total strain, $f_{2,\theta}$, for all cross-section classes. The effective section modulus for slenderness cross sections, W_{eff} , has been determined based on the second order moment of the effective area. Sixty-six simulations were developed to determine the bending resistance at elevated temperatures. The numerical results are compared with the elastic load F_{el} , plastic load F_{pl} and effective load F_{eff} , see Figure 5.

Table 3 - Parametric study

Material grade	Cross sections	Temperature level [°C]
1.4301	RHS 150X100X3 (RHS 3), RHS 150X100X6 (RHS 6),	20, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800,
1.4571	SHS 100X100X3 (SHS 3)	900, 1000

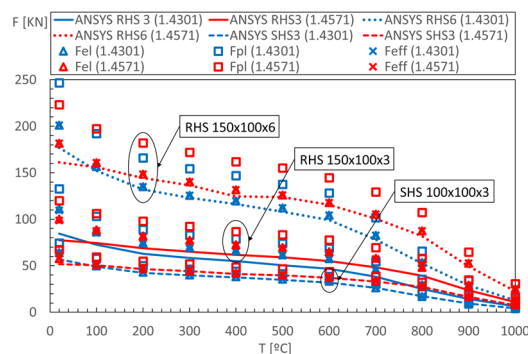


Figure 5 – Bending resistance for three different cross sections and two material grades.

5. CONCLUSIONS

The 3D numerical model has been validated for each material grade at 500 and 700 °C, using eight experimental tests. The stainless steel grade 1.4301 presented the most accurate bending resistance with a relative difference of -0.6% at 500 °C and 1.8% at 700°C. This relative difference increased for the steel grade 1.4571. The finite element model has been used to determine the effect of the cross-section and the effect of the temperature level. The bending resistance determined with ANSYS agrees with the design moment resistance (cross-section) when considering the effective area. The reduction coefficients $k_{2,\theta}$, used for the calculation of the design moment resistance, are working properly for each material grade and temperature level, because the simplified results are following the reduction tendency when increasing the temperature of the beam. The material grade 1.4571 has higher bending resistance at elevated temperatures than grade 1.4301, but smaller bending resistance at room temperature.

REFERENCES

- [1] K. J. R. Rasmussen and G. J. Hancock, "Design of Cold-Formed Stainless Steel Tubular Members. II: Beams," *J. Struct. Eng.*, vol. 119, no. 8, pp. 2368–2386, Aug. 1993.
- [2] E. Mirambell and E. Real, "On the calculation of deflections in structural stainless steel

- beams: an experimental and numerical investigation,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 54, no. 1, pp. 109–133, Apr. 2000, doi: 10.1016/S0143-974X(99)00051-6.
- [3] L. Gardner and D. A. Nethercot, “Experiments on stainless steel hollow sections-Part 2: Member behaviour of columns and beams,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 60, no. 9, pp. 1319–1332, 2004, doi: 10.1016/j.jcsr.2003.11.007.
- [4] CEN, “EN 1993-1-4:2006 - Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-4: General rules - Supplementary rules for stainless steels,” *CEN- European Committee for Standardization*. CEN, Brussels, 2005.
- [5] E. Real and E. Mirambell, “Flexural behaviour of stainless steel beams,” *Eng. Struct.*, vol. 27, no. 10, pp. 1465–1475, 2005, doi: 10.1016/j.engstruct.2005.04.008.
- [6] L. Gardner and N. R. Baddoo, “Fire testing and design of stainless steel structures,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 62, no. 6, pp. 532–543, Jun. 2006, doi: 10.1016/j.jcsr.2005.09.009.
- [7] The Steel Construction Institute, *Design Manual For Structural Stainless Steel*, 3rd ed., no. April. The Steel Construction Institute, 2006.
- [8] CEN, “EN1993-1.2: 2005 - Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design,” *CEN- European Committee for Standardization*. 2005.
- [9] L. Gardner and K. T. Ng, “Temperature development in structural stainless steel sections exposed to fire,” *Fire Saf. J.*, vol. 41, no. 3, pp. 185–203, 2006.
- [10] K. T. Ng and L. Gardner, “Buckling of stainless steel columns and beams in fire,” *Eng. Struct.*, vol. 29, no. 5, pp. 717–730, 2007, doi: 10.1016/j.engstruct.2006.06.014.
- [11] N. Lopes, P. V. Real, L. S. da Silva, and J. M. Franssen, “Numerical modelling of thin-walled stainless steel structural elements in case of fire,” *Fire Technol.*, vol. 46, no. 1, pp. 91–108, 2010, doi: 10.1007/s10694-009-0084-x.
- [12] Y. Huang and B. Young, “Structural performance of cold-formed lean duplex stainless steel beams at elevated temperatures,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 129, pp. 20–27, 2018.
- [13] A. Pournaghshband, S. Afshan, and M. Theofanous, “Elevated temperature performance of restrained stainless steel beams,” *Structures*, vol. 22, no. September, pp. 278–290, 2019, doi: 10.1016/j.istruc.2019.08.015.
- [14] Z. Xing, O. Zhao, M. Kucukler, and L. Gardner, “Fire testing and design of slender stainless steel I-sections in weak-axis flexure,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 171, no. August 2021, p. 108682, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.tws.2021.108682.
- [15] Z. Xing, M. Kucukler, and L. Gardner, “Local buckling of stainless steel I-sections in fire: Finite element modelling and design,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 161, no. January, p. 107486, 2021, doi: 10.1016/j.tws.2021.107486.
- [16] P. M. M. Vila Real, N. Lopes, L. Simões da Silva, and J. M. Franssen, “Lateral-torsional buckling of stainless steel I-beams in case of fire,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 64, no. 11, pp. 1302–1309, 2008, doi: 10.1016/j.jcsr.2008.04.013.
- [17] Z. Xing, O. Zhao, M. Kucukler, and L. Gardner, “Testing of stainless steel I-section columns in fire,” *Eng. Struct.*, vol. 227, no. November 2020, 2021.
- [18] ISO, “ISO 6892-1: Metallic materials — Tensile testing — Part 1: Method of test at room temperature,” *International Organization for Standardization*. ISO, Geneve, 2009.
- [19] CEN, “FprEN 1993-1-2:2023 - Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-2: Structural fire design Eurocode,” *CEN- European Committee for Standardization*. CEN- European Committee for Standardization, p. 96, 2023.
- [20] R. Landolfo, “Material Ductility and Buckling Behaviour of Eurocode-compliant Cold-formed Steel Hollow Columns,” *ce/papers*, vol. 5, no. 4, pp. 1–8, Sep. 2022.