

# ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO A TEMPERATURAS ELEVADAS DE MEMBROS DE AÇO ENFORMADOS A FRIO COMPRIMIDOS

Saulo José de Castro Almeida<sup>1</sup>, Jorge Munaiar Neto<sup>2</sup> & João Paulo Correia Rodrigues<sup>3</sup>

## Resumo

*A crescente utilização dos perfis de aço formados a frio na construção civil brasileira motivou a elaboração de procedimentos normativos que auxiliassem o dimensionamento desses perfis em temperatura ambiente e, mais recentemente, em situação de incêndio. Porém, embora haja o entendimento da necessidade de estudar o comportamento de elementos e estruturas em aço formado a frio em temperaturas elevadas, tal conhecimento ainda está sendo construído, o que pode ser evidenciado pelo pequeno número de pesquisas desenvolvidas até o momento. Esse trabalho busca ampliar o entendimento do comportamento de perfis de aço formados a frio em temperaturas elevadas via análises, experimental e numérica.*

*Palavras-chave: Análise estrutural. Perfis de aço formados a frio. Análise experimental. Análise numérica. Temperaturas elevadas.*

## NUMERICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF COMPRESSED COLD FORMED STEEL MEMBERS SUBMITTED TO HIGH TEMPERATURES

### Abstract

*The increasing use of cold formed in Brazil led to the development of design codes that supports the design of these members at room temperature. On the other hand, although the necessity of studying the behavior of elements and structures in cold-formed steel at elevated temperatures is known, such knowledge is still being built, which is evidenced by the small number of researches carried out until now. This work seeks to increase the understanding of the behavior of cold-formed steel members at elevated temperatures via analyses, experimental and numerical.*

*Keywords: Structural analysis. Cold formed steel columns. Experimental analysis. Numerical analysis. Fire situation.*

*Linha de Pesquisa: Estruturas Metálicas*

## 1 INTRODUÇÃO

Alguns aspectos de grande relevância para os perfis formados a frio, como por exemplo, os fenômenos referentes às instabilidades local ou por distorção, são razoavelmente conhecidos em temperatura ambiente. Por outro lado, pesquisas realizadas sobre os perfis formados a frio em temperaturas elevadas são bastante recentes e o comportamento desses elementos em situação de incêndio é ainda pouco conhecido. Os atuais métodos de cálculo muitas vezes requerem o uso de

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, saulojca@sc.usp.br

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, jmunaiar@sc.usp.br

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Engenharia Civil da FCTUC-UC, jpaulocr@dec.uc.pt



materiais de proteção ao fogo de custo elevado para proteger a estrutura da excessiva elevação do calor durante o incêndio, conduzindo a projetos antieconômicos, conforme menciona Kaitila (2000).

Recentemente muitas pesquisas têm sido realizadas no intuito de estabelecer um procedimento de cálculo simplificado para os elementos de aço formados a frio comprimidos a temperaturas elevadas. O método de cálculo do Eurocode 3 parte 1.3 tem sido um dos principais objetos de estudo. Nessas pesquisas comparações entre o método de cálculo do Eurocode 3 parte 1.3 com resultados experimentais foram realizadas para verificar se os procedimentos destinados aos elementos de aço formados a frio submetidos à compressão em temperatura ambiente podem ser modificados para levar em consideração as alterações ocorridas na resistência e rigidez em temperaturas elevadas.

A norma brasileira ABNT NBR 14323:1999, por sua vez, se encontra em processo de revisão e disponibiliza um método de cálculo simplificado para os elementos de aço formados a frio, cuja representatividade dos resultados obtidos por tal procedimento no que se refere à resistência à compressão de elementos de aço formado a frio necessita ser avaliada.

Nesse contexto, pesquisas serão desenvolvidas com elementos de aço formados a frio em situação de incêndio a fim de solidarizar o conhecimento prático e teórico sobre o tema, visando dentre outros objetivos, melhorias nos procedimentos normativos de cálculo.

É interessante destacar que o presente trabalho está sendo desenvolvido em regime de co-tutela por meio da cooperação entre as Universidades de São Paulo (EESC/USP) e de Coimbra (UC).

## 2 METODOLOGIA

O trabalho é composto de análises numéricas, investigação experimental e avaliação de procedimentos normativos.

Primeiramente foram realizadas análises numéricas em elementos de aço formados a frio comprimidos em temperatura ambiente e sob altas temperaturas. Estas análises são ditas de caráter exploratório, uma vez que os modelos numéricos não foram calibrados por resultados experimentais.

Em seguida foi desenvolvido o programa experimental. Em síntese, o programa experimental consiste da avaliação da resistência ao fogo de pilares de aço formados a frio com seções usuais na prática da engenharia. Informações sobre o programa experimental estão apresentadas no item 3.1.

No sentido de avaliar a eficiência dos modelos numéricos elaborados, serão realizadas novas análises numéricas de caráter aferidor, onde os resultados obtidos numericamente serão comparados com resultados dos ensaios realizados. A calibração dos modelos numéricos se fará com base nos valores do *Tempo Crítico*, *Temperatura Crítica* e *Deslocamento Lateral*, bem como nas relações *Temperatura x Tempo* e *Força de restrição x Tempo*.

Por fim, serão realizados estudos paramétricos com os modelos numéricos aferidos por resultados experimentais. Nesta etapa serão avaliados casos que não foram investigados experimentalmente. Outrossim, os resultados das análises numéricas serão utilizados para avaliar os métodos simplificados de cálculo do Eurocode 3 - parte 1.3 e da ABNT NBR 14323:1999.

## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Programa experimental

O programa experimental foi realizado no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e consistiu da avaliação da resistência ao fogo de pilares de aço formados a frio com seções usuais na prática da engenharia em Portugal. Algumas

dessas seções também são utilizadas na prática da engenharia Brasileira, e atendem aos objetivos de ambos os Países no estudo presente.

O objetivo foi avaliar a influência das condições de vinculação na resistência a compressão de pilares com restrição à deformação axial. Neste sentido, para esses ensaios foram mantidos constantes o nível de força, nível de restrição ao deslocamento axial, esbeltez global e esbeltez local.

A figura 1 mostra o esquema geral da seção transversal de cada pilar, a saber, seções C, seções I(2C) e seções 2R (2C+2U) chamadas duplamente reforçadas. A figura 2 mostra o esquema geral do sistema existente na UC utilizado para investigar a resistência de pilares de concreto, mistos e de aço laminado em temperaturas elevadas. Trata-se de um forno vertical acoplado a um sistema de pórticos os quais permitem simular em três níveis a restrição axial ao alongamento térmico imposta pela estrutura circundante a um pilar em situação de incêndio.

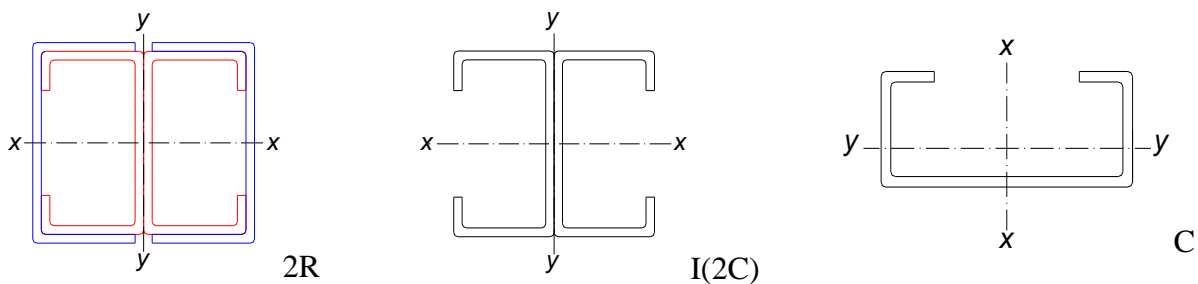
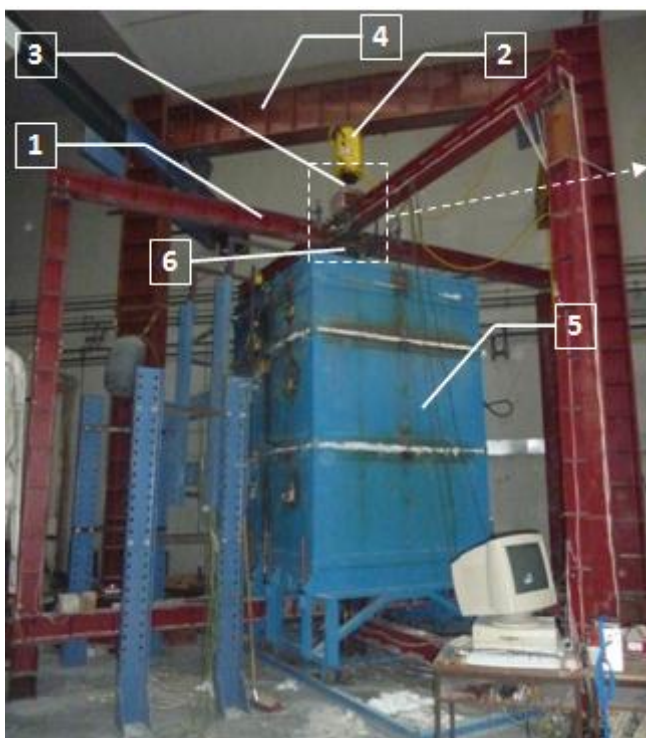


Figura 1 – Seções transversais dos pilares ensaiados.



3 - Célula de carga



6 - Pistão

- 1 – Pórtico de restrição
- 2 – Atuador hidráulico
- 3 – Célula de carga
- 4 – Pórtico de reação
- 5 – Forno
- 6 – Pistão

Figura 2 – Esquema geral do sistema de ensaio.

### 3.2 Análise numérica

A modelagem numérica será viabilizada pela utilização do programa ANSYS ou similares. No sentido de avaliar a eficiência dos modelos numéricos elaborados, os resultados numéricos a serem

obtidos, serão confrontados com resultados obtidos nas análises experimentais a serem desenvolvidas, bem como com os resultados apresentados na literatura.

#### 4 RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

Como resultado das investigações realizadas no presente trabalho espera-se sinalizar a representatividade do uso dos métodos de cálculo simplificados do Eurocode 3 parte 1.3 e o proposto na revisão da ABNT NBR 14323, quanto a determinação da força resistente de compressão a altas temperaturas de pilares de aço formados a frio com restrição axial. Também se espera compreender a influência da restrição axial e das condições de vinculação sobre o comportamento desses pilares.

#### 5 CONCLUSÕES PARCIAIS

Há o interesse da comunidade científica em estabelecer procedimentos simplificados de cálculo para o dimensionamento de elementos de aço formados a frio sob altas temperaturas. Entretanto, a quantidade de informações disponíveis ainda não permite que este objetivo seja concretizado. As pesquisas desenvolvidas sobre o tema possuem objetos de estudo com características bastante diversificadas de modo que dificulta a compilação de um bom número de resultados sobre o comportamento de um determinado elemento estrutural.

Com relação aos elementos comprimidos, até o presente momento ainda não há consenso sobre um modelo simplificado de cálculo que possa abranger de forma satisfatória a gama dos elementos estruturais utilizados na prática da engenharia. Existem lacunas no conhecimento quanto às propriedades do material sob altas temperaturas, sobre o comportamento mecânico dos elementos estruturais e sobre modelos simplificados de distribuição da temperatura.

#### 6 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de Doutorado concedida, aos Departamentos de Engenharia de Estruturas da EESC/USP e de Engenharia Civil da FCTUC - Faculdade Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, pelo apoio fundamental para o desenvolvimento dessa pesquisa.

#### 7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323**: Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio – Procedimento. Rio de Janeiro, 1999.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1993-1-3**: Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. Draft. Brussels, 2004.

KAITILA, O. Imperfection Sensitivity Analysis of Lipped Channel Columns at High Temperatures. **Journal of Structural Steel Research**, 58(3), pp 333-351, 2002.