

COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PERFIS FORMADOS A FRIO COM SEÇÃO TRANSVERSAL COMPOSTA DE CANTONEIRAS DUPLAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Érica Fernanda Aiko Kimura¹ & Jorge Munaiar Neto²

Resumo

Embora seja sabida a versatilidade dos perfis formados a frio na construção civil, pesquisas desenvolvidas sobre os referidos perfis submetidos à situação de incêndio ainda estão em estágio que pode ser considerado inicial. Nesse sentido, o objetivo proposto neste projeto de pesquisa consiste em desenvolver estudos, em campo numérico e experimental, sobre o desempenho de perfis formados a frio empregados em coberturas e pilares de edifícios, em temperatura ambiente e em situação de incêndio. O presente estudo visa levantar os principais aspectos do comportamento desses perfis quanto aos esforços resistentes quando submetidos a uma dada situação de incêndio. Os resultados futuramente apresentados serão de grande importância, tendo em vista a necessidade de se elaborar documentos técnicos específicos para a consideração dos efeitos do incêndio em estruturas constituídas de perfis formados a frio.

Palavras-chave: Perfis formados a frio. Situação de Incêndio. Análise experimental. Análise numérica.

STRUCTURAL BEHAVIOUR OF COLD-FORMED STEEL DOUBLE-ANGLE UNDER FIRE

Abstract

Although the versatility of cold-formed steel sections in building is known, research about such sections submitted to thermal loads due to fire can be considered in its initial stage. Therefore, the purpose of this research project is to develop numerical and experimental studies about the structural performance of cold-formed steel sections, which are commonly used for columns and roof system, in ambient temperature and under fire condition. The present study aims to raise the main aspects related to structural behavior and strength of such sections under fire condition. Results presented in the future will be important in order to review specific technical documents and therefore consider thermal effects in design of cold-formed steel structure.

Keywords: Cold-formed steel. Fire condition. Experimental analysis. Numerical analysis.

Linha de Pesquisa: Estruturas Metálicas.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação dos perfis formados a frio na construção civil brasileira foi motivada por certas características, citadas com mais detalhes em YU (2000), tais como elevada relação inércia/peso, grande variabilidade na composição de seções transversais, menor custo energético na produção em relação aos perfis soldados e laminados, entre outros fatores.

Quando submetidos a uma situação de incêndio, a capacidade resistente desses perfis é afetada pela redução de sua resistência ao escoamento (f_y) e de seu módulo de elasticidade (E). Devem ser considerados também os demais problemas típicos de tais perfis, como os fenômenos de flambagem global, local e distorcional, ou mesmo a combinação dos três.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar o comportamento estrutural de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão axial em situação de incêndio. Dessa forma,

¹ Doutoranda em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, ekimura@sc.usp.br

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



pretende-se ampliar o conhecimento prático e teórico sobre tais elementos, além de validar o conjunto de resultados futuramente apresentados para adequação dos documentos técnicos atuais.

2 METODOLOGIA

De um modo geral, o presente trabalho pretende dividir as investigações numéricas e experimentais em três fases:

Primeira fase da análise numérica: São desenvolvidas estratégias para a avaliação dos perfis sob compressão axial em temperatura ambiente e em situação de incêndio com a finalidade de estabelecer um planejamento adequado à *investigação experimental*.

Investigação experimental: Nesta etapa está prevista, inicialmente a caracterização dos corpos de prova em temperatura ambiente. Em seguida, serão realizados ensaios de compressão axial sob ação da elevação da temperatura controlada artificialmente com auxílio do forno de ensaios. No presente trabalho pretende-se trabalhar com a temperatura em regime transiente. Serão avaliados a elevação da temperatura do forno e no perfil, que deve ocorrer de acordo com uma curva de incêndio pré-estabelecida; força de colapso; deslocamentos longitudinais; sensibilidade à imperfeição geométrica inicial e à esbeltez da barra, tanto global, como local, sob ação térmica;

Segunda fase da análise numérica: tem a finalidade de melhorar os resultados obtidos na primeira etapa, nesse momento, de posse dos parâmetros e respostas da análise experimental.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Análise numérica

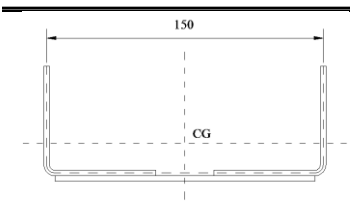
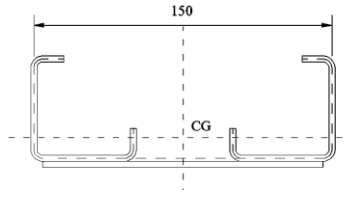
A análise numérica utilizou o pacote computacional ANSYS, formulado com base no Método dos elementos finitos. A construção dos modelos numéricos consiste de quatro etapas. A primeira etapa se refere à elaboração da *análise térmica*, em que foram utilizados os elementos finitos SHELL131 para a construção do perfil e SURF152 para a construção das superfícies de convecção e radiação. A segunda etapa consiste de *análise estrutural* dos modos de instabilidade, que permite determinar o modo de falha (forma da imperfeição geométrica) para uma determinada força crítica elástica. A terceira etapa se refere à *análise estrutural estática*, em temperatura ambiente, considerando a barra com sua geometria imperfeita, a fim de se determinar a força última de colapso por compressão. Na quarta etapa, a análise estrutural é realizada considerando a *variação da temperatura* na barra por meio do acoplamento das respostas obtidas na análise térmica. Em todas as etapas da análise estrutural, foi utilizado o elemento finito SHELL181. Os elementos estruturais propostos para estudo possuem as características geométricas apresentadas na tabela 1.

3.2 O programa experimental

A metodologia de ensaio proposta para elementos estruturais submetidos a temperaturas elevadas implica em utilizar uma quantidade menor de corpos de prova em comparação aos ensaios convencionais em temperatura ambiente. Isso se deve, principalmente, ao alto custo para a instrumentação, uma vez que todos os equipamentos devem ser termicamente resistentes; e ao tempo de preparo das amostras, que implica também no tempo de resfriamento do forno.

O programa experimental proposto, previsto para ser realizado no Laboratório de Estruturas da Universidade Estadual de Campinas, é dividido em duas etapas. A primeira consiste na avaliação das barras em temperatura ambiente, em que se pretende obter os campos de deformação e a força de compressão centrada no instante do colapso sobre cada amostra da tabela 1. A segunda etapa corresponde aos ensaios mecânicos em altas temperaturas, submetidos a ações axiais com valor de 40%, 70% da ação de colapso em temperatura ambiente.

Tabela 1 – Características dos perfis formados a frio propostos para a análise numérica e experimental

Seção transversal	Comprimento efetivo [mm]	Quantidade de talas
	1500	2
		3
	2500	2
		3
		5
	1500	2
		3
	2500	2
		3
		5

Preparação das amostras

As barras retilíneas serão consideradas inicialmente como isostáticas. Em temperatura ambiente, é possível medir os deslocamentos laterais com auxílio de transdutores de deslocamento.

O procedimento experimental em situação de incêndio, incluindo a curva tempo x temperatura segue a norma ISO 834 (1999). Uma vez que é necessário obter a temperatura em função do tempo, são posicionados termopares em pontos internos ao forno e em contato com a superfície do perfil ao longo do seu comprimento. A figura 2(a) mostra um esquema geral do ensaio. O forno vertical de ensaios, ilustrado na figura 2(b) possui um sistema elétrico de aquecimento e é composto por três módulos independentes, cujas dimensões de altura e diâmetro interno são respectivamente 105 cm e 65 cm. As características de trabalho desse equipamento estão descritas em Leite Junior (2009).

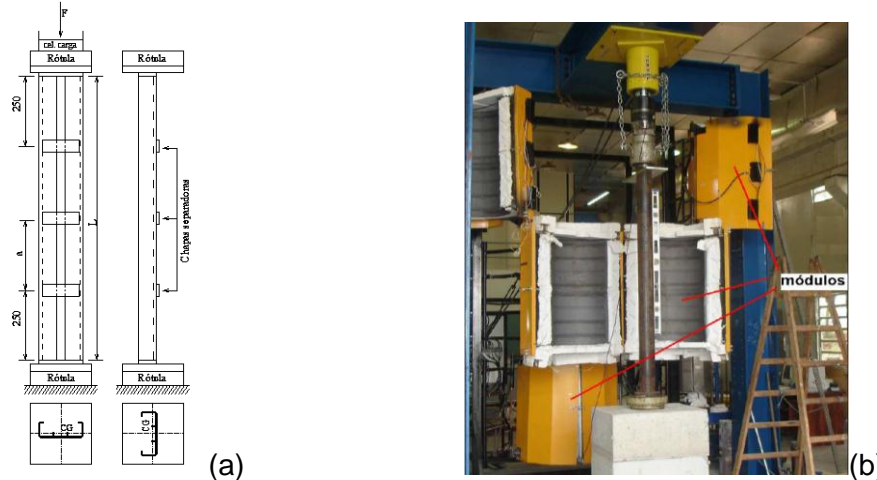


Figura 2 – (a) Esquema do modelo experimental; (b) Forno para ensaios do Laboratório de Estruturas da Unicamp.

4 RESULTADOS PARCIAIS

A primeira fase da análise numérica apresenta resultados parciais sobre os perfis de seção transversal em dupla cantoneira enrijecida.

Ao comparar as respostas obtidas, foi possível observar que o modo de falha que surge no modelo em temperatura ambiente difere daquele resultante em situação de incêndio. Em temperatura ambiente, as deformações tendem a se localizar na região próxima ao ponto médio do comprimento, entre duas talas, com surgimento de um deslocamento lateral. Em situação de incêndio, a configuração final não apresenta o deslocamento fora do eixo observado. O modo de falha dominante foi o modo local, independente do valor da ação axial aplicada. As deformações de colapso se localizaram principalmente próximo ao ponto médio (semelhante às investigações em temperatura

ambiente) e próximo à extremidade superior, região essa que representa a área aquecida e, portanto, de baixa resistência mais próxima da vedação do forno e do pistão de aplicação da força axial. A tabela 2 mostra a força de colapso obtida em temperatura ambiente. A figura 3 ilustra as respostas obtidas em situação de incêndio.

Tabela 2 – Força de colapso obtida numericamente para os perfis com seção transversal 2L_e 50 x 13 x 2

Comprimento L [mm]	Distância entre talas a [mm]	Força de colapso F [kN]
1500	1000 (uma tala)	68
2500	500 (cinco talas)	42
$f_y = 35 \text{ kN/cm}^2$		$E = 20000 \text{ kN/cm}^2$

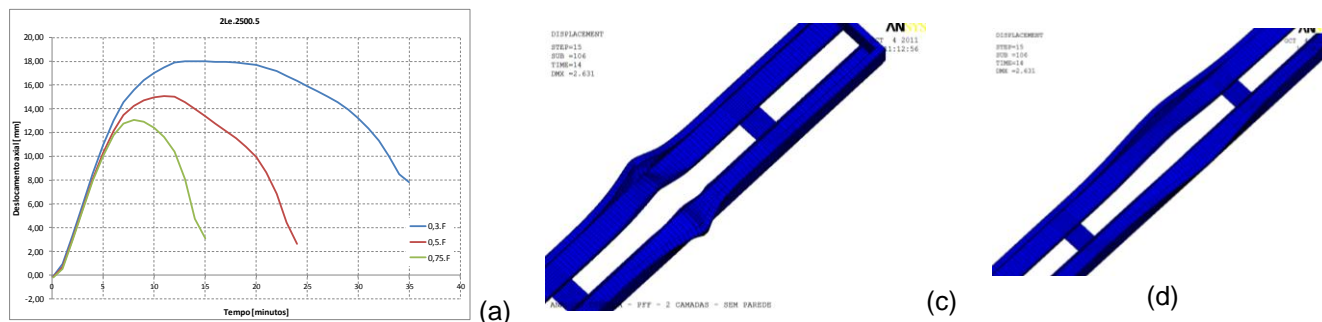


Figura 3 – (a) Curva *deslocamento axial x tempo* no colapso para o modelo 2L_e.2500.5 submetido a uma ação de para 0,75F; (b) Deformação próxima ao topo e (c) deformação entre a segunda e a terceira tala.

5 CONCLUSÕES PARCIAIS

A análise numérica inicial mostrou que, em situação de incêndio, em que ocorrem reduções na resistência ao escoamento e módulo de elasticidade do material, o modo de falha ocorreu sempre localmente entre duas presilhas, diferente do que foi obtido em temperatura ambiente.

Em relação à análise experimental, ainda há questões a definir. Como comentado anteriormente, a metodologia de ensaio a ser aplicada não permitirá extrair deslocamentos laterais durante a fase de aquecimento. A diferença entre os modos de falha observados em temperatura ambiente e em situação de incêndio, obtidos da análise numérica pode implicar na viabilidade de se considerar a ação térmica em regime estacionário, em vez de aplicá-la em regime transiente. Além disso, outros fatores a se atentar são comprimento efetivo do perfil e a distância entre as talas, que têm influência direta em tais modos de falha.

6 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Departamento de Engenharia de Estruturas – SET/EESC/USP.

7 REFERÊNCIAS

YU, W. W. (2000). **Cold-formed steel design**. Third edition. New York: John Wiley & Sons. 756 p.

LEITE JUNIOR, G. S. **Colunas mistas esbeltas de aço preenchidas com concreto de alta resistência em temperatura ambiente e em situação de incêndio**. 2009. 294 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo; Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 834-1: Fire-resistance tests – Elements of building construction – part 1: General requirements**. Genève, Switzerland, 1999.