

ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO PARCIALMENTE REVESTIDAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Fabio Martin Rocha¹ & Jorge Munaiar Neto²

Resumo

As vigas mistas de aço e concreto parcialmente revestidas são elementos estruturais que possuem relação direta com a segurança de estruturas em situação de incêndio, pois o revestimento de concreto aumenta o tempo resistente do elemento podendo dispensar outro tipo de proteção contra o fogo. O estudo dá continuidade aos trabalhos de Rocha (2012) e Ramos (2010) e apresenta um estudo numérico e experimental sobre vigas mistas parcialmente revestidas em situação de incêndio. A análise numérica está sendo realizada no pacote computacional ABAQUS com elementos sólidos. A análise experimental, atualmente em fase de planejamento, abordará a viga em condições mais próximas da sua utilização, considerando restrições axiais e rotacionais. Até o momento, o modelo numérico apresentou bons resultados na análise térmica e a análise não linear à temperatura ambiente encontra-se em fase de desenvolvimento.

Palavras-chave: Vigas Mistas Parcialmente Revestidas. Incêndio. Análise Termoestrutural. Análise Numérica. Análise Experimental.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PARTIALLY ENCASED STEEL AND CONCRETE COMPOSITE BEAMS IN FIRE

Abstract

The partially encased steel and concrete composite beams are structural elements which has a direct relation with the fire safety engineering, due to an increase of the fire resistance provided by the concrete encasement, without using other kind of protective coating. This research provides continuity to some studies as Rocha (2012) and Ramos (2010) and presents a numerical and experimental study on partially encased composite beams in fire. The numerical analysis is being performed using ABAQUS with solid elements. The experimental analysis, currently in planning stage, will address the beam in conditions closer to its real utilization, i.e. considering axial and rotational restrictions at the beams end. So far, the numeric model showed good results in the thermal analysis and the nonlinear analysis at room temperature is in development.

Keywords: Partially Encased Composite Beams. Fire. Thermostructural Analysis. Numerical Analysis. Experimental Analysis.

Linha de Pesquisa: Estruturas Metálicas.

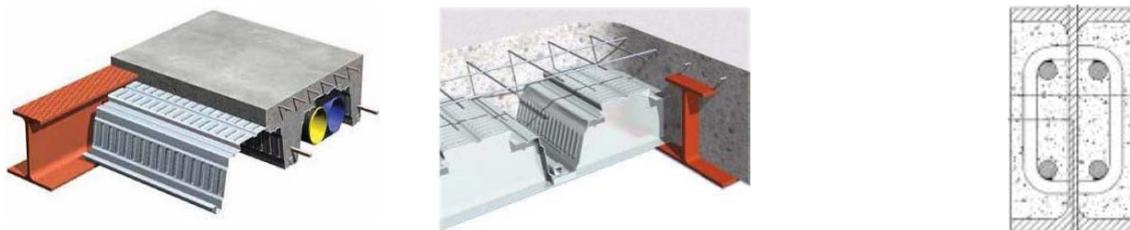
¹ Doutorando em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, fabio.rocha@usp.br

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



1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que antes de serem consideradas as vantagens estruturais da associação entre o aço e o concreto, o concreto era unicamente utilizado como meio de proteção do elemento de aço contra a corrosão e o fogo. Portanto, tendo em vista o crescente interesse na área de segurança de estruturas em situação de incêndio, são ressaltadas as vigas mistas parcialmente revestidas, muito comuns em sistemas de pisos mistos de baixa altura (*slim floor*), Figura 1a, sendo este um sistema construtivo que apresenta boa resistência ao fogo, devido ao concreto que reveste o perfil metálico. Tal sistema construtivo já foi objeto de estudo de trabalhos como Rocha (2012) e Ramos (2010).



a) Sistema de Pavimentos mistos de baixa altura, Ramos (2010)

b) viga mista de aço e concreto parcialmente revestida

Figura 1 – Tipologias dos Elementos Mistos de Interesse.

A partir dos aspectos anteriormente apresentados, esse trabalho apresenta a metodologia e os primeiros resultados obtidos para o desenvolvimento de um estudo numérico e experimental em vigas mistas parcialmente revestidas em situação de incêndio. Pretende-se analisar, a princípio, elementos metálicos com concreto somente entre as mesas do perfil, como mostrado na Figura 1b, procurando isolar os efeitos do revestimento de concreto que protege a alma do perfil.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para alcançar objetivos estabelecidos pode ser dividida basicamente em três etapas, sendo elas: (a) Análises numéricas preliminares; (b) Análise Experimental e (c) Calibração do modelo numérico e análises adicionais. A seguir são apresentadas as principais características de cada uma delas.

Análises numéricas preliminares: Nessa etapa as vigas mistas parcialmente revestidas serão modeladas com o auxílio do pacote computacional ABAQUS, visando o planejamento da análise experimental. O modelo numérico foi desenvolvido primeiramente considerando a geometria de vigas mistas de sistemas *slim floor* e validado por meio de trabalhos numéricos e experimentais como os apresentados em Ellobody (2012) e Ma & Mäkeläinen (2000).

Seguindo a estratégia de modelagem adotada por Ellobody (2012), as vigas foram construídas utilizando o elemento finito sólido C3D8 que possui interpolação linear para os deslocamentos com três graus de liberdade por nó. As regiões de interface entre o aço e concreto foram modeladas a partir da função *CONTACT PAIR* do ABAQUS, onde são unidas em pares as superfícies que estarão em contato. A interação entre o aço e o concreto foi modelada a partir de um modelo de fricção, com um coeficiente de 0,25. Ainda neste modelo é impedida a penetração entre as superfícies em contato.

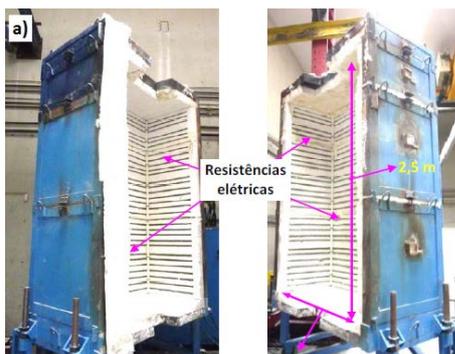
A análise térmica será realizada em função do incêndio padrão e das prescrições dos parâmetros térmicos presentes no EUROCODE 4 (2005), com exceção das emissividades dos materiais, pois o valor de 0,7 sugerido para o uso, independente do material em contato ao fogo, é muito a favor da segurança para os casos analisados. Os modelos constitutivos dos materiais foram adotados segundo o EUROCODE 4 (2005). Por fim, com o modelo validado, serão realizadas análises em vigas com seção transversal como mostrada na Figura 1b, com concreto somente entre as mesas

do perfil metálico, a fim de definir as principais características das análises experimentais e estimativas de tempo de colapso para os futuros ensaios que, por sua vez, irão constar de vigas simplesmente apoiadas, com e sem restrições axiais e rotacionais.

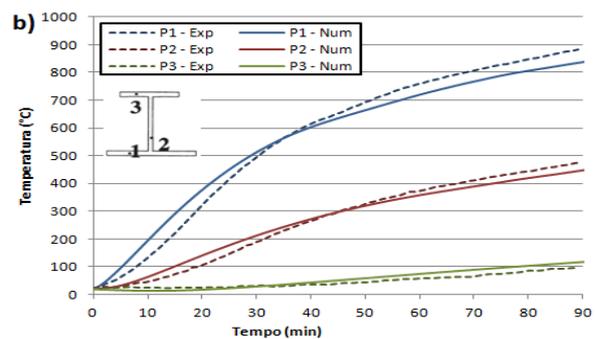
Análise Experimental: De acordo com as informações obtidas nas análises numéricas preliminares serão definidas as principais características das análises experimentais, que serão realizadas na Universidade de Coimbra em regime de cotutela sob orientação do Prof. João Paulo Correia Rodrigues. O programa experimental levará em conta situações que representem casos mais reais de utilização dos elementos estruturais e irá considerar a seção metálica com e sem restrições axiais e rotacionais, bem como também serão analisados outros parâmetros que se mostrem necessários após as análises numéricas preliminares.

Em cada um dos ensaios programados serão realizados ensaios de flexão de quatro pontos à temperatura ambiente, a fim de definir a carga de colapso do elemento estrutural. A partir desse resultado, o carregamento mecânico para o ensaio termoestrutural será da ordem de 40 a 60% deste valor. Em relação aos equipamentos de ensaio, a Universidade de Coimbra possui um forno elétrico modular, o qual pode ser usado em ensaios de pilares e também de vigas. Na Figura 2a, é mostrado o forno em sua posição vertical para os ensaios em pilares metálicos desenvolvidos em Almeida (2012).

Nos ensaios, além das temperaturas, também serão medidos os deslocamentos nos pontos críticos da viga, de forma que a parada do ensaio se dará com base em deslocamentos limites e taxas de deslocamento limite. Outros critérios de parada que levem em consideração da integridade do elemento e isolamento do forno deverão ser utilizados, visando à segurança da equipe.



a) Forno modular elétrico da Universidade de Coimbra, Almeida (2012)



b) Comparação entre as temperaturas obtidas nas análises numéricas e experimentais

Figura 2 – Forno Modular e Comparação entre os resultados numéricos e experimentais.

Calibração do modelo numérico e análises adicionais: A partir do modelo validado e calibrado pelos resultados da análise experimental, a complementação dos resultados será feita por meio de uma análise paramétrica, onde serão detectados e quantificados os parâmetros que mais influenciam no comportamento estrutural das vigas mistas parcialmente revestidas em situação de incêndio, no que diz respeito à capacidade resistente e tempo de resistência ao fogo. Dentre os parâmetros escolhidos inicialmente pode-se citar: Tipo de incêndio; dimensões da seção; vão da viga; fator de carga; resistência do concreto; posição das armaduras; grau de restrição axial e rotacional.

3 DESENVOLVIMENTO

No campo das análises numéricas, o trabalho se encontra na etapa das análises preliminares no ABAQUS, procurando reproduzir o modelo de vigas mistas pertencentes ao sistema *slim floor* apresentado em Ellobody (2012). A análise térmica já está devidamente validada, como será apresentado no item 4. O modelo estrutural também já está concluído, mas com resultados preliminares, onde ainda serão analisados outros métodos de resolução para melhorar a convergência

do modelo. Com essa etapa concluída, a análise termoestructural será feita por meio do acoplamento das análises subsequentes. Em relação a análise experimental, estão sendo executados outros ensaios no Departamento de Engenharia de Estruturas em vigas de madeira laminada colada. Estes ensaios tem servido principalmente para dar experiência na execução dos ensaios futuros da pesquisa.

4 RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

A análise térmica foi validada por meio da comparação das temperaturas em diversos pontos da seção transversal, utilizando o trabalho de Ma & Mäkeläinen (2000) como fonte de dados experimentais de referência. Na figura 2b é apresentada a comparação entre os resultados numéricos e experimentais em diferentes pontos do perfil metálico, onde pode ser constatada a boa eficiência do modelo numérico para representar as temperaturas nodais no modelo.

5 CONCLUSÕES PARCIAIS

A partir dos resultados obtidos até o momento, os modelos numéricos apresentaram boa concordância com os resultados de referência, indicando que a técnica de modelagem utilizada por Ellobody (2012) pode ser utilizada. Da mesma forma, o ABAQUS também se mostrou bastante adequada para a realização das futuras análises necessárias. Ao fim do trabalho será possível comparar se os códigos normativos vigentes são representativos para o caso de vigas mistas parcialmente revestidas em situação de incêndio, bem como sugerir possíveis modificações caso elas sejam necessárias.

6 AGRADECIMENTOS

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

7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S.J.C. **Análise do comportamento a temperaturas elevadas de elementos de aço formados a frio comprimidos considerando restrição ao alongamento térmico**. 2012. 318p; Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- ELLOBODY, E. Composite slim floor stainless steel beam construction exposed to different fires. **Engineering Structures**, n.36, p.1-13, 2012.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1994-1-1:2005 Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures. Part 1-2: General rules – Structural Fire Design**. Brussels, 2005.
- MA, Z.; MÄKELÄINEN, P. Behavior of composite slim floor structures in fire. **Journal of structural engineering**, n.126, p.830-837, 2000.
- RAMOS, A.L. **Análise numérica de pisos mistos aço-concreto de pequena altura**. 2010. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- ROCHA, F.M. **Modelos numéricos de vigas mistas de aço e concreto pertencentes a sistemas de pisos mistos de pequena altura em situação de incêndio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.