



Análise Termestrutural de Vigas de Aço com a Utilização da Ferramenta Computacional ABAQUS

Igor Charlles Siqueira Leite¹, Valdir Pignatta Silva²

**Universidade de São Paulo / Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica/ igorleite@usp.br
Universidade de São Paulo / Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica/ valpigss@usp.br**

Resumo

Sabe-se que o efeito do aumento de temperatura nas estruturas tem um efeito nocivo, prejudicando a capacidade resistente dos elementos estruturais e podendo levá-los ao colapso. Com isso, é de suma importância que o engenheiro projetista tenha conhecimento do comportamento de tais elementos a altas temperaturas. Face ao exposto, o presente trabalho tem como finalidade a realização de análise termestrutural de vigas de aço em situação de incêndio. A análise foi dividida em duas partes: térmica e estrutural acoplada. Na análise térmica, foi verificada a distribuição da temperatura nas vigas aquecidas nas quatro faces. Na análise acoplada foram realizados estudos de vigas com restrição axial e com restrição axial e rotacional. Foram escolhidas vigas compactas quanto à instabilidade local e consideradas travadas lateralmente. Com isso, as vigas foram carregadas com diferentes níveis de sua capacidade resistente, ou seja, a plastificação total da seção. Para realizar as análises foi utilizada a ferramenta computacional ABAQUS. As propriedades do material em altas temperaturas foram baseadas no código brasileiro de dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio, a ABNT NBR 14323:2013. Foi utilizada como condição de contorno a restrição acoplada do ABAQUS em conjunto com uma mola, que simula a rigidez axial e rotacional da viga. Para a validação das considerações utilizadas no ABAQUS, foi realizada uma comparação aos resultados encontrados por Liu *et al* (2002), Mourão (2004), Yin (2004) e Najafi (2014).

Palavras-chave:

Vigas de aço; análise numérica; incêndio; ABAQUS

Introdução

Os métodos para avaliação da resistência ao fogo em estruturas de aço estão entre os mais estudados e relatados na comunidade técnica e científica e, tais métodos são focados, em geral, nos métodos analíticos (LUKOMSKI *et al*, 2016). Os modelos de cálculo simplificados encontrados na ABNT NBR 14323 (2013) fornecem soluções simples para o cálculo de vigas em situação de incêndio com e sem proteção térmica. Os cálculos são realizados comparando-se a temperatura do elemento a um determinado tempo com a temperatura que leva o elemento ao colapso (temperatura crítica) ou ainda por cálculos que determinam a capacidade de carga da viga em altas temperaturas.

A filosofia para o dimensionamento de vigas é adaptada do dimensionamento em temperatura ambiente onde não são consideradas as grandes deformações. Em situação de incêndio, o dimensionamento pode ser diferente, de acordo com Yin e Wang (2004), principalmente porque grandes deformações são toleradas e a estrutura ainda manterá a sua estabilidade. Além disso, em situação de incêndio, as grandes deformações podem fazer com que a viga mude o seu comportamento, mudando da ação de momentos fletores para a ação da catenária.

Para estudar tais fatores, rotineiramente são realizados testes experimentais de resistência ao fogo para determinar a máxima resistência do elemento estrutural e seu comportamento. Aliado a tais ensaios, a modelagem via Método dos Elementos Finitos (MEF) é um dos melhores métodos para a determinação do comportamento de elementos estruturais em aço em situação de incêndio (AWATADE *et al*, 2016).

Face ao exposto, este trabalho tem como objetivo contribuir com os estudos sobre o comportamento de vigas em situação de incêndio e realizar a análise térmica e estrutural em vigas de aço sem proteção térmica em situação de incêndio. Será utilizada a curva de incêndio padrão dada pela ABNT NBR 14323 (2013) para o aquecimento uniforme dos elementos – nas quatro faces da viga. O perfil utilizado é do tipo VS soldados e com comprimentos variáveis. Todas as vigas analisadas são compactas, ou seja, não sofrem nenhum tipo de instabilidade: local ou lateral. Serão analisados dois tipos de condição de contorno distintos: vigas biapoiadas e viga biengastadas com vigas que possuem a sua vinculação representadas por molas que simulam as rigidezes axiais e rotacionais provocadas pela ligação entre tais elementos estruturais e os pilares. Será verificado o comportamento de tais vigas em altas temperaturas (deslocamentos verticais máximos e forças axiais resultantes nos apoios). Além disso, serão também estudados vãos distintos, comparando o comportamento desta variação. Por fim, serão realizadas comparações do modelo numérico com os cálculos analíticos predispostos no código brasileiro de dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio.

Descrição e calibração dos modelos utilizados

Foi realizada análise não linear via método dos elementos finitos com a utilização do software ABAQUS (2014) em duas etapas. A primeira etapa tratou da análise térmica, em que foi utilizado o elemento "DC3D8", que trata de um elemento de 8 nós para transferência de calor. A análise termomecânica foi realizada com o elemento "C3D8R", que trata de um elemento de 8 nós para realização de cálculos de tensão em elementos do tipo "Solid", em três dimensões. Os resultados da análise térmica são inseridos no campo "Predefined Fields". Com isso, o ABAQUS consegue, a partir dos campos de temperatura predefinidos, realizar a análise termomecânica. Afim de obter uma solução estável durante a análise em altas temperaturas, uma vez que em temperaturas próximas à temperatura crítica da viga, a análise não converge, foi utilizado um artifício visto em Yin (2004), em que é adotado um procedimento pseudo-dinâmico, com uma fração de energia dissipada de 1×10^{-10} . Na Figura 1 pode ser visto um dos modelos do trabalho com a malha definida com um tamanho de 8 cm.

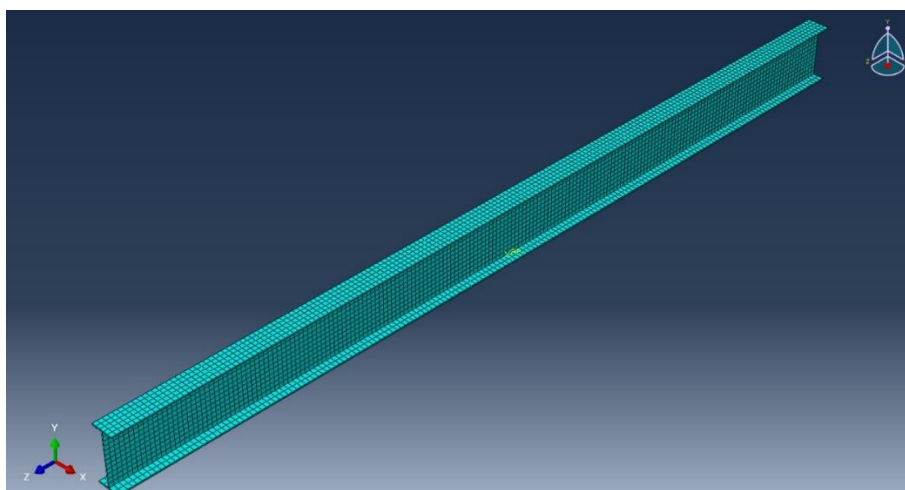


Figura 1 – Discretização da malha de elementos finitos de um dos modelos do trabalho

A não linearidade do material foi estabelecida pelo diagrama tensão-deformação indicado no Eurocode 3 Part 1-2. A não linearidade geométrica foi incorporada no modelo por meio da ativação da opção "NLGEOM" no ABAQUS. As propriedades térmicas foram supostas de acordo com o previsto no Anexo E da ABNT NBR 14323 (2013). O coeficiente de dilatação térmica foi tomado constante, igual a $0,000014/^{\circ}\text{C}$.

As condições de contorno foram determinadas com a adoção de uma placa rígida fixada nas extremidades das vigas. Essa placa é conectada à viga via "*coupling constraint*" do ABAQUS.

Foram realizadas ao total quatro modelagens: três modelagens para calibração dos modelos para vigas simplesmente apoiadas, biapoiadas (comparados com o trabalho de Mourão, 2044) e biengastadas (comparadas com o trabalho de Yin, 2004) e uma modelagem para calibração dos modelos de vigas com molas nas extremidades de ambas as vigas para simular a rigidez axial e rotacional de vigas em pilares (comparada com o trabalho de Najafi, 2014). Os resultados obtidos nas comparações com os autores supracitados foram satisfatórios, como pode ser visto na Figura 2, comparando os resultados deste artigo com o trabalho de Seputro (2002) e Yin (2004).

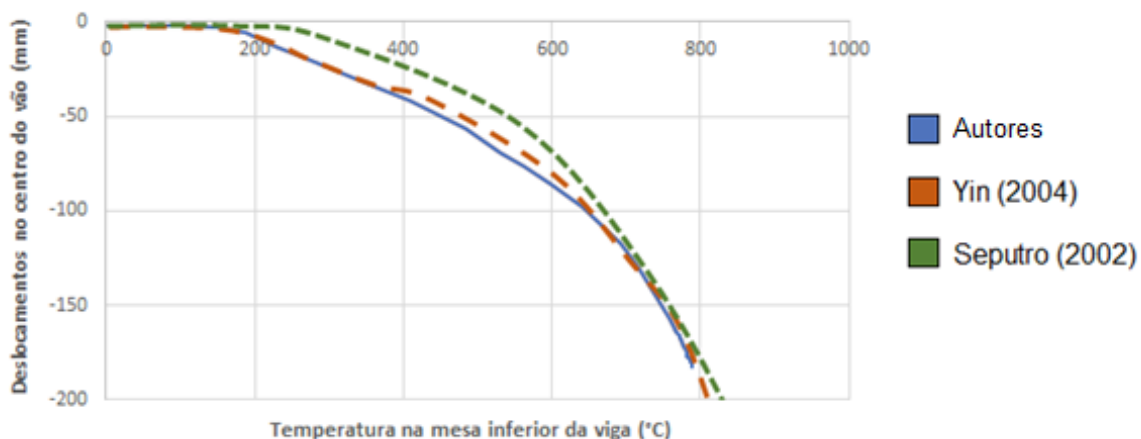


Figura 2 – Comparação de resultados deste artigo com o trabalho de Seputro (2002) e Yin (2004) para vigas biengastadas

Estudo Paramétrico

Após a validação dos modelos numéricos apresentados neste trabalho, serão realizadas análises paramétricas com perfil comercial brasileiro (VS 650 x 128) para três vãos distintos de vigas (5 m, 10 m e 15 m) e dois níveis de carregamento (0,4 e 0,7 do valor do momento resistente de cálculo em temperaturas ambientes, calculado conforme a ABNT NBR 8800:2008 para vigas biapoiadas) com cargas distribuídas, perfazendo um total de 20 modelos. Lembra-se que o perfil escolhido é compacto quanto à instabilidade local nas verificações em temperatura ambiente e é travado lateralmente para que não haja instabilidade lateral. O valor da rigidez axial a ser considerada neste trabalho é igual a 8 kN/mm, mesmo valor utilizado por Liu *et al* (2002). Este valor foi escolhido pois, além de já ter sido calibrado para este trabalho, este valor não apresentou influência da catenária – mostrado em Najafi (2014), que não está sendo estudada neste trabalho, uma vez que o principal objetivo é a comparação entre modelos com apoios de rigidez axial e rotacional infinitas (vigas biapoiadas e biengastadas) com modelos de rigidezes pré-definidas com a utilização de molas. A rigidez rotacional será de 14000 kNm/rad, a mesma estimada por Yin (2004). As vigas, então, foram analisadas com rigidez axial infinita e rigidez axial e rotacional infinita (biapoiada e biengastada, respectivamente) e com as rigidezes apresentadas anteriormente. A Tabela 1 apresenta todos os modelos analisados neste trabalho. A fim



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

de facilitar a apresentação dos resultados, a referência do perfil seguirá a seguinte descrição: tipo do perfil, vão da viga, nível de carga, restrição axial e restrição rotacional. Com isso, por exemplo, a viga de referência VS650-V5-NC4-KAI-KR0 apresenta uma viga VS650 x 128, com vão de 5 metros, nível de carregamento de 0,4 do carregamento máximo em temperatura ambiente, restrição axial infinita e restrição rotacional igual a zero. Caso precise representar os valores de rigidez axial e rotacional, será apresentado as siglas KA8 e KR14. O módulo de elasticidade utilizado nesta análise é igual a 205 GPa e o aço utilizado é o ASTM A36, com a resistência ao escoamento de 250 MPa. Foi considerada a curva de elevação de temperatura prevista na NBR 14323:2013, assim como todos os parâmetros para altas temperaturas.

Tabela 1 – Modelos estudados na análise paramétrica

Viga	Referência	Vão	Nível de Carregamento	Restrição Axial	Restrição Rotacional
1	VS650-V5-NC4-KAI-KR0	5 m	0,4	∞	0
2	VS650-V5-NC4-KAI-KRI	5 m	0,4	∞	∞
3	VS650-V5-NC4-KA8-KRI	5 m	0,4	8000 kN/mm	∞
4	VS650-V5-NC4-KA8-KR14	5 m	0,4	8000 kN/mm	14000 kNm/rad
5	VS650-V5-NC7-KAI-KR0	5 m	0,7	∞	0
6	VS650-V5-NC7-KAI-KRI	5 m	0,7	∞	∞
7	VS650-V5-NC7-KA8-KRI	5 m	0,7	8000 kN/mm	∞
8	VS650-V5-NC7-KA8-KR14	5 m	0,7	8000 kN/mm	14000 kNm/rad
9	VS650-V10-NC4-KAI-KR0	10 m	0,4	∞	0
10	VS650-V10-NC4-KAI-KRI	10 m	0,4	∞	∞
11	VS650-V10-NC4-KA8-KRI	10 m	0,4	8000 kN/mm	∞
12	VS650-V10-NC4-KA8-KR14	10 m	0,4	8000 kN/mm	14000 kNm/rad
17	VS650-V15-NC4-KAI-KR0	15 m	0,4	∞	0
18	VS650-V15-NC4-KAI-KRI	15 m	0,4	∞	∞
19	VS650-V15-NC4-KA8-KRI	15 m	0,4	8000 kN/mm	∞
20	VS650-V15-NC4-KA8-KR14	15 m	0,4	8000 kN/mm	14000 kNm/rad

Análise e discussão dos resultados

Influência do nível de carregamento

A primeira análise a ser realizada mostra a influência do nível de carregamento na viga. A Figura 3 mostra o resultado comparativo entre as vigas com vãos de 5 metros. Para facilitar a visualização, os resultados dos modelos com nível de carregamento igual a 0,7 são apresentados com marcadores quadrados. Verificou-se que, para a mudança do nível de carregamento, em relação aos deslocamentos, tal alteração não mudou o comportamento da viga. Exemplificando, comparando os deslocamentos das vigas VS650-V5-NC4-KAI-KR0 e VS650-V5-NC7-KAI-KR0, vê-se que, a única alteração trata-se no nível de deslocamento e, na conseqüente, diminuição da temperatura crítica para o modelo mais carregado. Ou seja, quanto menor for o valor do nível de carregamento, maior será a temperatura crítica do elemento estrutural, o que já era esperado.

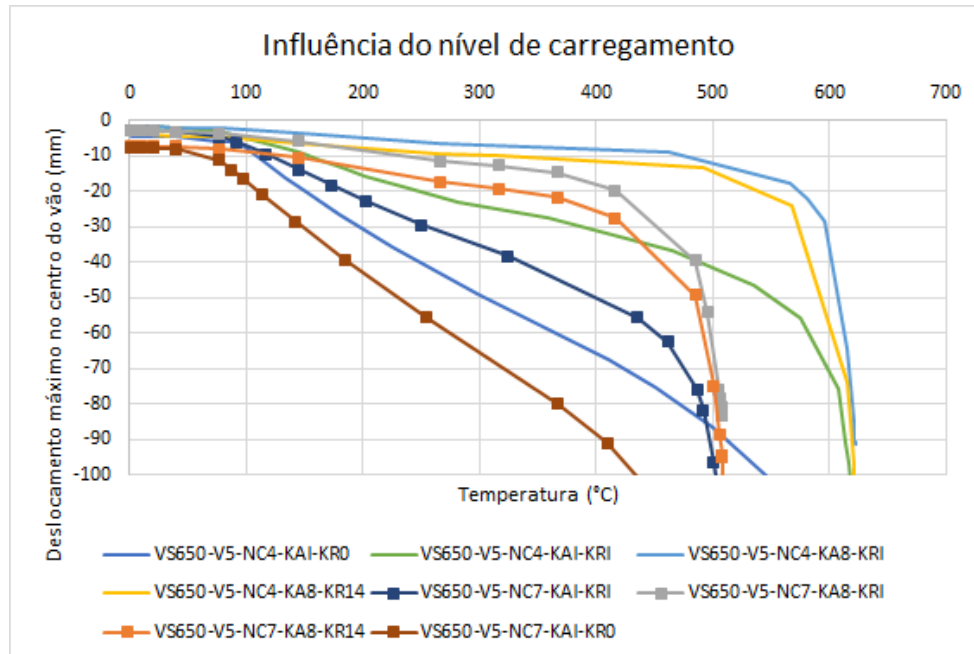


Figura 3 – Influência do nível de carregamento dos modelos estudados para deslocamentos máximos no centro do vão

Na Figura 4, pode-se verificar os resultados relacionados à força de reação axial nos apoios. Os resultados dos modelos que possuem rigidez infinita nos apoios (vigas biapoiadas e vigas biengastadas) apresentam mudanças significativas quando se muda o valor do nível de carregamento. Por exemplo, é possível verificar no modelo VS650-V5-NC4-KAI-KRI uma força máxima de compressão de, aproximadamente, 3600 kN. No modelo VS650-V5-NC7-KAI-KRI, que possui um nível de carregamento igual a 0,7 do carregamento máximo da viga, a força máxima apresentada é de aproximadamente 3400 kN, mostrando que, quanto menor o nível de carregamento, maior é a força axial resultante. Isso ocorre, pois, as vigas de aço sob altas temperaturas possuem as suas propriedades físicas degradadas devido aos efeitos térmicos e, quando submetidas a ações mais elevadas, tais vigas acabam desenvolvendo deformações verticais maiores, impedindo que as forças de reação nos apoios atinjam valores maiores. Contudo, verifica-se que nos modelos que possuem molas simulando a rigidez dos apoios, as forças axiais de reação no apoio são próximas a zero, quase como se fossem vigas simplesmente apoiadas. Apesar de apresentarem-se sobrepostas na Figura 16, os valores das forças apresentam um comportamento similar aos apresentados nas vigas biapoiadas e biengastadas, no que diz respeito a forças resultantes maiores quando as vigas são possuem menores carregamentos. O modelo VS650-V5-NC4-KA8-KR14 apresenta um valor máximo de força axial igual aproximadamente de 170 kN; enquanto no modelo VS650-V5-NC7-KA8-KR14, que possui um nível de carregamento maior, a força axial máxima é 130 kN, aproximadamente. O distinto comportamento das forças entre os modelos com rigidezes infinitas nos apoios e os modelos com molas simulando tais rigidezes será discutido a frente.

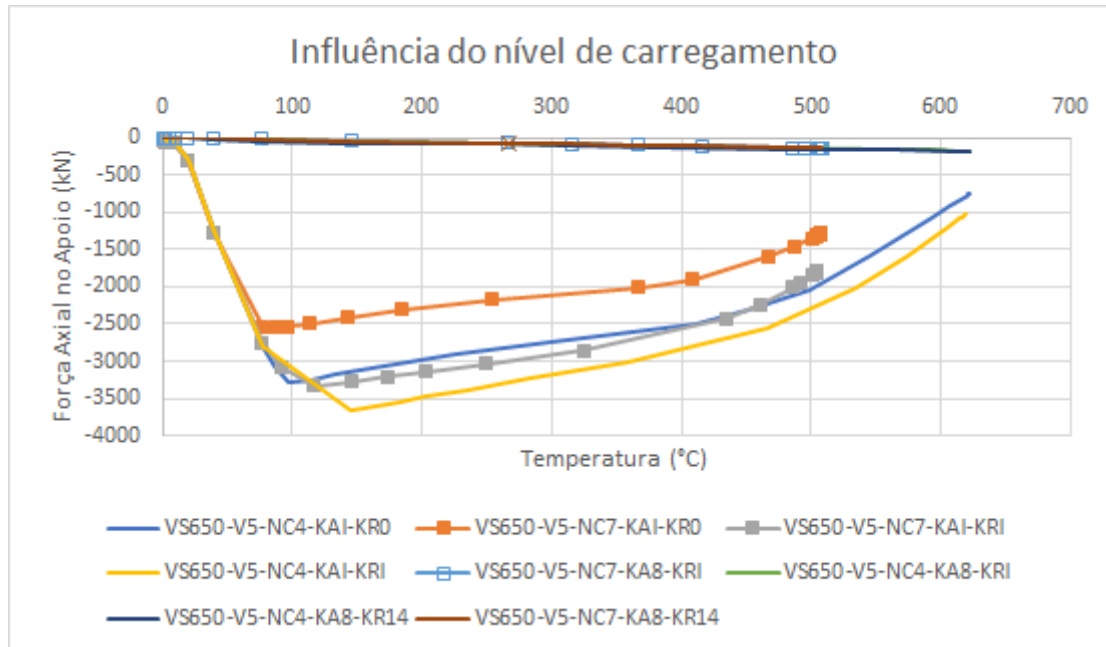


Figura 4 – Influência do nível de carregamento dos modelos estudados para força axial máxima nos apoios

Influência do vão da viga e das rigidezes axiais e rotacionais

A segunda parte do estudo paramétrico deste trabalho estudou a influência do vão da viga e das rigidezes dos apoios em relação às respostas quanto aos deslocamentos e forças axiais. Para facilitar a visualização e interpretação dos resultados, as respostas para a variação do vão das vigas para os modelos com apoios com rigidez infinita (KAI-KR0 e KAI-KRI) serão separadas dos apoios com mola (KA8-KRI e KA8-KR14) que simula as rigidezes. Na Figura 5, observa-se o comportamento das vigas com molas nos apoios. Como já foi visto na análise da influência dos carregamentos, as vigas com apoios de mola, com as rigidezes escolhida nesse trabalho, comportam-se como vigas simplesmente apoiadas, em que há pouca variação nos deslocamentos verticais até próximo a temperatura crítica, quando tais deslocamentos aumentam excessivamente. Verifica-se ainda que, quanto maior o vão da viga, maior a sua temperatura crítica, mostrando que a viga terá uma maior capacidade resistente. Isso se deve ao fato de a rigidez axial considerada ($K = 8 \text{ kN/mm}$) ter um valor relativamente baixo, comparada com as rigidezes axiais da viga. Isso significa dizer que, até temperaturas próximas às temperaturas críticas, as vigas apresentam um deslocamento horizontal com valores significativos e mais relevantes que os deslocamentos verticais, uma vez que o apoio não possui rigidez suficiente para restringir os deslocamentos horizontais das vigas – logo, quanto maior o vão da viga, maior será o deslocamento horizontal e, conseqüentemente, menores serão os deslocamentos verticais.

Ainda comparando os resultados verificados na Figura 5, vê-se que não houve diferenças significativas entre os resultados dos modelos KA8-KRI e KA8-KR14, em relação ao comportamento das vigas quanto aos deslocamentos verticais. Contudo, verificou-se que, quanto maior a restrição rotacional da viga, menores serão os desenvolvimentos de flechas e maior é a temperatura suportada pela viga.

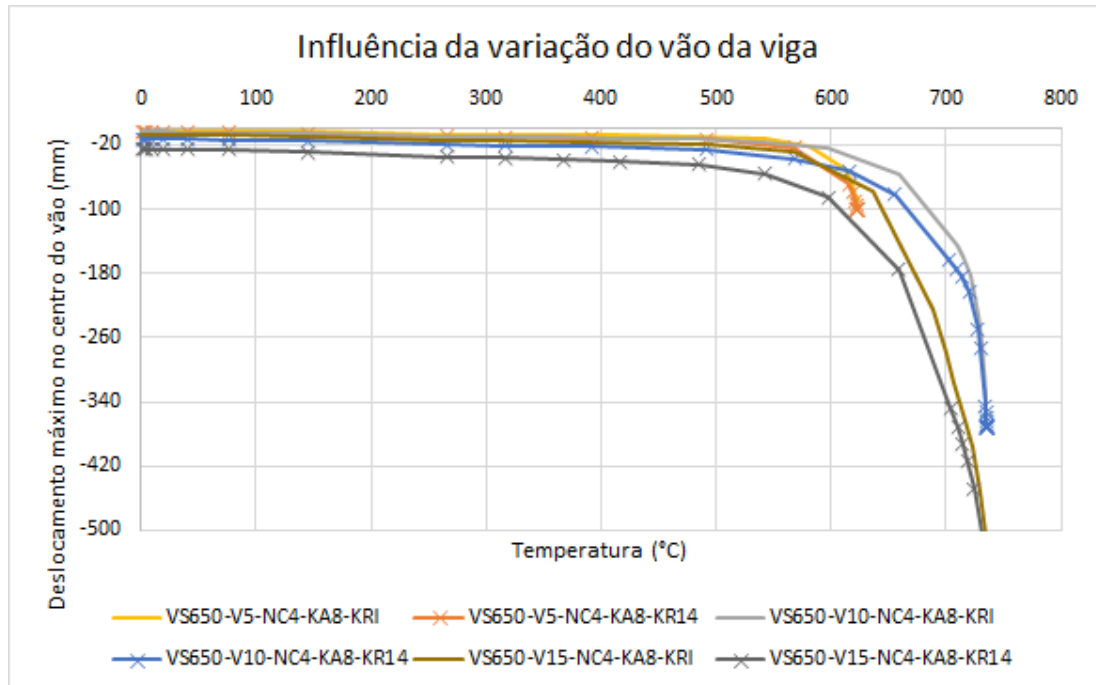


Figura 5 – Influência da variação dos vãos de modelos com apoios de mola estudados para deslocamentos máximos no centro do vão

A Figura 6 trata da comparação entre os resultados para os modelos KAI-KR0 e KAI-KRI. É possível observar que, conforme aumenta-se o vão da viga, aumentam-se os deslocamentos, e aumenta-se o valor da temperatura crítica, diferente do que foi visto em relação ao aumento de carregamento – uma vez que o aumento deste faz com que os valores das temperaturas críticas diminuam. Ressalta-se que, as flechas nos modelos KAI-KR0 e KAI-KRI são maiores que nos modelos KA8-KRI e KA8-KR14, por conta das restrições axiais e rotacionais. Em relação à temperatura crítica, pode ser visto um quadro resumo na Tabela 2, para o nível de carregamento igual a 0,4. Comparando os modelos KA8-KRI e KA8-KR14, verifica-se que não houve diferenças significativas nos valores da temperatura crítica (com a maior diferença para o vão de 15 metros, apresentando cerca de 2% de variação). Contudo, os modelos KAI-KR0 e KAI-KRI tiveram diferenças significativas nos valores da temperatura crítica, o que já era esperado, uma vez que vigas biengastadas possuem deslocamentos menores que as biapoiadas e, conseqüentemente maiores forças axiais horizontais nos apoios – comportamento já explicado nesse trabalho. Ressalta-se que, a diferença média entre o valor da temperatura crítica dos modelos KAI-KR0 para os modelos KA8-KRI e KA8-KR14 são de respectivamente, 0,3% e 0,7%, mostrando que o dimensionamento isolado de vigas biapoiadas está a favor da segurança, uma vez que a variação da rigidez axial muda apenas o comportamento da estrutura, devendo a interação com os demais elementos da estrutura ser investigado. Lembra-se que o valor da temperatura crítica da viga, calculada pelo código brasileiro, não se altera em função do vão da viga, uma vez que o momento de plastificação total depende apenas do módulo resistente plástico e da resistência ao escoamento do aço.

Em comparação ao código brasileiro, vê-se que para o vão de 5 metros, o valor estabelecido pela norma está contra a segurança em relação as análises realizadas neste trabalho, uma vez que a temperatura crítica encontrada nos modelos numéricos é menor que no método simplificado na norma brasileira. Os modelos analisados para os demais vãos estão a favor da segurança. É necessário, então, um estudo mais detalhado a fim de que a segurança da estrutura não seja comprometida. Contudo, acredita-se que a seção utilizada neste trabalho (VS650 x 128) dificilmente seria utilizada para um vão de 5 metros para carregamentos usuais de edificações, não sendo, portanto, tão significativo.

Na Figura 7 é possível verificar a influência da variação dos vãos para as forças de reação axiais em modelos com apoios de mola (KA8-KRI e KA8-KR14), onde observa-se que, no vão de 5 metros, a temperatura crítica é alcançada antes que as deformações verticais sejam suficientes para reduzir as forças de compressão nos apoios, a ponto de tais forças tenham componentes de tração. Verifica-se também que, quanto maior o vão, maiores as forças axiais nos apoios, uma vez que, quanto maior o vão, maior é a variação dos deslocamentos horizontais nos apoios por conta da dilatação devido ao incêndio. É possível, por fim, verificar nos modelos com o vão de 15 metros, que as forças decaem significativamente em uma temperatura próxima a crítica, se comparado ao vão de 10 metros, uma vez que, neste caso quanto maior o vão, maiores os deslocamentos verticais e, como consequência, as forças de compressão diminuem significativamente. Comparando os resultados da Figura 7 verifica-se que, quanto maior a rigidez axial, maior é a força de compressão e, à medida que as temperaturas chegam próximas a temperatura crítica e, as propriedades do material começam a se degradar, as forças de reação nos apoios reduzem consideravelmente. Por fim, ressalta-se que a mudança na rigidez rotacional não altera significativamente os valores das forças axiais de reação.

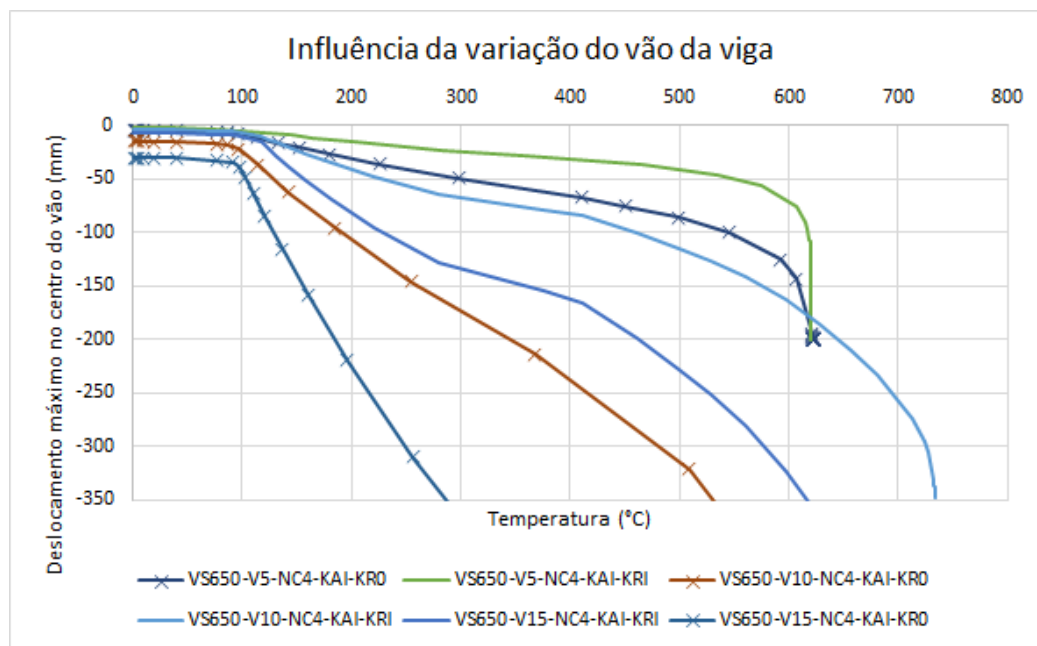


Figura 6 – Influência da variação dos vãos de modelos com apoios de rigidezes infinitas para deslocamentos máximos no centro do vão

Tabela 2 – Quadro resumo de temperaturas críticas para nível de carregamento igual a 0,4

Vão da Viga	Temperatura Crítica					
	KAI-KR0	KAI-KRI	KA8-KRI	KA8-KR14	NBR 14323 KAI-KR0	NBR 14323 KAI-KRI
5 metros	621,6	619,5	622,6	623	645	655
10 metros	733,5	689,6	735,2	735,2	645	655
15 metros	760	699,3	755,4	746,9	645	655

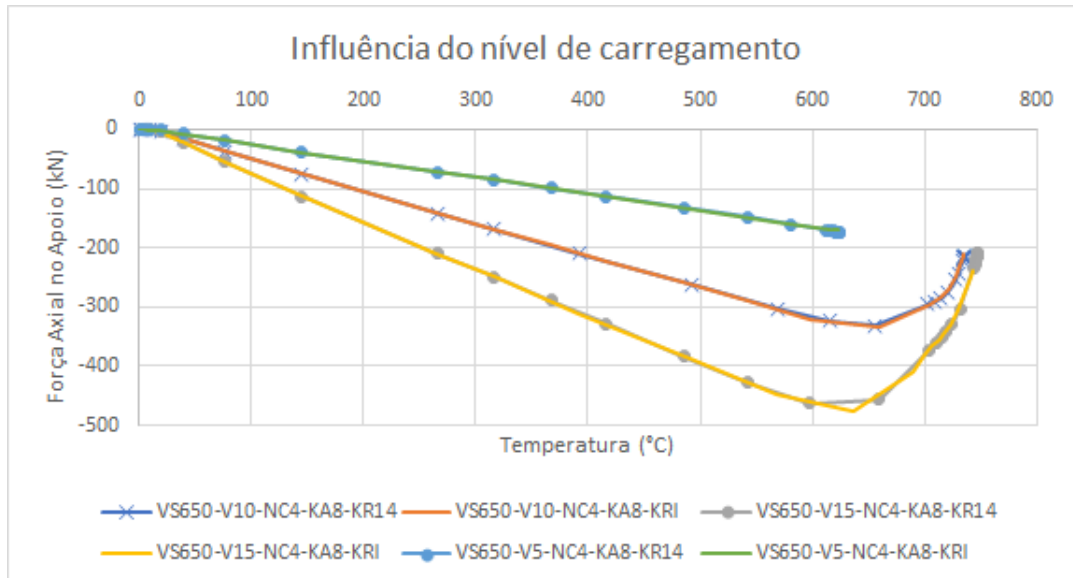


Figura 7 – Influência da variação dos vãos de modelos com apoios de mola estudados para força axial máxima nos apoios

Conclusões

Este artigo avaliou o comportamento de vigas de aço com restrições axiais e rotacionais em situação de incêndio. O estudo de caso constituiu de modelos criados no software ABAQUS (2014) que foram calibrados mediante análises comparativas com os modelos de Mourão (2004), Yin (2004) e Najafi (2014). As análises dos autores citados estudaram, respectivamente, o comportamento de vigas simplesmente apoiadas, biapoiadas e biengastadas e comportamento de vigas com apoios de mola em suas extremidades, para simular as rigidezes axiais e rotacionais que a ligação viga *versus* pilar possui na prática.

Os modelos utilizados neste artigo foram construídos levando em consideração a não linearidade física do material em altas temperaturas, conforme descrito na ANBT NBR 13323:2013. A não linearidade geométrica foi levada em consideração por configurações internas do próprio ABAQUS (2014). A análise paramétrica constituiu de 20 modelos ao total: dois níveis de carregamento, três vãos distintos e quatro condições de contorno distintas: restrição axial apenas, restrição axial e rotacional e restrição axial e rotacional considerando rigidezes preestabelecidas. Os resultados foram avaliados levando em consideração os deslocamentos verticais no centro vão (flechas) e as forças axiais nos apoios (reações de apoio). Foram discutidos os aspectos quanto à variação do nível de carregamento e à variação do vão e das rigidezes dos apoios.

Quanto à variação do nível de carregamento, verificou-se que, quanto maior o nível de carregamento, maiores serão os deslocamentos e menores serão as temperaturas críticas, como era esperado. Em relação às forças de reação axial, viu-se que, para vigas com rigidez infinita nos apoios (vigas biapoiadas e vigas biengastadas), quanto menor for o nível de carregamento da viga, maior será a reação de apoio. Isto se dá pelo fato de que, quanto menores os carregamentos nas vigas, menores os deslocamentos verticais e, conseqüentemente, as vigas dilatam mais rápido, aumentando as forças de compressão nos apoios. Comparando com os modelos que possuem molas simulando as rigidezes dos apoios, verificou-se que estes modelos têm valores baixos de reação de apoio. O resultado disso é explicado pela baixa rigidez axial adotada, fazendo com que as vigas se comportassem quase como vigas simplesmente apoiadas.

Nesse trabalho também foi analisada a influência do vão. Verificou-se que, para os modelos com variação na restrição axial e rotacional (rigidez simulada por mola), as forças axiais de reação (cuja resultante é de compressão) aumentaram com o crescimento do vão. Tanto para os modelos com restrição axial e rotacional



(apoios com rigidezes infinitas) quanto para os modelos com apoios de mola, quanto maior o aumento do vão, maiores os deslocamentos verticais e maior a temperatura crítica.

Quanto à influência da restrição axial e rotacional nos apoios, observou-se que os modelos com apoios de rigidez axial infinita tiveram forças de compressão maiores nos apoios se comparado aos modelos com a rigidez axial de mola ($K = 8 \text{ kN/mm}$). Nestes modelos, viu-se que, para vãos de cinco metros, as forças axiais de compressão nem chegaram a diminuir o seu valor, pois a viga alcançou a temperatura crítica antes que isso pudesse acontecer. Esse comportamento se deu pelo fato de que a viga possui uma rigidez consideravelmente maior que a considerada no apoio. Para os demais vãos, observou-se uma diminuição na força de compressão. Importante ressaltar que tais forças não alcançaram a resultante de tração, pois a viga chega à temperatura crítica antes. Em relação às temperaturas críticas, verificou-se que houve pouca diferença entre os modelos estudados, mostrando que, para apoios com rigidezes bem menor que as das vigas, o dimensionamento isolado de vigas biapoiadas (sem levar em consideração os pilares que apoiam as vigas), está a favor da segurança. Por fim, foi realizada uma comparação dos resultados para temperatura crítica dos modelos deste artigo com os resultados obtidos a partir dos procedimentos que são fornecidos pela ABNT NBR 14323:2013. Verificou-se que, os valores obtidos pelo código brasileiro estão a favor da segurança, exceto para o vão de 5 metros. Contudo, explicou-se que a seção transversal da viga utilizada para o estudo paramétrico dificilmente será utilizada para um vão de 5 metros em situações normais de projeto. Entretanto, tais conclusões carecem de estudos complementares e detalhados para a verificação de tal situação para que não existam erros no dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14323 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.
- AWATADE, M. M., PISE, C. P., JAGTAP, D. S., PAWAR, Y. P., KADAM, S. S., MOHITE, D. D. Finite Element Modeling for Effect of Fire on Steel Structure: A Review. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volume: 03 Issue: 05. May-2016
- LIU, T. C. H., FAHAD, M. K. DAVIES, J. M. Experimental investigation of behaviour of axially restrained steel beams in fire. Journal of Constructional Steel Research 58:1211-30. 2002.
- LUKOMSKI, M., TURKOWSKI, P., ROSZKOWSKI, P., PAPIS, B. Fire Resistance of Unprotected Steel Beams – Comparison between Fire Tests and Calculation Models. Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2016
- MOURÃO, H. R. Sobre o comportamento de vigas de aço com flambagens impedidas, em situação de incêndio. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
- NAJAFI, M. Behaviour of Axially Restrained Steel Beams with Web Openings at Elevated Temperatures. Doctor of Philosophy, University of Manchester, 2014.
- SEPUTRO, J. Effect of Support Conditions on Steel Beams Exposed of Fire. Research project report, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 2002.
- SILVA, V. P. Estruturas de Aço em Situação de Incêndio. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1997.
- SIMULIA. Abaqus user's manual version 6.14, 2014.
- YIN, Y. Z. Advanced behaviour of steel beams under fire conditions. Doctor of Philosophy, University of Manchester, 2004.
- YIN, Y. Z., WANG, Y. C. A numerical study of large deflection behaviour of restrained steel beams at elevated temperatures. Journal of Constructional Steel Research, Vol. 60, No. 7, pp. 1029. 2004. 1047, DOI: 10.1016/j.jcsr.2003.09.005.