REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS DE AÇO SUBMETIDAS À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA AMBIENTE

ANALYSIS OF STEEL STRUCTURES BEHAVIOR UNDER AMBIENT TEMPERATURE VARIATION

Thomás Schubert Albeny
Engenheiro Civil, M.Sc., Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
E-mail: thomas.albeny@aluno.ufop.edu.br

Geraldo Donizetti de Paula
Engenheiro Civil, D.Sc., Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
E-mail: geraldo.paula@ufop.edu.br

Flávio Teixeira de Souza
Engenheiro Civil, D.Sc., IFMG Campus Ouro Preto, Brasil
E-mail: flavio.souza@ifmg.edu.br

Resumo

Estruturas de aço são usuais em situações em que são necessários grandes vãos, como pontes e instalações industriais. O aço é um material com elevada condutibilidade térmica. Desta forma, estruturas expostas às intempéries ou à insolação direta podem sofrer considerável variação de temperatura associada às condições ambientais, que podem introduzir esforços nas estruturas. È função do projetista definir a consideração ou não destes esforços para fins de dimensionamento. Neste trabalho são avaliados os esforços axiais de compressão devidos à variação de temperatura ambiente em vigas de aço com diferentes seções, comprimentos e rigidez das ligações. Foi observada grande influência da rigidez das ligações na magnitude destes esforços, indicando que vigas com ligações rígidas podem demandar a consideração dos efeitos da temperatura em seu dimensionamento.

Palavras-chave: Estruturas de aço; Tensões térmicas; Temperatura ambiente.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

Abstract

Steel structures are usual for large spans buildings, as bridges and industrial sheds. Steel has a high thermal conductivity, so steel structures directly under weather conditions may suffer considerable temperature variation, and stresses associated to them. Engineers must define if these stesses consideration for design purposes is needed. This work analyzes compression stresses in beams under ambient temperature variation. Different sections, lenghts, temperature gradients and connections stiffnesses are evaluated. It was observed that connection stiffnesses have a remarkable influence in stresses magnitude. So, in beams with rigid connections, it may be needed the consideration of thermal stresses for design purposes.

Keywords: Steel structures, Thermal stresses, Ambient temperature.

1. Introdução

As estruturas de aço são amplamente utilizadas onde são necessários grandes vãos, como em instalações industriais, pontes e viadutos. Nestas situações, muitas vezes as estruturas estão sujeitas às intempéries, introduzindo aspectos em seu comportamento que se tornam relevantes nas fases de projeto, construção e manutenção.

Um aspecto fundamental é a corrosão (Gentil e Carvalho, 2022), que pode ser definida como a reversão natural do processo metalúrgico, onde o elemento ferro tende a se recombinar com o oxigênio formando o óxido de ferro, retornando ao estado encontrado na natureza. Este processo tende a reduzir a seção útil das estruturas e, consequentemente, sua resistência. Sendo um fenômeno bem estudado, geralmente adotam-se práticas nos projetos, na execução e, principalmente, na manutenção, que visam mitigar seus efeitos negativos.

Um aspecto também importante que muitas vezes é desconsiderado é o efeito da exposição da estrutura à insolação. É bem conhecido o fenômeno da dilatação, onde os materiais sofrem deformações quando sujeitos à variação da estrutura. Esta dilatação, caso a estrutura tenha apoios restringidos, leva ao surgimento de tensões na estrutura.

Normalmente, em estruturas de grande porte expostas às intempéries, são

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

deixadas as juntas de dilatação, espaços livres que permitem a dilatação livremente, o que evita o surgimento das tensões oriundas da ação dos apoios. Em estruturas de porte menor, geralmente estas tensões são desconsideradas, considerando a elevada resistência das estruturas de aço. Deve-se, no entanto, considerar que, devido à elevada condutibilidade térmica do aço, a variação de temperatura na superfície de estruturas de aço, em geral, é mais representativa do que em estruturas de concreto ou madeira.

A consideração dos efeitos da variação de temperatura nas estruturas de aço é usual quando se preveem situações de incêndio, uma vez que o rápido aquecimento leva à redução do Módulo de Elasticidade e à degradação das propriedades físicas e mecânicas do aço ao atingir temperaturas em torno de 1000 °C, o que torna necessária a adoção de medidas que retardem este fenômeno a fim de assegurar um tempo de fuga adequado (ABNT, 2013).

No que se refere à avaliação das estruturas de aço quando sujeitas à variação de temperatura ambiente, a norma NBR 8800 (ABNT, 2024), em seu item 4.8.3 recomenda que, na análise estrutural, seja considerado um valor de 60% da diferença entre as temperaturas médias máxima e mínima, com um mínimo de 10 °C. Indica ainda ser critério do responsável técnico pelo projeto a consideração ou a não-consideração dos esforços decorrentes da variação de temperatura da atmosfera e pela insolação direta na estrutura. Observa-se, contudo, que empresas de mineração e siderurgia, ao contratar a elaboração de projetos, usualmente incluem a exigência desta verificação em seus cadernos de encargos.

A avaliação dos esforços decorrentes da variação da temperatura ambiente pode ser feita de forma analítica. No entanto, este modelo adota apoios rígidos, o que pode levar à imprecisão nos resultados. Assim, técnicas computacionais, como o Método dos Elementos Finitos, podem ser utilizadas para a obtenção de resultados que considerem a semi-rigidez dos apoios, o que pode levar a resultados mais confiáveis.

Neste contexto, este trabalho tem o objetivo de utilizar o Método dos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

Elementos Finitos na avaliação de vigas de aço submetidas à variação da temperatura para orientar os projetistas de estruturas de aço sobre a necessidade da consideração dos efeitos da temperatura ambiente no comportamento destas estruturas . A partir da comparação com resultados experimentais de Nascimento (2017), o modelo é validado e são simuladas diferentes seções e comprimentos das vigas.

2. Revisão da Literatura

A rapidez na execução, a possibilidade de vencer grandes vãos e a redução das cargas nas fundações são fatores que viabilizam a adoção de estruturas de aço. No entanto, devido à elevada condutibilidade térmica do aço e à degradação de sua resistência e rigidez quando submetido a altas temperaturas, torna-se necessária sua cuidadosa avaliação nesta situação. No entanto, quando sujeito à variação de temperatura ambiente as principais ações na estrutura têm origem gravitacional e eólica (Silva e Pimenta, 1997; Soares, 2002; Vargas e Silva, 2003; Barros et al, 2017).

No entanto, Ribeiro e Rodrigues (2024) ressaltam que a variação de temperatura pode gerar esforços em estruturas hiperestáticas, sendo recomendável esta avaliação no seu dimensionamento. A norma NBR 8800 (ABNT, 2024) e Dorr (2014) trazem recomendações semelhantes.

A avaliação analítica dos esforços decorrentes da variação de temperatura pode ser imprecisa, uma vez que a consideração dos apoios como engastes desconsidera e semi-rigidez decorrente da movimentação relativa entre diferentes partes de uma estrutura, podendo gerar resultados superestimados. Uma alternativa é a realização de estudos experimentais para a avaliação dos efeitos da temperatura em estruturas de aço (Liu, Fahad e Davies, 2002). No entanto, estudos experimentais são onerosos por exigirem estrutura laboratorial, profissionais qualificados para a sua execução e os protótipos a serem testados, o que torna inviável sua realização em larga escala.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

Neste contexto, a utilização de técnicas computacionais, como o método dos elementos finitos, pode ser importante para a obtenção de resultados mais precisos (Bathe, 2006; Piloto, 2003; Dortas, Souza e Pinto, 2021). Os modelos numéricos são validados a partir de comparação com resultados experimentais, permitindo a avaliação paramétrica do comportamento da estrutura (Nascimento, 2017).

Neste trabalho será avaliado por meio do Método dos Elementos Finitos o comportamento de vigas de aço sujeitas à variação de temperatura. Os procedimentos numéricos serão validados a partir da comparação com resultados experimentais apresentados por Nascimento (2017) e vigas constituídas por perfis de fabricante nacional serão simuladas para a avaliação da necessidade da consideração da variação de temperatura ambiente no dimensionamento de vigas de aço.

3. Metodologia

Foram simuladas no programa Robot (Autodesk, 2025) vigas do tipo I. Dois grupos foram avaliados. O primeiro grupo, apresentado na Tabela 1, consistiu de perfis adotados para a validação do procedimento numérico frente à comparação com os resultados de Nascimento (2017).

Tabela 1 – Perfis adotados na validação do modelo.

Perfil	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	h (mm)	d' (mm)	A (cm^2)
W410x60	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2
W530x74	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1

Fonte: elaboração própria.

A partir da validação do modelo foram feitas as avaliações dos perfis apresentados na Tabela 2. Estas seções foram escolhidas devido à sua grande utilização em projetos, o que aproxima os resultados da pesquisa à prática corrente. A figura 1 apresenta a geometria criada para um dos modelos avaliados.

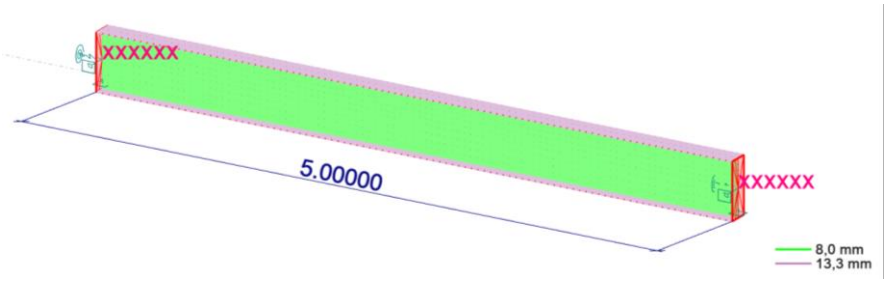
REMUNOM
ISSN 2178-6925
Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

Tabela 2 – perfis avaliados na pesquisa.

Perfil	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	h (mm)	d' (mm)	A (cm^2)
W150x22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29
W200x26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2
W460x60	455	153	8	13,3	428	404	76,2
HP310x79	299	306	11	11	277	245	100

Fonte: elaboração própria.

Figura 1. Geometria do perfil HP310x79 com 5 m de comprimento.



Fonte: elaboração própria.

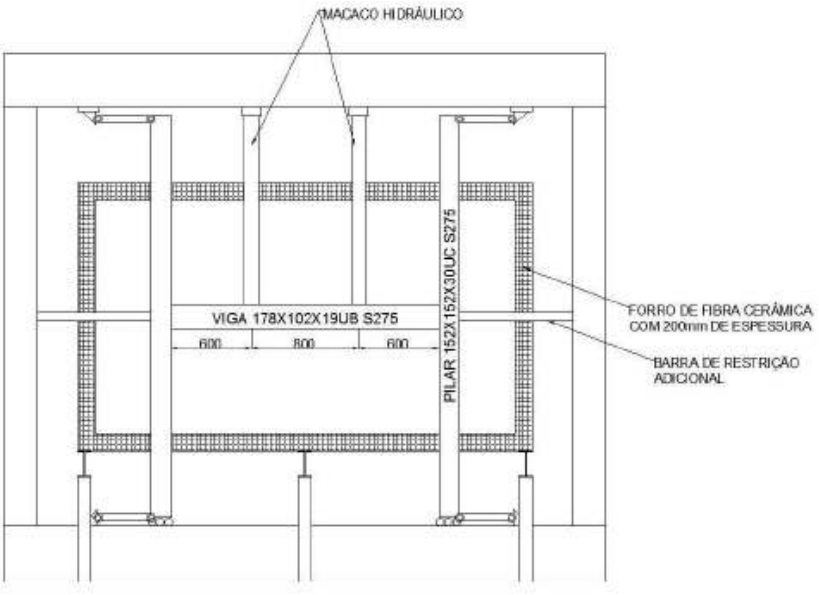
As condições de contorno são fundamentais para o funcionamento adequado de um modelo via Elementos Finitos. Nesta pesquisa isto se torna ainda mais relevante, pois o engastamento das extremidades das vigas pode levar a valores superestimados de esforços devido à variação de temperatura, tornando fundamental a adoção de condições que simulem a situação real.

Liu, Fahad e Davies (2002), a partir de análise experimental, apresentam valores de rigidez rotacional e translacional para este tipo de análise. Foi determinada a rigidez rotacional igual a 1400 kNm/rad . Os autores determinaram dois valores de rigidez translacional. O primeiro foi de 8 kN/mm,considerando a viga apoiada em pilares e a segunda igual a 62 kN/mm, em que os pilares recebem uma barra de restrição adicional, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Montagem experimental de Liu, Fahad e Davies (2002).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

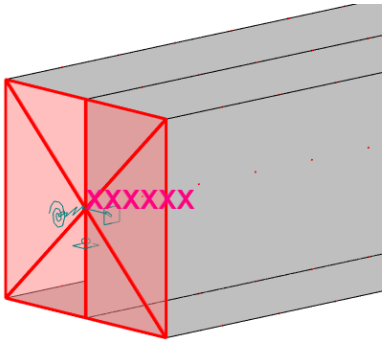
Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19



Fonte: Nascimento (2017).

No modelo numérico, a rigidez foi introduzida em ambas as extremidades por meio de molas. Estas molas são aplicadas em um nó mestre e seu efeito é reproduzido em toda a extremidade a partir da criação de uma região rígida a ele acoplada, como apresentado na Figura 3.

Figura 3 – molas aplicadas na região rígida na extremidade da viga.



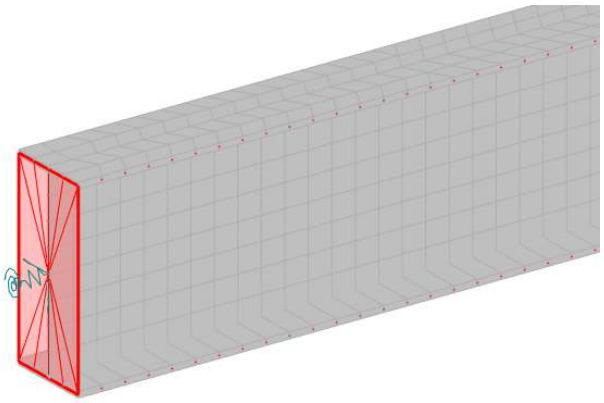
Fonte: elaboração própria.

Foi considerado em todas as análises o Aço ASTM A572 grau 50, com limite de escoamento f_y = 345 MPa; limite de ruptura f_u = 450 MPa; coeficiente de dilatação térmica α = 1,2x10^{-5}°C^{-1} e Módulo de Elasticidade E = 200 GPa. Foram adotadas malhas quadrangulares, com 50 mm de lado, como apresentado na Figura 4.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

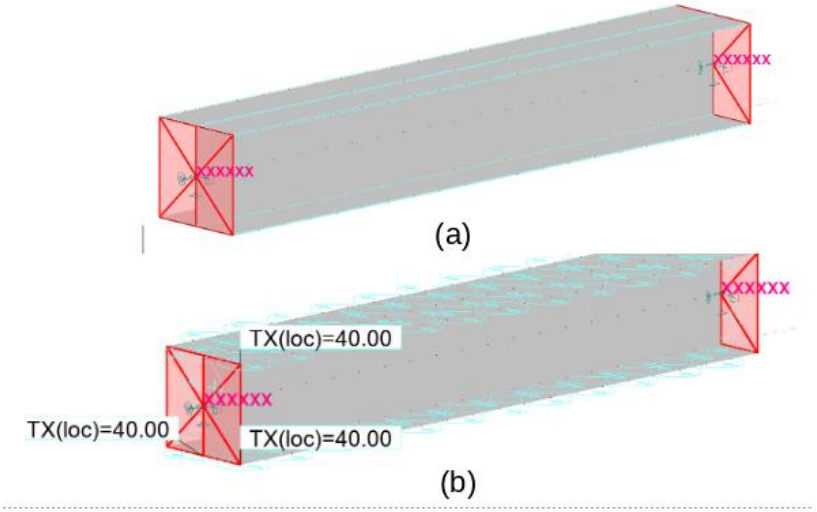
Figura 4. Malha de elementos finitos.



Fonte: elaboração própria.

Foram considerados dois tipos de ações atuantes nas vigas. A única ação gravitacional considerada foi o peso próprio. Foi considerada também a ação térmica, com a aplicação de uma variação uniforme de temperatura. A Figura 5 apresenta a aplicação destas ações nas vigas.

Figura 5 – Ações atuantes (a) Peso próprio; (b) variação de temperatura



Fonte: elaboração própria.

Foram simulados quatro perfis comerciais. Para cada um destes perfis foram considerados 5 comprimentos, 8 variações de temperatura e dois valores de rigidez translacional. A Tabela 3 traz um resumo das simulações realizadas. Foram

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

realizadas 320 simulações no total.

Tabela 3 – resumo das simulações realizadas.

Perfil	L (m)	ΔT (°C)	Rigidez
W150x22,5	1	20	8 kN/mm
W200x26,6	3	40	62 kN/mm
W460x60	5	50	
HP310x79	7	60	
	9	80	
		100	
		120	
		140	

Fonte: elaboração própria.

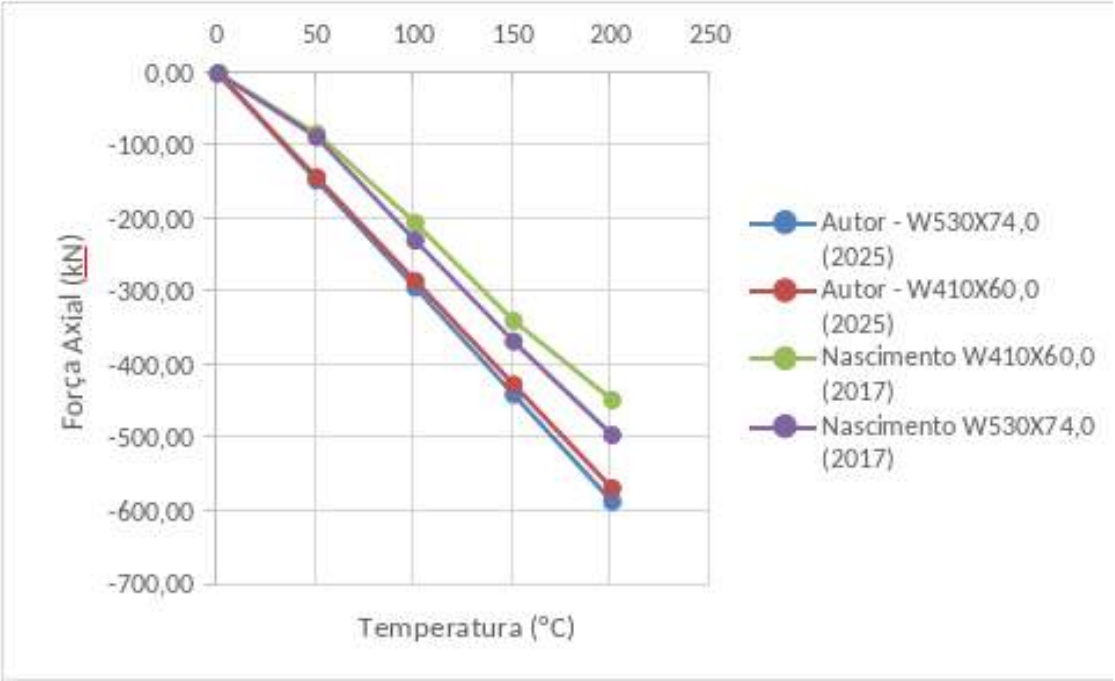
4. Resultados e Discussão

Para a validação do modelo numérico os resultados obtidos foram comparados aos apresentados por Nascimento (2017), conforme mostra a Figura 6. Observa-se que há uma boa correlação entre os resultados, o que indica a viabilidade da análise paramétrica com os perfis comerciais.

Figura 6 – Validação dos resultados numéricos.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19



Fonte: elaboração própria.

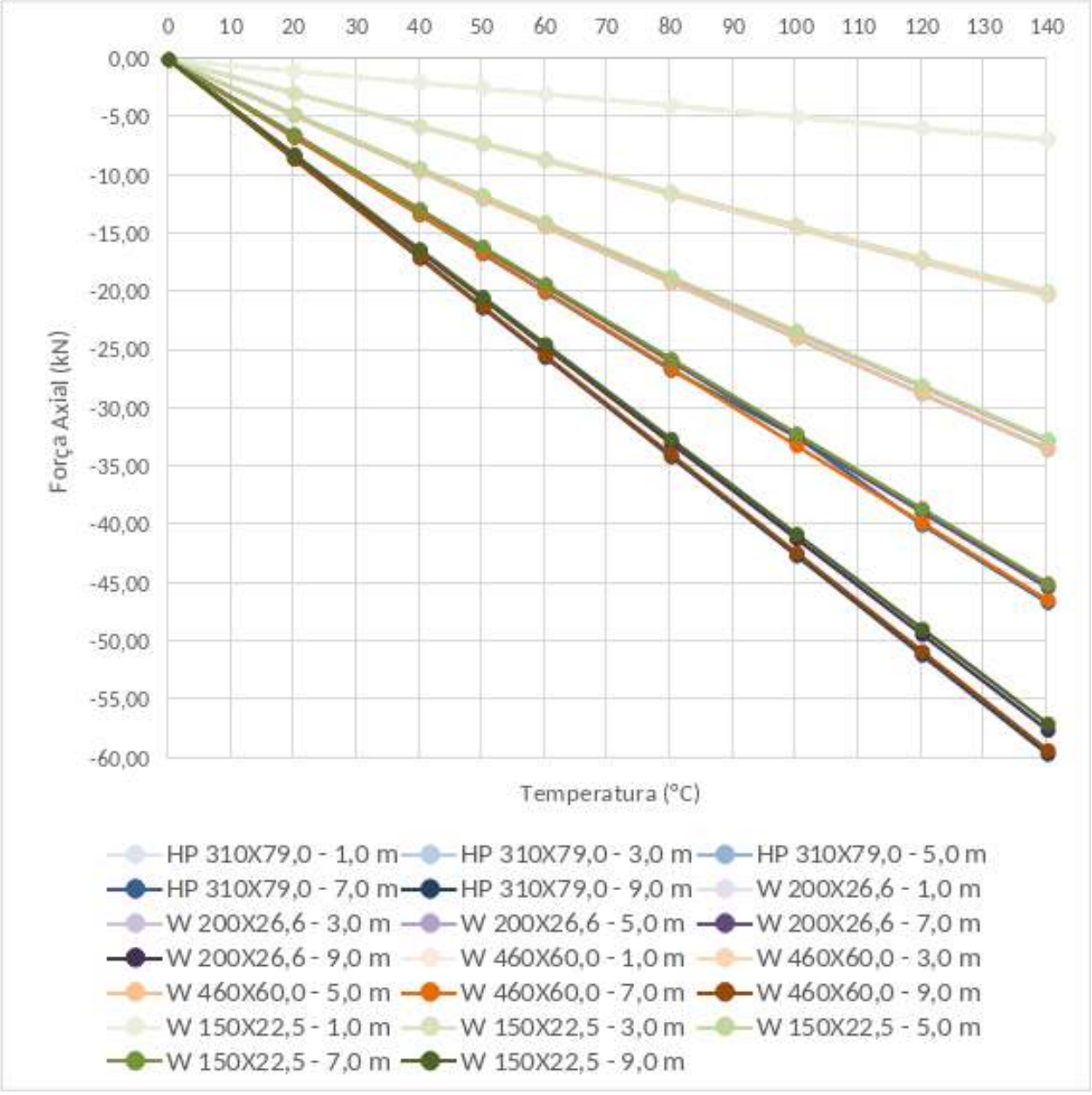
A Figura 7 apresenta o comportamento das seções comerciais. Observa-se que os resultados agrupam-se de acordo com o comprimento da viga e possuem comportamento linear no intervalo de temperatura entre 0 e 140°C. Este resultado pode ser explicado pelo baixo nível de tensões, apresentado na figura 8, o que indica que o material possui comportamento linear-elástico.

.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

Figura 7 – Forças axiais nos perfis comerciais.

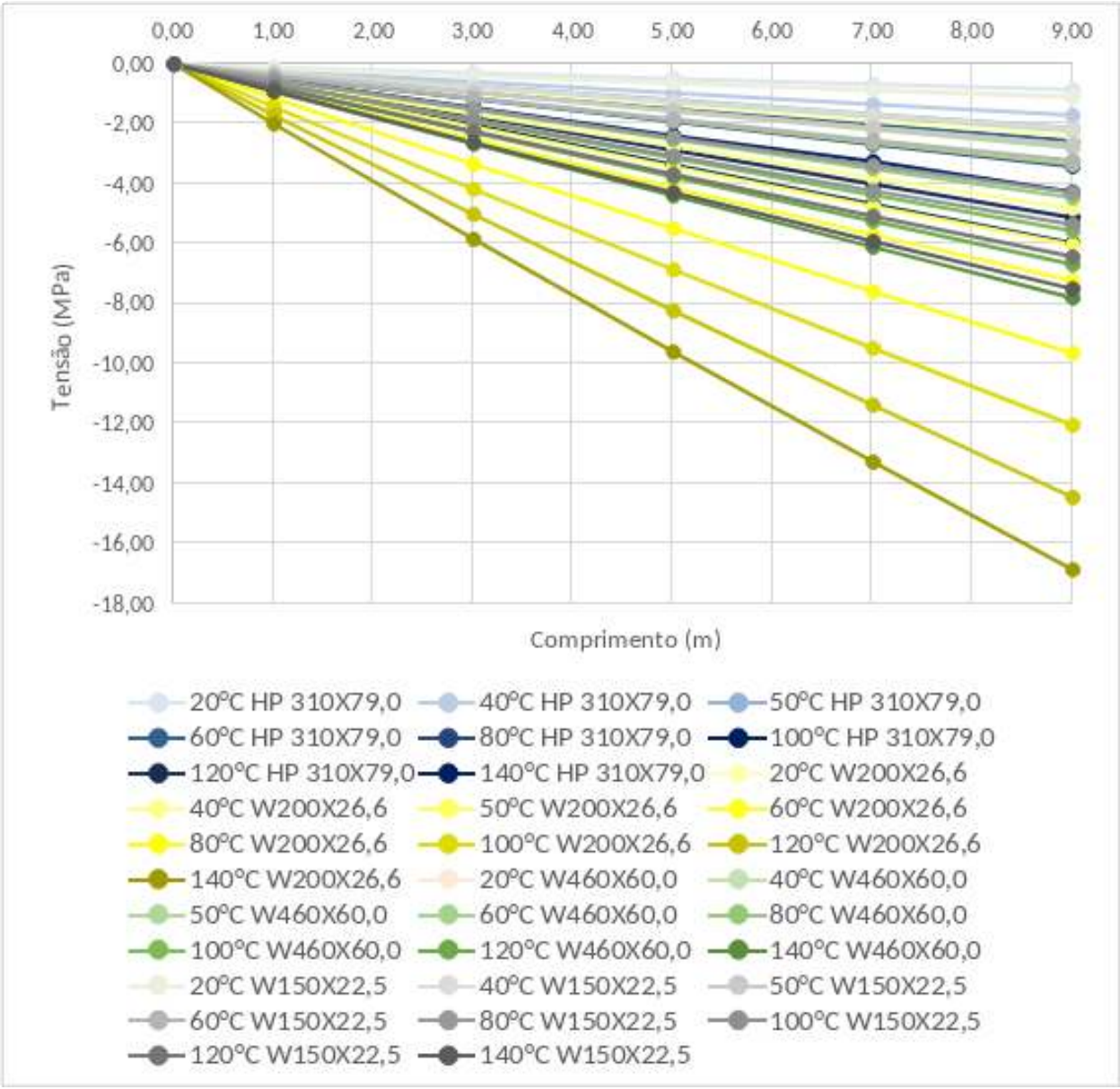


Fonte: elaboração própria.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

Figura 8 – Tensões atuantes nos perfis comerciais.



Fonte: elaboração própria.

Para a avaliação da influência da variação de temperatura na geração de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

esforços e tensões em vigas, os valores obtidos numericamente são comparados a resultados teóricos, obtidos pela Equação 1.

$$F = \alpha \, E \, A \, \Delta T \qquad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

F = Força;
α = Coeficiente de dilatação térmica;
E = Módulo de elasticidade;
A = Área da seção transversal do perfil utilizado;
ΔT = Variação de temperatura.

Para a comparação, foram considerados os resultados para vigas com 9 m de comprimento, uma vez que neste caso foram observados os maiores valores de esforços axiais e de tensões. A variação de temperatura considerada foi de 50° C, que abrange a variação de temperatura atmosférica. A Tabela 4 apresenta esta comparação.

Tabela 4 – Esforços normais em vigas de 9 m sujeitas à variação de temperatura de 50°C.

Perfil	Analítico (kN)	Numérico (kN)	
		K = 8 kN/mm	K = 62 kN/mm
W150x22,5	348	57	396,61
W200x26,6	410,4	57,55	315,2
W460x60	914,4	59,27	332,72
HP310x79	1200	59,6	415,25

Pode-se observar que a rigidez das ligações tem grande influência no nível de tensões que se desenvolvem nas vigas. Valores teóricos, considerando as extremidades engastadas, levam, em geral, a maiores esforços axiais de compressão do que quando se consideram extremidades semi-rígidas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

O valor da semi-rigidez também influencia significativamente o surgimento de esforços axiais de compressão devido à variação de temperatura ambiente. Em vigas com ligações com rigidez igual a 8 kN/mm, observa-se que, independentemente do perfil considerado, existe uma uniformidade nos valores de esforços normais, na ordem de 57 a 60 kN.

Quando são consideradas ligações com rigidez igual a 62 kN/mm surgem esforços de compressão com magnitudes maiores do que os observados no caso anterior. Ressalta-se que a variação não apresenta tendência linear.

Estas observações podem servir de indicação para projetistas na avaliação da necessidade da consideração dos esforços devido à variação de temperatura ambiente. Observa-se que estruturas com ligações rígidas são mais susceptíveis a esforços elevados, o que pode indicar a necessidade desta consideração nestes casos. Nestes casos, o uso de ferramentas numéricas como o Método dos Elementos Finitos pode ser importante para a obtenção de projetos seguros e econômicos.

5. Conclusão

O aço é um material com elevada condutibilidade térmica. Desta forma, estruturas expostas às intempéries e à insolação podem sofrer significativa variação térmica devida à variação da temperatura ambiente.

A norma NBR 8800 deixa a critério do projetista a consideração de esforços decorrentes desta variação de temperatura ambiente no comportamento das estruturas. Este trabalho avaliou numericamente o comportamento de vigas de aço sujeitas a estas condições. Foram avaliados diferentes comprimentos, seções, temperaturas e rigidez das ligações.

Foi observado que a rigidez das ligações possui grande influência no nível de esforços axiais de compressão atuantes nas vigas. Desta forma, estruturas com ligações com elevada rigidez podem demandar a consideração dos esforços decorrentes da variação de temperatura ambiente para fins de análise e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

dimensionamento de estruturas de aço.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, à Universidade Federal de Ouro Preto e ao IFMG Campus Ouro Preto pelo suporte a esta pesquisa.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.** Rio de janeiro, 2024.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14323: **Dimensionamento de Estruturas de aço em situações de incêndio.** Rio de janeiro 2013.

AUTODESK. **Autodesk Robot Structural Analysis Professional.** Versão 2025. Autodesk, 2025.

BARROS, R.C.; PIRES, D.; LEMES, I. J. M.; ROCHA, P. A. S.; SILVEIRA, R. A. M. **Análise Termomecânica de Estruturas de Aço Via Acoplamento MCD / MCR**. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia, 2(2), 237-253, 2017. https://doi.org/10.26512/ripe.v2i2.20756. Disponível em: https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/20756

BATHE, K. **Finite element procedures.** 1ª edição.United States of America. Klaus-Jurgen Bathe. 2006.

DORR, J. B. (2010). **Modelos numéricos de pilares de aço em situação de incêndio considerando a influência da restrição axial** (Dissertação

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

(Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-23122010-090847

DORTAS, I. S.; SOUZA, I. A. S.; PINTO, S. M. M. **Análise Comparativa do Dimensionamento Estrutural por Meio de um Software Computacional e Cálculo Manual.** Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, v. 6, n. 3, p. 83-83, 2021. Disponível em: https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/8096

GENTIL, V.; CARVALHO, L. J. **Corrosão**. 7. ed. São Paulo: LTC, 2022.

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, v. 58, n. 9, p. 1211-1230, 2002. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X01000621

PILOTO, P. A. G. **A Utilização de Métodos Avançados de Cálculo na avaliação do comportamento Termomecânico de Estruturas Metálicas em Situação de Incêndio.** In: 3º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 2003, Maputo. Anais...Maputo: Joaquim Silva Gomes, Carlos Conceição António, Clito Félix Afonso, António Santos Matos, 2003. P. 413 – 423. Disponível em: https://bibliotecadigital.ipb.pt/entities/publication/52663fc9-6995-4efd-8121-b99e622b94eb

NASCIMENTO, J. S. **Comportamento de vigas de aço em incêndio com deformação térmica restringida.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. Disponível em: https://dspace4.ufes.br/items/23492173-db39-4a74-a9d0-c5a89943342f/full

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 30/10/2025 - **Accepted:** 18/11/2025
Vol: 20.02
DOI: 10.61164/97wxv553
Pages: 1-19

RIBEIRO, D. M.; RODRIGUES, G. J. de O. **Os efeitos da amplitude térmica do ambiente em estruturas de aço para edificações: um estudo de caso.** Cuadernos de Educación y Desarrollo, [S. l.], v. 16, n. 5, p. e4256, 2024. DOI: 10.55905/cuadv16n5-076. Disponível em: https://ojs.europubpublications.com/ojs/index.php/ced/article/view/4256. Acesso em: 10 jul. 2024.

SILVA, V. P. **Estruturas de aço em situações de incêndio.** 1997. 170 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-03072024-152031/publico/ValdirPignattaeSilvaTese.pdf

SOARES, C. H. **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio em situação de incêndio.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/items/e8d1d61c-1c0f-4be8-8057-4bafe459eadb

VARGAS, M. R., SILVA, V. P. **Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço**. Rio de Janeiro: CBCA, 2003. Disponível em: https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/biblioteca/resistencia-ao-fogo-das-estruturas-de-aco