



## Análise da flambagem lateral por torção de vigas constituídas de perfis

I

### Analysis of lateral buckling due to torsion of beams made of I-shaped profiles

Larissa da Rosa Sufiatti<sup>1</sup>, Gabriel Kuiava Glufke<sup>2</sup>, Diego Rizzotto Rossetto<sup>3</sup>

#### RESUMO

No dimensionamento de estruturas considera-se diversos fatores, dentre eles estão as cargas que a estrutura irá suportar, propriedades mecânicas, fator de segurança, flambagem, flexão, torção, restrições de projeto. Essas estruturas podem ser de diversas formas e seções. Para a análise da flexo torção são realizados cálculos conforme a literatura de Galambos, levando em consideração a rigidez da seção transversal da viga, que é uma medida da capacidade da seção de resistir a momentos de torção e forças axiais, que podem levar a falhas por fadiga ou flambagem lateral. A metodologia de Galambos considera a carga aplicada na alma da viga. Na prática a carga é aplicada na mesa, alterando o valor do fator de modificação, tornando a situação real diferente da situação analisada durante o dimensionamento. Este trabalho tem como objetivo a comparação teórica entre os métodos de cálculo citados na literatura, que consideram a análise na alma, com a análise realizada na mesa, para uma viga metálica e de seção I. Para isso será realizada a determinação do fator analiticamente e utilizando o método de elementos finitos, com o software LTbeam.

**PALAVRAS-CHAVE:** Flambagem Lateral-Torcional, Perfil I, Estrutura Metálica, Fator Equivalente de Momento Uniforme

#### ABSTRACT

In the design of structures, various factors are considered, including the loads that the structure will support, mechanical properties, safety factor, buckling, bending, torsion, and design constraints. These structures can have different shapes and cross-sections. For the flexural-torsional analysis, calculations are performed following Galambos' literature, considering the stiffness of the beam's cross-sectional area, which is a measure of the section's ability to resist torsional moments and axial forces that can lead to fatigue or lateral buckling failures. Galambos' methodology considers the load applied to the web of the beam. However, in practice, the load is applied to the flange, altering the value of the modification factor and making the real situation different from the one analyzed during the design. This study aims to theoretically compare the calculation methods mentioned in the literature, which consider the analysis at the web, with the analysis performed at the flange for a metallic I-section beam. For this purpose, the modification factor will be determined analytically and using the finite element method with LTbeam software.

**KEYWORDS:** Lateral – Torsional Buckling, I – Section, Steel Structure, Equivalent Uniform Moment Factor.

## INTRODUÇÃO

Segundo Galambos (1998), a flambagem lateral-torcional é um estado limite de utilidade estrutural, onde a deformação de uma viga muda de deflexão predominantemente no plano para uma combinação de deflexão lateral e torção enquanto

---

Larissa da Rosa Sufiatti<sup>1</sup>. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: larissasufiatti@alunos.utfpr.edu.br.

Gabriel Kuiava Glufke<sup>2</sup>. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: gabrielglufke@alunos.utfpr.edu.br.

Diego Rizzotto Rossetto<sup>3</sup>. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: diegorossetto@utfpr.edu.br.



a capacidade de carga permanece primeiro constante, antes de cair devido a grandes deflexões e escoamento.

A análise e o dimensionamento da flambagem lateral – torcional exigem considerações dos diferentes modos de falha, como: tipo e a posição das cargas, tipos de seções transversais, entre outros. Para a prevenção da mesma, são aplicadas técnicas de projeto adequadas, como o uso de seções transversais com maior rigidez lateral e à torção, vigas com paredes mais espessas, pode também ser evitada por contraventamentos laterais adequadamente espaçados e projetados. (GALAMBOS, 1998).

Dentre os cálculos realizados para a análise de flambagem lateral-torcional, existe o fator de momento uniforme equivalente ou também conhecido como fator de modificação, onde Galambos o utiliza para ajustar a resistência da seção transversal da viga. A literatura considera para o cálculo, a carga aplicada na alma da seção transversal, porém na prática a carga é aplicada na mesa, o que altera o valor do fator de modificação em função do momento, tornando a situação real diferente da situação analisada durante o dimensionamento.

As vigas I, também conhecidas como vigas de alma dupla, são muito utilizadas na construção de estruturas no geral, são projetadas para resistir a diversos tipos de cargas aplicadas. Quando submetida a uma carga de compressão axial, sua estabilidade pode ser submetida e sofrer deslocamento, ocasionando falhas na estrutura.

Este trabalho busca analisar a flambagem lateral-torcional em vigas I, analisando a literatura e fazendo a comparação de resultados com cálculos analíticos e programas de elementos finitos. O programa utilizado foi o LTBeam.

## METODOLOGIA

Para a análise comparativa foi usada a metodologia de Galambos, utilizando a seção transversal W24x55 de aço com comprimento de 15 m. As propriedades mecânicas da seção transversal são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Propriedades da seção transversal W24x55**

Propriedades da Viga	
Módulo de Elasticidade (E)	200 GPa
Módulo de Elasticidade Transversal (G)	77 GPa
Momento de Inércia (I)	$12,1 \times 10^{12} \text{ mm}^4$
Momento de Inércia Polar (J)	$0,49 \times 10^6 \text{ mm}^4$
Constante de empenamento da seção transversal (Cw)	$1,015 \times 10^{12} \text{ mm}^6$

Fonte: Galambos, 1998.

Segundo Galambos, é possível identificar as constantes A e B utilizadas no cálculo do fator de modificação. Considera-se uma carga distribuída na viga, logo então obtêm-se:  $A = 1,12$  e  $B = 1 - 0,154W^2 + 0,535W$ .

$$C_b = AB^{2y/h} \quad (1)$$

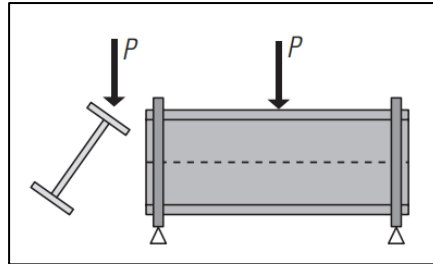
Os valores de y e h, são a distância da altura média até o ponto de aplicação da carga e a profundidade da viga, respectivamente. Para cada ponto de aplicação de carga

na viga,  $y$  possui uma variação, fazendo com que os valores de  $C_b$  variem conseqüentemente.

Para a carga aplicada acima da semialtura é ilustrada na Figura 1 e  $y$  se dá por:

$$y = -\frac{h}{2} \quad (2)$$

Figura 1 – Carga acima da semialtura

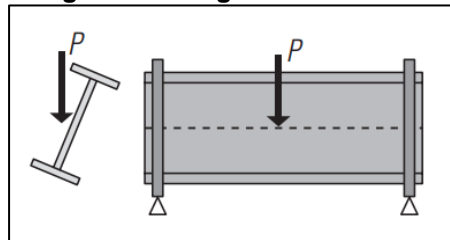


Fonte: Facury, 2016.

A carga aplicada na semialtura é ilustrada na Figura 2 e  $y$  assume-se:

$$y = 0 \quad (3)$$

Figura 2 – Carga na semialtura

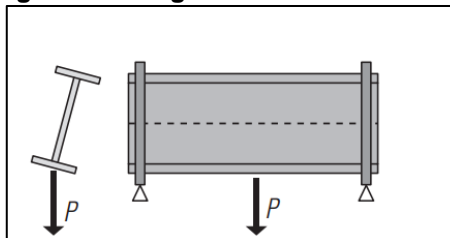


Fonte: Facury, 2016.

E por fim, carga aplicada abaixo da semialtura é ilustrada na Figura 3 e  $y$  se dá por:

$$y = \frac{h}{2} \quad (4)$$

Figura 3 – Carga abaixo da semialtura



Fonte: Facury, 2016.

Para a análise do exemplo citado acima, foi realizado todos os cálculos passo a passo. Iniciando os cálculos pelo momento crítico, onde se dá pela equação:

$$M_{0cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ} \sqrt{1 + W^2} \quad (5)$$



Onde  $W$  é dado por:

$$W = \frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{EC_w}{GJ}} \quad (6)$$

Retomando então para fórmula do momento crítico. Como citado acima, para cada posição que é considerado a aplicação da carga, os valores do fator de modificação mudam. Obtendo assim valor de  $A = 1,12$  e  $B$  foi definido pela equação:

$$B = 1 - 0,154W^2 + 0,535W \quad (7)$$

Foi iniciada a análise pela posição acima da semialtura, Galambos diz que neste caso, considera-se a Eq. (2). Podendo assim encontrar o momento máximo para esta aplicação com a seguinte equação:

$$M_{cr} = C_b M_{0_{cr}} \quad (8)$$

A carga que será aplicada na viga, se dá pela equação:

$$w_{cr} = 8 \frac{M_{cr}}{L^2} \quad (9)$$

Para a análise na semialtura, Galambos diz que neste caso, considera-se a Eq. (3). Logo temos que o fator de modificação para a carga aplicada neste ponto resulta em:

$$C_b = AB^0 \quad (10)$$

Podendo assim encontrar o momento máximo e a carga que será aplicada na viga neste caso com as Eq. (8) e Eq. (9).

No cálculo da análise pela carga abaixo da semialtura, Galambos diz que neste caso, considera-se a Eq. (4). Com isso, o fator de modificação para a carga aplicada abaixo da semialtura resulta na Eq. (1). Podendo assim encontrar o momento máximo e a carga que será aplicada na viga neste caso com as Eq. (8) e Eq. (9).

Para a análise comparativa realizada no programa LTBeam, foi necessário inserir os dados iniciais da viga. Neste caso, foi realizado o processo contrário. Inserindo os valores das cargas fornecidas e encontrando o valor do momento crítico, podendo assim, comparar com os valores dos cálculos analíticos. Vale ressaltar que para carga, foi necessário a mudança de posição da aplicação na carga, assim como nos cálculos demonstrados anteriormente. Obtendo assim os diferentes valores de momento máximo para cada carga utilizada.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como citado acima, para cada posição que é considerado a aplicação da carga, os valores do fator de modificação mudam. Com isso, foi usado a carga distribuída, definindo os fatores  $A$  e  $B$  para o cálculo. Obtendo assim valor de  $A = 1,12$  e  $B$ , foi definido pela Eq. (7). Resultando em um valor de  $B = 1,224$ .



Foi iniciada a análise pela carga acima da semialtura, Galambos diz que neste caso, considera-se a Eq. (2). Resultando em um valor de  $y = -299,34 \text{ mm}$ . Com isso, o fator de modificação para a carga aplicada acima de semialtura pela Eq. (1) resulta em  $C_b = 0,915$ . Podendo assim encontrar o momento máximo para esta aplicação pela Eq. (8).  $M_{cr} = 64,40 \text{ kN.m}$ . A carga que será aplicada na viga, se dá pela Eq. (9), com um valor demonstrado na Tabela 03.

Para a análise na semialtura, Galambos diz que neste caso, considera-se a Eq (3). Logo temos que o fator de modificação para a carga aplicada neste ponto é dado pela Eq. (10). Resultando no valor de  $C_b = 1,12$ . Podendo assim encontrar o momento máximo para esta aplicação pela Eq. (8), resultando em  $M_{cr} = 78,80 \text{ kN.m}$ , e a carga que será aplicada na viga, se dá pela Eq. (9). Obtendo assim o resultado identificado na Tabela 03.

A análise pela mesa inferior, Galambos diz que neste caso, considera-se a Eq. (4). Com isso, o fator de modificação para a carga aplicada na mesa inferior resulta em  $C_b = 9,37$ . Podendo assim encontrar o momento máximo para esta aplicação com a Eq (8), resultando em um momento  $M_{cr} = 96,42 \text{ kN.m}$ . A carga que será aplicada na viga, se dá pela Eq (9), e seu resultado está identificado na Tabela 3.

**Tabela 3 - Valores das Cargas Distribuídas**

Cálculo Analítico	
Carga acima da semialtura ( $w_{cr1}$ )	2,29 kN/m
Carga na semialtura ( $w_{cr2}$ )	2,80 kN/m
Carga abaixo da semialtura ( $w_{cr3}$ )	3,43 kN/m

Fonte: Dos Autores, 2023.

Os valores encontrados no programa LTBeam são convergentes com os cálculos analíticos. Os resultados dos cálculos realizados analiticamente e com os valores fornecidos pelo livro são aproximados, como mostrado na Tabela 3. Na Tabela 4, pode-se observar a comparação dos momentos máximos obtidos nos casos.

**Tabela 4 - Comparação de Resultados dos Momentos Máximos**

	Momentos Máximos		
	Acima da semialtura	Semialtura	Abaixo da semialtura
Cálculo Analítico	64,40 kN.m	78,80 kN.m	96,42 kN.m
Programa LTBeam	65,18 kN.m	80,01 kN.m	97,83 kN.m

Fonte: Dos Autores e LTBeam, 2023.

Observa-se que os valores obtidos nos cálculos realizados são aproximados ao programa, assim como os valores que a viga é submetida. Tendo algumas variações nas casas decimais, que pode ocorrer devido os valores das propriedades adotadas, o número de casas decimais usadas para os cálculos entre outras.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho indica que as análises realizadas tanto de forma analítica quanto por meio do programa mostraram resultados coerentes entre si. Os cálculos realizados nos projetos de estruturas metálicas levam em consideração as cargas na alma da viga, que correspondem à carga localizada na metade da altura da viga

mencionada anteriormente. No entanto, na prática, as cargas são aplicadas na mesa da viga.

Observou-se que o fator de modificação se comporta de maneira semelhante às cargas aplicadas ao longo da viga. Isso significa que os valores na mesa da viga são menores do que na alma da viga. Essa discrepância de valores contribui para o surgimento da flambagem lateral-torcional nas vigas, uma vez que elas são projetadas para suportar uma carga maior do que a que realmente aguentam.

Para evitar esse tipo de falha, é necessário adotar medidas como a redução da distância entre pilares e vigas, além de adicionar contraventamentos na estrutura, entre outras soluções adequadas.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela disponibilidade de ensino, assim como o aprendizado dentro da área de estruturas metálicas, estender meus agradecimentos ao professor doutor Diego Rizzotto Rossetto, que orientou esta iniciação científica, auxiliando em todas as etapas do conteúdo apresentado. Agradecer também ao coautor Gabriel Kuiava Glufke pela parceria no projeto, bem como na redação e revisão deste artigo.

## CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse

## REFERÊNCIAS

FACURY, R. H., A. C., R. C. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto**, São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

GALAMBOS, T. V. **Guide Stability Design Criteria For Metal Structures**. 5th Ed. New York, United States of America. John Wiley & Sons. 1998.

GERDAU. **Especificações Viga W24x55**. Disponível em: <[Gerdau Brasil](https://www.gerdau.com.br)> Acesso em: 01 de junho de 2023.