

## **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PERFIS FORMADOS A FRIO**

Hugo Vinícius Ferreira Azevedo <sup>1</sup>; Matheus Amancio Miranda <sup>2</sup>;  
Luiz Elias da Silva Filho <sup>3</sup>; Gleide Karolayne Melo Lins <sup>4</sup>; Luciano Barbosa dos Santos <sup>5</sup>

---

### **RESUMO**

Dentre os três tipos de grupos de elementos metálicos, os perfis de aço formados a frio são importante objeto de estudo por serem mais econômicos que seus pares. A norma ABNT NBR 14762:2010 fornece três metodologias de dimensionamento desses perfis, de modo que a escolha entre elas é livre ao usuário. Sendo assim, é importante que a resposta fornecida por elas seja comparada, de modo a saber qual o grau de sensibilidade do esforço obtido utilizando diferentes metodologias. Portanto, este trabalho teve como foco comparar dois métodos – Método da Largura Efetiva (MLE) e Método da Seção Efetiva (MSE) – em perfis do tipo U simples e U enrijecido, ambos submetidos ao esforço de compressão axial centrada e sujeitos às mesmas propriedades do material e configuração. Todos os perfis padronizados presentes nas tabelas do anexo A da ABNT NBR 14762:2010 foram comparados e observou-se que o desvio percentual médio é relativamente baixo na ordem de 3%. Contudo, a frequência de ocorrência de desvios percentuais entre os métodos concentra grande parte dos valores entre 0 e 10%, destacando-se que desvios na ordem de 14% para o perfil U e na ordem de 17% para o perfil Ue foram constatados. Portanto, conclui-se que, para os parâmetros considerados, o MSE mostrou-se uma ferramenta eficiente para o dimensionamento de PFF, alcançando para a grande maioria dos cenários estudados resultados com desvios menores que 10% ao avaliado pelo MLE.

---

**Palavras-Chave:** Estruturas de Aço; Método da Largura Efetiva; Método da Seção Efetiva; Compressão Axial Centrada.

---

---

1 Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões  
Email: hugo.azevedo@lccv.ufal.br

2 Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões  
Email: matheus.miranda@ctec.ufal.br

3 Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões  
Email: luiz.elias@lccv.ufal.br

4 Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões  
Email: gleidekarolayne@lccv.ufal.br

5 Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões  
Email: lbsantos@ctec.ufal.br

## 1 INTRODUÇÃO

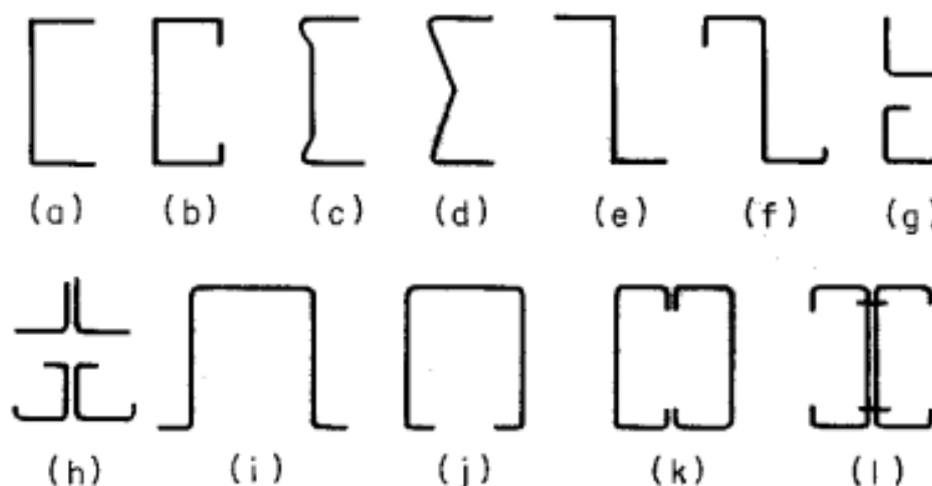
Conforme Yu (2000), os perfis de aço podem ser divididos em três grupos: (1) perfis laminados a quente, (2) perfis soldados e (3) perfis formados a frio. Esse último grupo é caracterizado por serem produzidos a partir de folhas, tiras, placas ou chapas a partir da dobragem a frio, em temperatura ambiente, em perfiladeiras ou prensas dobradeiras.

Os perfis formados a frio (PFFs), como possuem menor custo quando comparado aos perfis laminados e soldados, constituem uma das soluções mais empregadas das estruturas de aço (SOARES, 2002). Destaca-se seu uso em edificações leves e em aplicações na indústria mecânica em geral, não se restringindo apenas à engenharia de estruturas.

Por serem mais leves, os PFFs possuem como vantagem construtiva serem mais fáceis de manusear, transportar e montar (CARVALHO et al., 2014), porém apresentam a desvantagem de suas chapas serem muito finas, tendo uma alta relação entre largura e espessura, deixando-os predispostos aos fenômenos de instabilidade como flambagem global, local e distorcional (SCHAFER, 2002).

Dentre os tipos de seções transversais possíveis de serem utilizados, a ABNT NBR 6355:2012 – utilizada na padronização das propriedades geométricas dos diversos tipos de seção transversais usadas nos PFF – apresenta os perfis U, U enrijecido (Ue), Cantoneira e Cartola, os quais estão ilustrados esquematicamente na Figura 1 - (a), (b), (g) e (i), respectivamente.

**Figura 1:** PFF típicos.



**Fonte:** Yu, 2000.

No Brasil, duas normas principais apresentam os critérios para verificação da segurança de elementos estruturais em aço: a (1) ABNT 8800:2008, que trata dos perfis laminados e soldados, e a (2) ABNT NBR 14762:2010, que trata dos perfis formados a frio.

Destaca-se que a NBR 8800:2008 apresenta um único método para dimensionamento dos perfis laminados e soldados, enquanto a NBR 14762:2010 apresenta três métodos diferentes para os perfis formados a frio, os quais levam a resultados similares e podem ser utilizados livremente pelos engenheiros projetistas, mesmo partindo de equacionamentos diferentes.

Nesse sentido, esse trabalho objetiva comparar dois métodos de dimensionamento diferentes, apresentados pela NBR 14762:2010, para verificar a sensibilidade da reposta fornecida por eles quando utilizados na mesma situação de projeto para o mesmo perfil

metálico, visando estudar o erro relativo entre as respostas fornecidas. Para isso, os perfis U e Ue, sujeitos a esforço de compressão, foram escolhidos para a análise e o cálculo é realizado a partir da utilização do *software Mathcad Prime*.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho será dividida na explicação dos métodos de dimensionamento presentes na norma NBR 14762:2010 para cálculo do esforço resistente à compressão axial centrada, nos tipos de seção transversais utilizadas para estudo e também na explicação da ferramenta computacional utilizada para fazer o estudo proposto.

### 2.1 Métodos de Dimensionamento

Os três métodos diferentes apresentados pela norma NBR 14762:2010 para a verificação da segurança em perfis formados a frio, são: (a) Método da Largura Efetiva (MLE), (b) Método da Seção Efetiva (MSE) e (c) Método da Resistência Direta (MRD).

Os dois primeiros apresentam diferentes critérios para a determinação das propriedades efetivas das seções transversais, enquanto o terceiro permite a determinação dos esforços sem a necessidade de determinar as propriedades efetivas. Porém, o MRD exige o emprego de programas computacionais baseados em métodos numéricos.

Proposto por von Karman et al. (1932) e melhorado por Winter (1968), o MLE determina as propriedades efetivas das seções transversais analisando cada elemento que compõe o perfil isoladamente. Essa característica torna a marcha de cálculo bastante demorada e repetitiva, predispondo um processo complicado e muitas vezes iterativo até que uma solução adequada seja obtida.

Proposto por Batista (2010) – tomando o MRD como base – o MSE analisa a seção transversal que compõe o perfil como um todo para determinar as propriedades efetivas da seção transversal. Tal fato torna o método simples e direto na determinação dos esforços resistentes, porém está limitado, no estágio atual de desenvolvimento, a algumas seções específicas. Outro limitante do método é seu uso no estudo de esforços de flexão, aplica-se apenas àquela que ocorre em relação ao eixo de maior inércia da seção.

Por sua vez, o MRD, proposto por Schafer e Peköz (1998), utiliza a força e os momentos fletores de flambagem elástica dos perfis para determinação dos esforços resistentes das peças. Trata-se de uma alternativa aos métodos MLE e MSE, porém possui a dificuldade de exigir o conhecimento prévio dos valores críticos das forças axiais e momentos fletores. A aplicação do MRD requer a utilização de programas computacionais elaborados a partir de métodos numéricos, geralmente empregando o Método dos Elementos Finitos (MEF), o Método das Faixas Finitas (MFF) e a Teoria da Viga Generalizada (TVG).

Por conta dessa problemática do MRD, este trabalho focará apenas no uso do MLE e MSE.

### 2.2 Compressão Axial Centrada

Segundo a norma NBR 14762:2010, o esforço axial de compressão resistente de cálculo ( $N_{CRd}$ ) é determinado como o menor valor entre os calculados considerando a instabilidade global, local e por distorção. A expressão geral para o cálculo do esforço resistente pode ser vista na Equação 01.

$$N_{CRd} = \frac{\chi * A_{ef} * f_y}{\gamma} \quad (\text{Equação 01})$$

Sendo:

$\chi$  = fator de redução do esforço axial de compressão resistente;

$A_{ef}$  = área efetiva da seção transversal;

$f_y$  = tensão de escoamento do aço;

$\gamma$  = fator de segurança que visa minorar o esforço calculado adotado como 1.2.

O fator de redução  $\chi$  é obtido a partir do índice de esbeltez reduzido associado a flambagem global ( $\lambda_0$ ), tal qual pode ser visto na Equação 02.

$$\lambda_0 = \left( \frac{A * f_y}{N_e} \right)^{0.5} \quad \text{(Equação 02)}$$

Sendo:

$A$  = área bruta da seção transversal;

$f_y$  = tensão de escoamento do aço;

$N_e$  = força axial de flambagem global elástica.

De modo que o cálculo do fator de redução  $\chi$  é dado pela Equação 03.

$$\begin{cases} \text{Para } \lambda_0 \leq 1.5: \chi = 0.658 \lambda_0^2 \\ \text{Para } \lambda_0 > 1.5: \chi = \frac{0.877}{\lambda_0^2} \end{cases} \quad \text{(Equação 03)}$$

Sendo:

$\lambda_0$  = índice de esbeltez reduzido associado a flambagem global.

A área efetiva ( $A_{ef}$ ) pode ser determinada utilizando os métodos MLE e MSE presentes na ABNT NBR 14762:2010, de forma que siga a recomendação normativa exposta na Equação 04.

$$\begin{cases} \text{MLE: } A_{ef} = A - \sum (b - b_{ef}) t \\ \text{MSE: } A_{ef} = A \left( 1 - \frac{0.15}{\lambda_0^{0.8}} \right) \frac{1}{\lambda_0^{0.8}} \end{cases} \quad \text{(Equação 04)}$$

Sendo:

$b$  = largura dos elementos que compõe o perfil (alma, mesas, enrijecedores de borda etc);

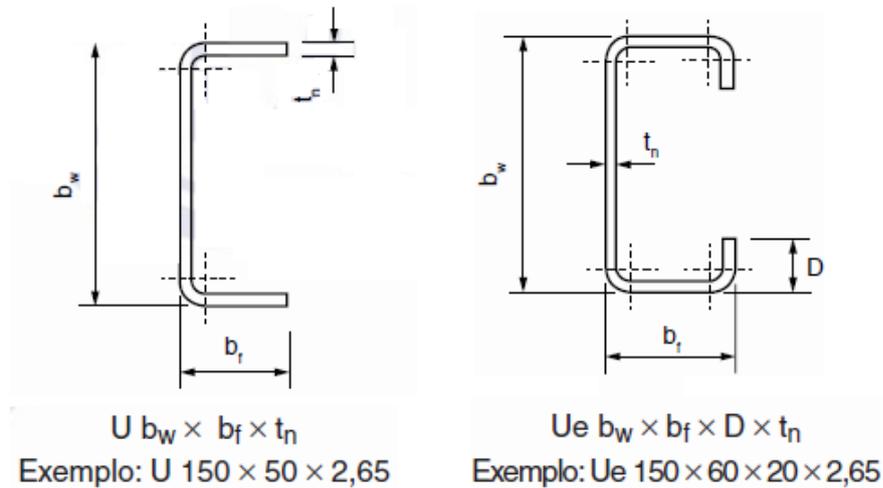
$b_{ef}$  = largura efetiva dos elementos que compõe o perfil;

$t$  = espessura do perfil.

### 2.3 Perfis U e Ue

Dentre os tipos diferentes de seções transversais possíveis de serem obtidos nos PFFs, este trabalho terá como foco a análise do perfil U e Ue, por serem perfis bastante utilizados principalmente no contexto de estruturas de cobertura, em treliças e em suportes para *drywall*. Em particular em estruturas treliçadas, os perfis que formam a estruturas são dimensionados para estar sujeitos à esforços normais, justificando o foco deste trabalho na compressão desses perfis. Os perfis U e Ue podem ser vistos esquematicamente na Figura 2.

**Figura 2:** Perfis U e Ue.



**Fonte:** Adaptado de ABNT NBR 6355:2012.

Dentre as possíveis configurações de geometria desses perfis, foram escolhidos todos os perfis das tabelas A.2 e A.3 da norma ABNT NBR 6355:2012, a escolha desses perfis se justifica por serem as dimensões adotadas no mercado e padronizados no normativo da ABNT.

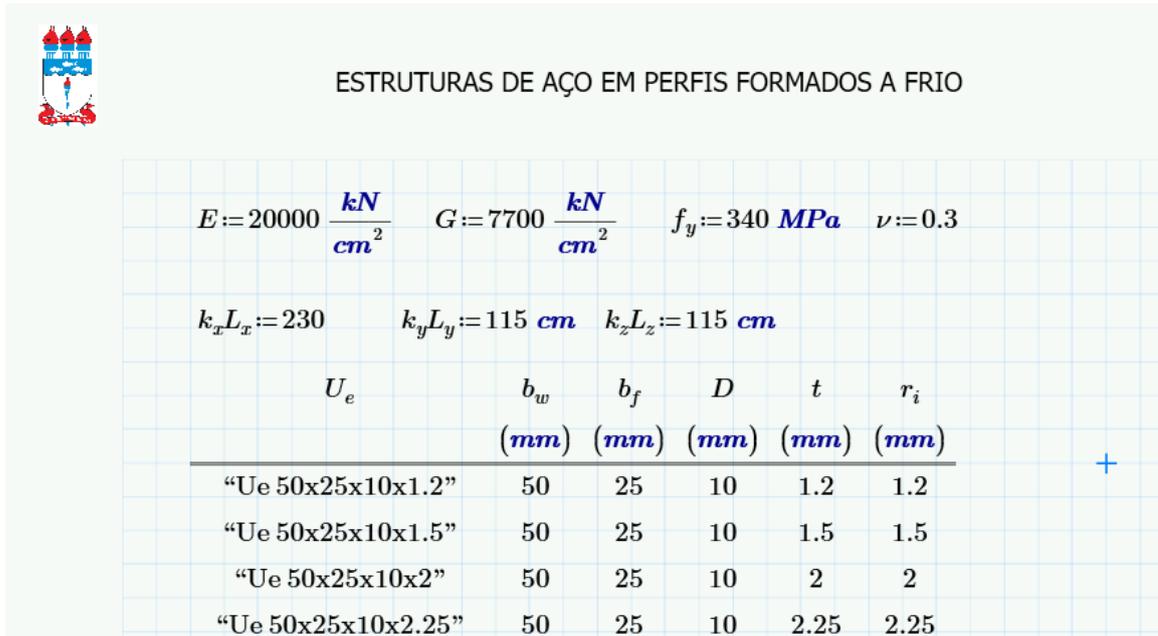
## 2.4 *Mathcad*

O uso de ferramentas computacionais no ensino de engenharia são um grande diferencial no entendimento e na fixação dos conteúdos, o cálculo e a modelagem de problemas auxiliam o aluno no processo de ensino. Conforme Lima *et al.* (2016), é necessário estimular o desenvolvimento dessas ferramentas e inseri-las no contexto escolar, de modo que a curiosidade e percepção do aluno sejam despertadas e o tempo de maturação dos conceitos diminua.

Para isso, evidencia-se o uso do *software Mathcad Prime*. Baseado em álgebra computacional, a ferramenta possibilita aos seus usuários a entrada e manipulação de equações algébricas, além de realizar os cálculos, análises, gerar gráficos e verificar memórias de cálculo. Para mais detalhes de como utilizá-lo, ver Maxfield (2013).

Como forma de ilustração, pode ser vista na Figura 3 a interface da planilha de cálculo do *Mathcad*, utilizada neste trabalho para analisar a sensibilidade do perfil Ue.

**Figura 3:** Visão inicial da planilha de cálculo.



**ESTRUTURAS DE AÇO EM PERFIS FORMADOS A FRIO**

$E := 20000 \frac{kN}{cm^2}$      $G := 7700 \frac{kN}{cm^2}$      $f_y := 340 MPa$      $\nu := 0.3$

$k_x L_x := 230$      $k_y L_y := 115 cm$      $k_z L_z := 115 cm$

$U_e$	$b_w$ (mm)	$b_f$ (mm)	$D$ (mm)	$t$ (mm)	$r_i$ (mm)
“Ue 50x25x10x1.2”	50	25	10	1.2	1.2
“Ue 50x25x10x1.5”	50	25	10	1.5	1.5
“Ue 50x25x10x2”	50	25	10	2	2
“Ue 50x25x10x2.25”	50	25	10	2.25	2.25

**Fonte:** Autores, 2020.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para avaliar os resultados fornecidos de esforço resistente de compressão axial centrada, todos os perfis testados foram submetidos à mesma situação de projeto. As informações referentes às propriedades do material podem ser vistas na Tabela 1. Os comprimentos de flambagem utilizados em relação ao eixo x-x foi  $k_x L_x = 230cm$  e em relação aos eixos y-y e z-z foram  $k_y L_y = k_z L_z = 115cm$ .

**Tabela 1:** Propriedades dos perfis testados.

Módulo de Elasticidade (E)	Módulo Transversal (G)	Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )	Tensão de escoamento ( $f_y$ )
$E = 20000 \frac{kN}{cm^2}$	$G = 7700 \frac{kN}{cm^2}$	$\nu = 0.3$	$f_y = 340MPa$

**Fonte:** Autores, 2020.

Para todos os perfis padronizados das tabelas A.2 e A.3 da norma ABNT NBR 6355:2012 é calculado o esforço axial de compressão resistente de cálculo ( $N_{CRd}$ ) utilizando o MSE e MLE utilizando os procedimentos na NBR 14762:2010 com implementações realizadas no *Mathcad*, então é calculado a diferença percentual do valor obtido pelo MSE em relação ao MLE, seguindo a Equação 03.

$$D_{per} = \frac{|N_{CRd,MSE} - N_{CRd,MLE}|}{N_{CRd,MLE}} \cdot 100\% \quad (\text{Equação 03})$$

Sendo:

$D_{per}$  = diferença percentual;

$N_{CRd,MSE}$  = esforço axial de compressão resistente de cálculo utilizando o MSE;

$N_{CRd,MLE}$  = esforço axial de compressão resistente de cálculo utilizando o MLE.

Devido à grande quantidade de perfis a visualização dos resultados não é simples, assim, alguns dados importantes sobre os erros percentuais computados para os dois perfis são apresentados na Tabela 2, esses dados incluem o erro máximo, médio e mínimo para cada perfil.

**Tabela 2:** Erros percentuais máximo, médio e mínimo para os perfis U e Ue.

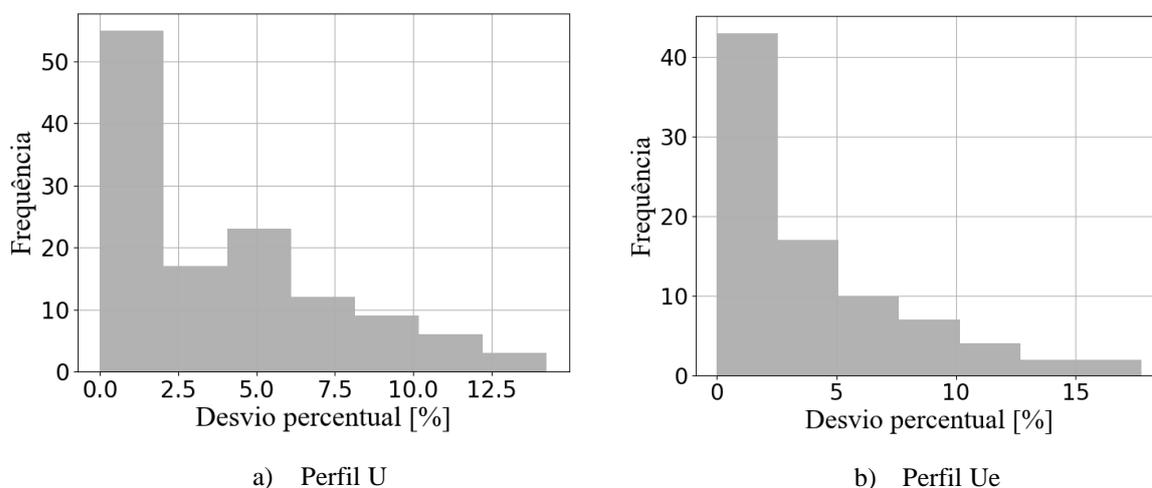
	Máximo [%]	Médio [%]	Mínimo [%]
Perfil Ue	17.76	3.75	0.0
Perfil U	14.26	3.61	0.0

**Fonte:** Autores, 2020.

Conforme pode ser visto na Tabela 2, o desvio percentual médio é relativamente baixo na ordem de 3%, contudo é possível observar que existem erros consideráveis embutidos. Nesse sentido, uma outra estratégia de apresentação dos resultados é adotada, visando observar como esses erros se distribuem.

Os resultados dos erros percentuais de todos os perfis foram organizados em um diagrama de frequência de ocorrência para melhor visualização dos resultados obtidos. Os diagramas associados ao perfil U e ao perfil Ue são apresentados na Figura 4 a) e 4 b), respectivamente.

**Figura 4:** Diagrama de frequência das diferenças nos perfis U e Ue.



**Fonte:** Autores, 2020.

Conforme mostrado na figura acima, para ambos os perfis, a frequência de ocorrência de desvios percentuais entre os métodos concentra grande parte dos valores entre 0 e 10%. Este fato colabora para conclusões positivas sobre o dimensionamento de perfis formados a frio através do MSE por ter um roteiro de cálculo bem mais simples que o MLE, contudo deve-se destacar que desvios na ordem de 14% para o perfil U e na ordem de 17% para o perfil Ue foram constatados, valores que devem ser observados pelo projetista de estruturas.

## 4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo comparativo entre dois dos três métodos de dimensionamento de PFF apresentados na NBR 14762:2010: o método da seção efetiva (MSE) e o método da largura efetiva (MLE).

Dos resultados mostrados nas seções anteriores, é possível perceber que, para os parâmetros considerados, o MSE mostrou boa concordância de resultados em relação ao MLE, tendo a vantagem de ser mais fácil aplicação, alcançando para a grande maioria dos cenários estudados resultados com desvios menores que 10% em relação aos avaliados pelo MLE.

Destaca-se ainda, que o estudo apresentado pode ser expandido para outros estados de solicitação (como flexão simples, composta, etc.) investigando configurações onde o dimensionamento por algum dos métodos possa ser insatisfatório, esses estudos contribuem cada vez mais para a segurança nas estruturas projetadas e na capacitação dos projetistas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 6355**: Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008

BATISTA, E.M. Effective section mode: A general direct method for the design of steel cold formed members under local-global buckling interaction. **Thin-walled Structures**. v. 48, p. 345- 356, 2010.

CARVALHO, P. R. M. de; GRIGOLETTI, G.; BARBOSA, G. D. **Curso básico de perfis de aço formados a frio**. 3. ed. Porto Alegre, 2014.

LIMA, W. M. et al. Uma ferramenta computacional para suporte nos processos de ensino e aprendizagem de equações diferenciais parciais. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 35, n. 1, 2016.

MAXFIELD, B. **Essential PTC® Mathcad Prime® 3.0: A guide for new and current users**. Academic Press, 2013.

SCHAFER, B. W. Local, distortional, and Euler buckling of thin-walled columns. **Journal of structural engineering**, v. 128, n. 3, p. 289-299, 2002.

SCHAFER, B. W.; PEKOZ, T. Computational modeling of cold-formed steel: characterizing geometric imperfections and residual stress. **Journal of Constructional Steel Research**. Vol. 47, p. 193-210, 1998.

SOARES, C. H. **Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio em Situação de Incêndio**. Belo Horizonte: DEES/UFMG, 2002. 156p. Dissertação de Mestrado.

VON KÁRMAN, T., SECHLER. E.E. e DONNELL, L.H. The strength of thin plates in compression. **Transactions of the American Society of Mechanical Engineers (ASME)**, v. 54, p. 53-57, 1932.

YU, W.-W. **Cold-Formed Steel Design**. 3ª Edição. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., v. I, 2000.

WINTER, G. Thin-walled structures-theoretical solutions and test results. In: **Preliminary Publications of the Eighth Congress, International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)**, p. 101-112, 1968.

Promoção e realização:



ANAIS DA VII SEMANA DE ENGENHARIA - SEMENGE