

Curvas resistência versus comprimento para perfis U e U enrijecidos em montantes de paredes internas para o sistema construtivo Light Steel Frame**Strength versus length curves for U and U-profiles stiffened on internal wall uprights for the Light Steel Frame construction system**

DOI:10.34117/bjdv6n7-760

Recebimento dos originais: 18/06/2020

Aceitação para publicação: 28/07/2020

Isabela Oliveira Jardim

Graduanda em Engenharia Civil

Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas
Rua Walter Ianni, 255 - São Gabriel, Belo Horizonte - MG, Brasil. CEP 31980-110
E-mail: jardim.isabelaoliveira@gmail.com

Marcus Vinicius Laurentino de Lima

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas
Rua Walter Ianni, 255 - São Gabriel, Belo Horizonte - MG, Brasil. CEP 31980-110
E-mail: marcusviniciusl197@gmail.com

Anna Emilia Soares Coelho

Graduanda em Engenharia Civil

Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas
Rua Walter Ianni, 255 - São Gabriel, Belo Horizonte - MG, Brasil. CEP 31980-110
E-mail: anninhaasoares51@gmail.com

Dyana Batista Santos

Graduanda em Engenharia Civil

Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas
Rua Walter Ianni, 255 - São Gabriel, Belo Horizonte - MG, Brasil. CEP 31980-110
E-mail: dyana.batista.santos@gmail.com

Tamiris Gonçalves Santos

Graduanda em Engenharia Civil

Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas
Rua Walter Ianni, 255 - São Gabriel, Belo Horizonte - MG, Brasil. CEP 31980-110
E-mail: tamirissantos33@gmail.com

Ana Cláudia Costa

Graduanda em Engenharia Civil

Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas
Rua Walter Ianni, 255 - São Gabriel, Belo Horizonte - MG, Brasil. CEP 31980-110
E-mail: bhanaclaudia@gmail.com

William Luiz Fernandes

Mestre em Construção Metálica pela Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia Civil - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, PUC Minas
Rua Walter Ianni, 255 - São Gabriel, Belo Horizonte - MG, Brasil. CEP 31980-110
E-mail: wlfernandes@pucminas.br

RESUMO

Atualmente o sistema como o Steel Frame vem conquistando espaço na construção civil brasileira. Por ser um sistema relativamente novo no Brasil comparado a sistemas construtivos tradicionais, estudos e técnicas que simplifiquem o processo de cálculo e execução são de grande relevância. O presente trabalho apresenta curvas de resistência versus comprimento para alguns perfis U e U enrijecido utilizados como montantes de paredes internas em sistemas Light Steel Frame. Estas curvas podem ser utilizadas como ábacos para pré-dimensionamento destes elementos estruturais. Os resultados foram comparados aos fornecidos pelo programa DimPerfil, e apresentaram boa concordância entre si.

Palavras-chave: Ábacos, DimPerfil, Light Steel Frame, Montante interno, Pré-Dimensionamento

ABSTRACT

Currently, the Light Steel Frame has been gaining space in Brazilian civil construction. As it is a relatively new system in Brazil compared to traditional construction systems, studies and techniques that simplify the calculation and construction process are of great relevance. This work presents strength versus length curves for some Cold-Formed Steel U (with lips and without lips) profiles used as internal wall elements in Light Steel Frame systems. These curves can be used as abacuses for pre-design these structural elements. The results were compared to those provided by the software DimPerfil. The results demonstrate good agreement with each other.

Keywords: Abacus, DimPerfil, Light Steel Frame, Internal amount, Pre-Design

1 INTRODUÇÃO

O aço é um material amplamente utilizado na fabricação de diversos bens de consumo. Isto se dá devido à abundância de matéria prima e seu alto controle tecnológico, o que lhe confere características específicas para cada um de seus usos. O aço pode ainda ser utilizado como chapas e barras, conferindo elevada resistência a cargas de tração e compressão. O emprego do aço na construção civil possibilita, ainda, menor tempo de execução, canteiro de obras limpo e organizado, menor desperdício de materiais e maior qualidade da estrutura. O processo Light Steel Framing utiliza, principalmente, perfis estruturais do tipo U e U enrijecido, formados a frio em sua composição. Estes perfis têm a função de, em conjunto com outros elementos, resistir a esforços de tração e compressão.

O presente trabalho visa obter curvas do tipo força normal de compressão, resistente de cálculo versus comprimento para alguns perfis em U e U enrijecido (U_e) em chapa dobrada, seguindo orientação da NBR 14762:2010, responsável por especificar o dimensionamento de perfis leves. Tais

curvas (ábacos) visam servir como instrumento de pré-dimensionamento para engenheiros calculistas em sistemas Light Steel Frame, bem como em outros semelhantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O SISTEMA CONSTRUTIVO LIGHT STEEL FRAME

O processo construtivo Light Steel Frame se inicia no século XIX, através do sistema Wood Framing, mostrado na Imagem 1. O método consiste na utilização de suportes de madeiras, que no século seguinte, com o desenvolvimento na fabricação do aço em larga escala, foram substituídos por perfis metálicos formados a frio que apresentavam menor espessura e maior resistência.

Imagem 1- Estruturas em Wood Framing e LSF



Fonte: Steel Frame Brasil, 2018

Perfis formados a frio são caracterizados, pela NBR 6355:2003, como aqueles obtidos pelo dobramento ou conformação em matrizes rotativas, realizados em temperatura ambiente. Em seu manual, publicado pelo CBCA, Edson, Igor e Waldir (2014, p. 14) destacam a importância das minúcias no dimensionamento destes perfis visto sua reduzida espessura, baixa e resistência à torção e consequente instabilidade.

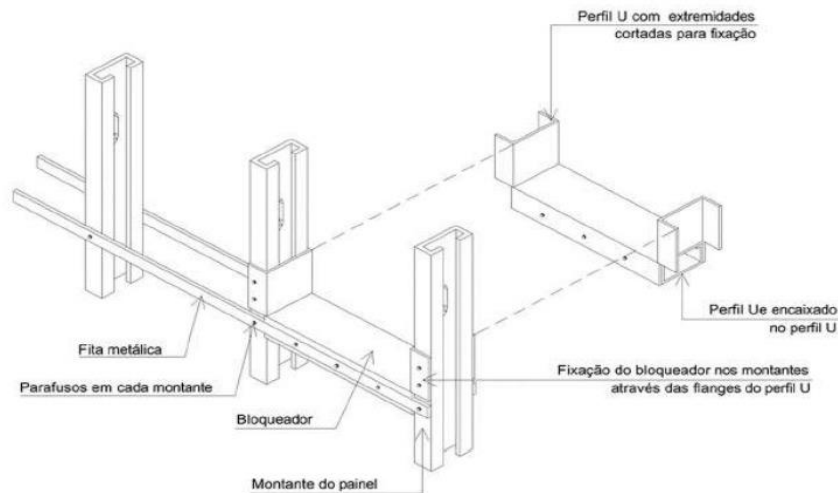
Rodrigues e Caldas (2016, p. 12), em manual publicado pela CBCA, ressaltam que o LSF possui várias vantagens devido à possibilidade de estruturas mais leves, redução no prazo da obra, durabilidade e maior precisão na montagem, bem como o uso de materiais 100% recicláveis e resistentes à corrosão e combustão, quando comparado outros sistemas como o Wood Framing e concreto armado.

2.2 PAREDES INTERNAS DO SISTEMA LIGHT STEEL FRAME

No sistema LSF, as paredes internas são constituídas de montantes que devem estar espaçadas de 400 a 600 mm entre si. Os montantes conduzirão as cargas até a fundação da estrutura. Tais barras devem se dimensionadas de modo a resistir apenas a esforços de tração e compressão de forma isolada (RODRIGUES; CALDAS, 2016). De acordo com o Manual da Construção em Aço (2016), este

dimensionamento é feito considerando as barras rotuladas em sua extremidade. Rodrigues e Caldas (2016) ressaltam ainda a necessidade de utilização de bloqueadores, em perfil U e Ue, e de fitas galvanizadas, visto que os perfis Ue, usados nos montantes, possuem excentricidade em relação ao seu centro de torção, o tornando suscetível a instabilidade por flambagem global elástica por flexo-torção, como mostrado na Imagem 2.

Imagem 2 - Uso de bloqueadores e fitas galvanizadas no sistema Light Steel Frame



Fonte: (Manual de arquitetura do CBCA, 2016)

2.3 PERFIS U E U ENRIJECIDOS SUBMETIDOS À COMPRESSÃO CONFORME A NBR 14762:2010

O dimensionamento de estruturas formados por perfis de aço formado a frio é determinado segundo diretrizes da NBR14762:2010. A norma técnica trata, no item 9.7, sobre barras submetidas à força axial de compressão, determinando que a seguinte condição seja atendida:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (1)$$

Sendo:

- $N_{c,Sd}$ é a força axial de compressão de cálculo
- $N_{c,Rd}$ é a força axial de compressão resistente de cálculo, dos menores valores calculados nos itens 2.3.1 e 2.3.2

2.3.1 Flambagem por flexão, por torção ou por flexo-torção

Ainda de acordo com a norma, o $N_{c,Rd}$ é calculado por:

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma \quad (2)$$

Sendo:

- γ assumindo valor de 1,20
- A_{ef} = é a área efetiva da seção transversal da barra,
- χ = é o fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem global, calculado conforme apontado a seguir

$$\text{➤ Para } \lambda_o \leq 1,5: \chi = 0,658 \lambda_o^2 \quad (3)$$

$$\text{➤ Para } \lambda_o > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_o^2} \quad (4)$$

Sendo:

- λ_o é o índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global que é calculado por:

$$\lambda_o = \left(\frac{A f_y}{N_e} \right)^{0,5} \quad (5)$$

- N_e é a força axial de flambagem global elástica

O cálculo de A_f é feito através de uma das seguintes opções:

- Utilizando o método da largura efetiva (MLE), adotando:

$$\sigma = \chi f_y \quad (6)$$

- Utilizando o método da seção efetiva (MSE), conforme indicado a seguir:

- Para $\lambda_p \leq 0,776$

$$A_{ef} = A \quad (7)$$

➤ Para $\lambda_p > 0,776$

$$A_{ef} = A \left(1 - \frac{0,15}{\lambda^{0,8}}\right) \frac{1}{\lambda^{0,8}} \quad (8)$$

Para o cálculo de λ_p é feito:


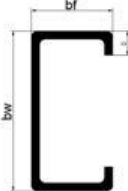
$$\lambda_p = \left(\frac{\chi_{fy}}{N_l}\right)^{0,5} \quad (9)$$

- N_l é a força axial de flambagem local elástica, calculada por meio de análise de estabilidade elástica, ou, de forma direta, segundo a expressão.

$$N_l = k_l \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2) \left(\frac{bw}{t}\right)^2} A \quad (10)$$

Os valores do coeficiente de flambagem local para a seção completa, k_l , podem ser calculados pelas expressões indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Determinação de k_l

Seção U simples	
Caso a	 $k_l = 4,0 + 3,4 \eta + 21,8 \eta^2 - 174,3 \eta^3 + 319,9 \eta^4 - 237,6 \eta^5 + 63,6 \eta^6$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0)$
Seção U enrijecido	
Caso b	 $k_l = 6,8 - 5,8 \eta + 9,2 \eta^2 - 6,0 \eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0 \text{ e } 0,1 \leq D/b_w \leq 0,3)$

Fonte: Norma ABNT 14762:2010 (Adaptada)

2.3.2 Perfis monossimétricos

A força axial de flambagem global elástica N_e de um perfil com seção monossimétrica, cujo eixo x é o eixo de simetria, é o menor valor dentre os obtidos por 11 e 12. Caso o eixo de simetria seja o eixo y , substituir y por x em 11 e x por y e x_0 por y_0 em 12.

- força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo y

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2} \quad (11)$$

- força axial de flambagem global elástica por flexo-torção

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ex} N_{ez} \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] \quad (12)$$

Sendo:

- N_{ex} e N_{ez} são as forças axiais de flambagem global elástica

3 PLANILHA DE CÁLCULO DESENVOLVIDA NO TRABALHO

Para a verificação da força de compressão máxima dos perfis U e U enrijecido, de barras de aço formado a frio, foi elaborada uma planilha automatizada, tendo como guia a NBR 14762:2010, conforme pode-se observar na imagem 3.

O catálogo utilizado como base de dados para a planilha em questão foi desenvolvido pelo grupo Grávia¹.

¹ Catálogos Grupo Grávia. Disponível em: <<https://www.gravia.net.br/grupo/catalogos>> Acesso em outubro de 2019.

Imagem 3 - Acesso da Planilha aos Perfis U e U enrijecido



Fonte: Costa *et al* (2020).

Por ser uma planilha automatizada, primeiramente é feita a escolha do perfil – U ou U enrijecido. Em seguida, o usuário será direcionado a uma nova aba, onde terá a sua escolha, com uma lista de todos os perfis tabelados, como pode-se observar na imagem 4, campo 1.

Imagem 4 - Seleção de Perfil e Propriedades Geométricas Características

Perfis U	
Perfil	U50x25x1,50
Altura - bw (mm)	50
Base - bf (mm)	25
Espessura - t (mm)	1,5
D	0
Tensão de Esc. - fy (kN/cm ²)	25
Tensão de Rup. - fu (kN/cm ²)	23
Peso (Kg/m)	1,12
Área (cm ²)	1,43
L Total (cm)	9,7
V	0,3
Y	1,2
E	20000
G	7692,308
Ix (cm ⁴)	5,54
Iy (cm ⁴)	0,88
Jt (cm ⁴)	0,010695
Cw (cm ⁶)	3,4866
r _o (cm)	2,63
rx (cm)	1,968
ry (cm)	0,7845
x _o (cm)	1,55
kx	1
ky	1
kt	1
Lx (cm)	100
Ly (cm)	100
Lt (cm)	100

Campo 1

Fonte: Costa *et al* (2020).

Assim que selecionado o tipo do perfil, os parâmetros da barra a ser analisada serão automaticamente preenchidos.

Alguns parâmetros específicos do aço serão necessários que o usuário forneça, como: tensão de escoamento, tensão última, coeficiente de Poisson e o módulo de elasticidade longitudinal.

Dos dados até então citados, os únicos que podem variar (pois as dimensões relacionadas ao perfil e as características do aço são constantes) e que devem ser inseridos na planilha de cálculo, são as informações referentes às condições de apoio nas direções x, y e z, além do comprimento destravado da barra, nos sentidos x, y e de torção.

Após a entrada de todas as informações, a planilha realiza, automaticamente, os cálculos para a obtenção da força axial de compressão resistente do perfil, seguindo os princípios da NBR 14762:2010.

Inicialmente é feito o cálculo da área efetiva que pode ser calculada de duas maneiras distintas. A planilha desenvolvida neste trabalho utiliza o método da Seção Efetiva, como pode-se observar na imagem 5.

Imagem 5- Cálculo da Área Efetiva

FLAMBAGEM GLOBAL POR FLEXÃO, POR TORÇÃO OU POR FLEXO-TORÇÃO EM PERFIS DO TIPO U

Força Axial de Compressão Resistente de Cálculo:

• A Força Axial de Compressão Resistente de Cálculo é calculada por:

$$N_{c, res} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

($\gamma = 1,20$)

Onde:

Para $\lambda_0 \leq 1,5$: $\chi = 0,658^{\lambda_0^2}$
 Para $\lambda_0 \geq 1,5$: $\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$ \Rightarrow Sendo: $\lambda_0 = \left(\frac{\Delta f_c}{N_c} \right)^{0,5}$ $\lambda_0 = 1,467$ Logo, $\chi = 0,4065$

• A área efetiva de Cálculo pode ser calculada por 2 métodos:

a) Método da Largura Efetiva
 b) Método da Seção Efetiva:

• $A_{ef} = A$ Para $\lambda_p \leq 0,776$

• $A_{ef} = A \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_p^{0,98}} \right) \frac{1}{\lambda_p^{0,98}}$ Para $\lambda_p > 0,776$

• $\lambda_p = \left(\frac{\gamma \Delta f_c}{N_c} \right)^{0,5}$ $\lambda_p = 0,231064273$

• $N_{el} = K_e \frac{(\pi^2 E)}{12(1 - \nu^2)(b_w/t)^2} A$ $N_{el} = 513,92 \text{ kN}$

• $\eta = b_1/b_w$ $\eta = 0,5000$

Perfis U	
Perfil	U50x25x3,00
Altura - b _w (mm)	50
Base - b _f (mm)	25
Espessura - t (mm)	3
D	0
Tensão de Esc. - f _y (kN/cm ²)	25
Tensão de Rupt. - f _u (kN/cm ²)	23
Peso (Kg/m)	2,12
Área (cm ²)	2,7
L Total (cm)	3,4
v	0,3
Y	1,2
E	20000
G	7692,308
I _x (cm ⁴)	9,73
I _y (cm ⁴)	1,59
J _t (cm ⁴)	0,081123
C _w (cm ⁶)	5,4894
r _x (cm)	2,56
r _y (cm)	1,898
r _y (cm)	0,7674
h ₀ (cm)	1,54
k _x	1
k _y	1
kt	1
L _x (cm)	100
L _y (cm)	100
L _t (cm)	100

Fonte: Costa *et al* (2020)

Em seguida, é feito o cálculo dos valores das forças axiais de flambagem global elástica por flexão em relação aos eixos x e y, além da global elástica por torção e flexo-torção. Conforme apresentado na imagem 6, valor de N_e é, então, determinado pelo menor entre os citados acima.

Imagem 6 – Cálculo das Forças Axiais de Flambagem

44

45 Força Axial de Flambagem Global Elástica por Flexão em Relação ao Eixo X

46

47

48 • $N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2}$ $N_{ex} = 109,3552168 \text{ KN}$

49

50

51 Força Axial de Flambagem Global Elástica por Flexão em Relação ao Eixo Y

52

53

54 • $N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2}$ $N_{ey} = 17,37050375 \text{ KN}$

55

56

57 Força Axial de Flambagem Global Elástica por Torção

58

59

60 • $N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 EC_{WT}}{(KZL_z)^2} + GJ \right]$ $N_{ez} = 21,84388 \text{ KN}$

61

62

63 Força Axial de Flambagem Global Elástica por Flexo-Torção

64

65

66 • $N_{exz} = \frac{(N_{ex} + N_{ez}) / 2 [1 - (x_0/r_0)^2]}{1 - \sqrt{1 - (4N_{ex}N_{ez} [1 - (x_0/r_0)^2]) / ((N_{ex} + N_{ez})^2)}}$ $N_{exz} = 20,2461 \text{ KN}$

67

Ne, min= 17,3705

Fonte: Costa *et al* (2020).

Com o valor de N_e definido, são calculados os valores dos coeficientes χ e λ_0 .

Com todos os coeficientes já calculados, a planilha cálculo desenvolvida mostra, então, o valor da força de compressão resistente de cálculo referente à verificação de flambagem global do perfil analisado. Assim que realizada, a planilha segue para a flambagem distorcional, como pode-se observar na imagem 7. Nesta parte, são calculados os valores dos coeficientes χ_{dist} e λ_{dist} - estes valores são utilizados na determinação da força de compressão resistente de cálculo referente à flambagem distorcional.

Imagem 7 – Cálculo da Força Axial referente a Flambagem Distorcional

70

71 Analisando:

72 Flambagem Distorcional

73

74

75 $N_{c,Rd} = \chi_{dist} A_f / \gamma$ ($\gamma = 1,20$)

76

77

78 Para $\lambda_{dist} \leq 0,561$: $\chi_{dist} = 1$

79 Para $\lambda_{dist} > 0,561$: $\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,25}{\lambda_{dist}^{1,2}} \right) \frac{1}{\lambda_{dist}^{1,2}}$ $\lambda_{dist} = (A_f / N_{dist})^{0,5}$ $\lambda_{dist} = 1,434603$ Logo, $\chi_{dist} = 0,543374$

80

81

82

83

84 $N_{c,Rd} = 16,18801 \text{ KN}$

85

Fonte: Costa *et al* (2020).

A força de compressão resistente de cálculo do perfil será o menor dos valores obtidos nas verificações das flambagens global e distorcional, valor este mostrado na planilha de cálculo desenvolvida durante o presente trabalho, como mostrado na imagem 8.

Imagem 8 – Força de Compressão Resistente de Cálculo

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
70														
71	Analisando:													
72	Flambagem Distorcional													
73														
74														
75														
76														
77														
78														
79														
80														
81														
82														
83														
84														
85														
86														
87	Portando, a força Axial de Compressão resistente de cálculo é: 12,58891 KN													
88														

Fonte: Costa *et al* (2020).

3.1 PROGRAMA DIMPERFIL

A fim de comparar resultados, primeiramente os perfis foram calculados através da planilha de dimensionamento desenvolvida pelos autores, e em seguida, os mesmos perfis foram lançados no programa estrutural DIMPerfil, tanto para tração quanto para compressão.

O programa DimPerfil 4.0 foi desenvolvido pela Lubas Engenharia Ltda com cooperação do Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA) e elaborado para fins exclusivamente acadêmicos. A base de dados do programa contempla os critérios estabelecidos pela NBR 14762:2010 – Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis formados a Frio – e utiliza os métodos de Larguras Efetivas e das Faixas Finitas (CBCA, 2013).

Imagem 9 - Tela Inicial DimPerfil

DimPerfil 4.0 - Dimensionamento de Perfis de Aço Formados a Frio

File Help

Escolha do Perfil Cálculo dos Esforços

Dimensões do perfil [cm] **Escolha do Perfil (NBR 6355)**

bw = 15 t = 0.2
 bf = 5 α =
 D = 3 β = 90
 De = θ =

Propriedades Geométricas a serem calculadas

Seção Bruta Deslocamentos
 Seção Efetiva NBR 14762/2010

Tensão de trabalho - σ : 25 kN/cm² **Atualizar**

N 10 kN
 Mx 10 kN.cm
 My 10 kN.cm

Propriedades Geométrica da Seção

Calculo das Propriedades da Seção

bf = 5 cm bw = 15 cm α =
 A = 4.8685 cm² Ix = 158.50807 cm⁴ Iy =
 Ixy = 0 cm⁴ It = 0.06485 cm⁴ xg =
 yg = -7.5 cm x0 = -2.64064 cm yg =
 r0 = 6.46383 cm rx = 5.70595 cm ry =
 Wx = 21.13441 cm³ Wy = 2.79958 cm³ Iw =
 rm = 0.3 cm φp = 0 ° m =

By Edson Lubas Silva

Fonte: DimPerfil (Adaptada).²

A tabela 2 apresenta o comparativo feito pelos autores entre as duas formas de cálculo. A variação percentual entre as resistências definida como referência para este trabalho foi de 4%. Tal comparação foi realizada, a fim de validar a planilha desenvolvida e sua aplicabilidade no que tange não apenas aos perfis analisados, mas inclusive aos que venham a ter dimensões próprias e não tabeladas.

² O programa DimPerfil utilizado para validação no presente trabalho, foi obtido em: <www.cbca-acobrasil.org.br/site/biblioteca.php?codProdCategoria=7> Acesso em setembro 2019.

Tabela 2 - Comparativo Força de Tração DimPerfil x Planilha de Cálculo à Tração

COMPARATIVO DE RESULTADOS OBTIDOS - DIM PERFIL x PLANILHA DE CÁLCULO À TRAÇÃO			
PERFIS (cm)	DIMPERFIL (kN)	PLANILHA DE CÁLCULO (kN)	TAXA DE VARIAÇÃO (%)
U50x25x1,50	31,110	31,2	0,29
U50x25x3,00	59,000	58,909	-0,15
U50x25x2,65	52,780	52,8	0,04
U75x40x4,75	144,450	136,8	5,30
U100x40x1,50	57,300	57,382	0,14
U100x40x2,25	84,730	84,655	-0,09
U150x50x2,65	139,510	139,418	-0,07
U200x50x2,25	143,640	143,564	-0,05
Ue75x40x15x2,00	74,990	77,236	3,00
Ue100x40x17x3,00	127,160	127,2	0,03
Ue100x50x17x3,00	140,250	140,291	0,03
Ue150x60x20x2,00	129,530	129,6	0,05
Ue150x60x20x4,75	288,900	288,873	-0,01
Ue200x75x25x2,65	221,200	221,236	0,02
Ue250x85x25x3,00	294,730	294,764	0,01
Ue300x85x25x4,75	506,540	498,109	-1,66

Legenda	
	Perfil U
	Perfil Ue
	Variação (até 4%)
	Variação (a partir 4%)

Fonte: Costa *et al* (2020)

Com os valores da tabela 2, foi possível construir um gráfico com os resultados encontrados para cada perfil, tanto para tração (Gráfico 1) quanto para compressão (Tabela 3 e Gráfico 2). É possível notar a boa concordância entre os valores.

Gráfico 1 - Gráfico comparativo Força de Tração DimPerfil x Planilha de Cálculo à Tração

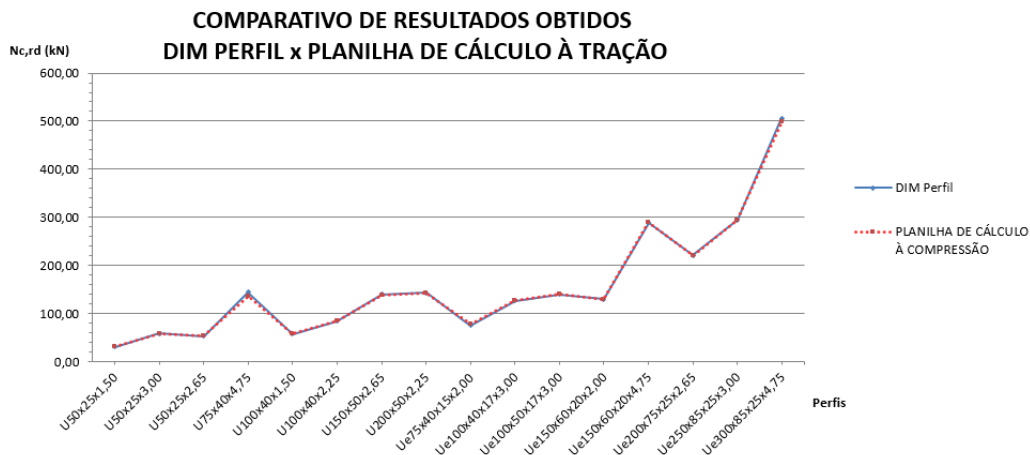






Tabela 3 - Comparativo Força de Tração DimPerfil x Planilha de Cálculo à Compressão

COMPARATIVO DE RESULTADOS OBTIDOS - DIM PERFIL X PLANILHA DE CÁLCULO À COMPRESSÃO			
PERFIS (cm)	DIMPERFIL (kN)	PLANILHA DE CÁLCULO (kN)	TAXA DE VARIAÇÃO(%)
U50x25x1,50	12,509	12,589	0,64
U50x25x3,00	22,653	22,86565	0,94
U50x25x2,65	20,491	20,68604	0,95
U75x40x4,75	94,653	93,90355	0,79
U100x40x1,50	27,550	29,84986	8,35
U100x40x2,25	53,077	55,54912	4,66
U150x50x2,65	89,848	94,41702	5,09
U200x50x2,25	69,621	72,51082	4,15
Ue75x40x15x2,00	48,580	49,90055	2,72
Ue100x40x17x3,00	91,710	94,68471	3,24
Ue100x50x17x3,00	102,870	106,2134	3,25
Ue150x60x20x2,00	87,910	85,88467	2,30
Ue150x60x20x4,75	232,210	240,708	3,66
Ue200x75x25x2,65	155,410	151,546	2,49
Ue250x85x25x3,00	200,460	191,859	4,29
Ue300x85x25x4,75	375,310	393,182	4,76

Legenda	
	Perfil U
	Perfil Ue
	Variação (até 4%)
	Variação (a partir 4%)

Fonte: Costa *et al* (2020)

Gráfico 2 - Gráfico comparativo Força de Tração DimPerfil x Planilha de Cálculo à Compressão



Fonte: Costa *et al* (2020)

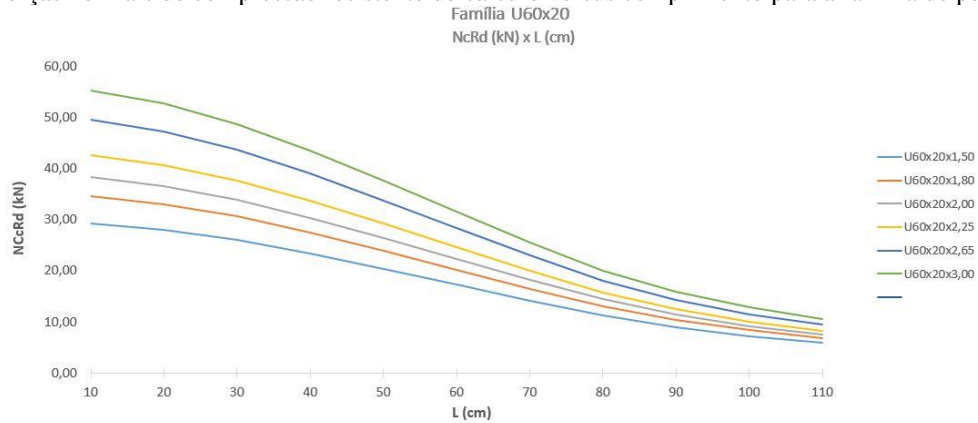
4 EXEMPLOS

4.1 CURVAS DE RESISTÊNCIA PARA OS PERFIS DO TIPO U

O gráfico 3, apresentado abaixo, mostra a variação da força axial de compressão resistente de cálculo de acordo com o comprimento da barra solicitada. Trata-se de perfis da família U60x20 que possuem tensão de escoamento (f_y) e de ruptura (f_u) iguais a 25 e 40 MPa, respectivamente. É importante salientar ainda que o aço utilizado possui módulo de elasticidade longitudinal (E) igual a 200 MPa e coeficiente de Poisson igual a 0,3. Foi considerado, pelos autores, que as barras analisadas

seriam rotuladas em suas extremidades, o que resulta em um coeficiente de flambagem (k) igual a 1 em todas as direções.

Gráfico 3 - Forças normais de compressão resistente de cálculo versus comprimento para a família de perfis U 60x20

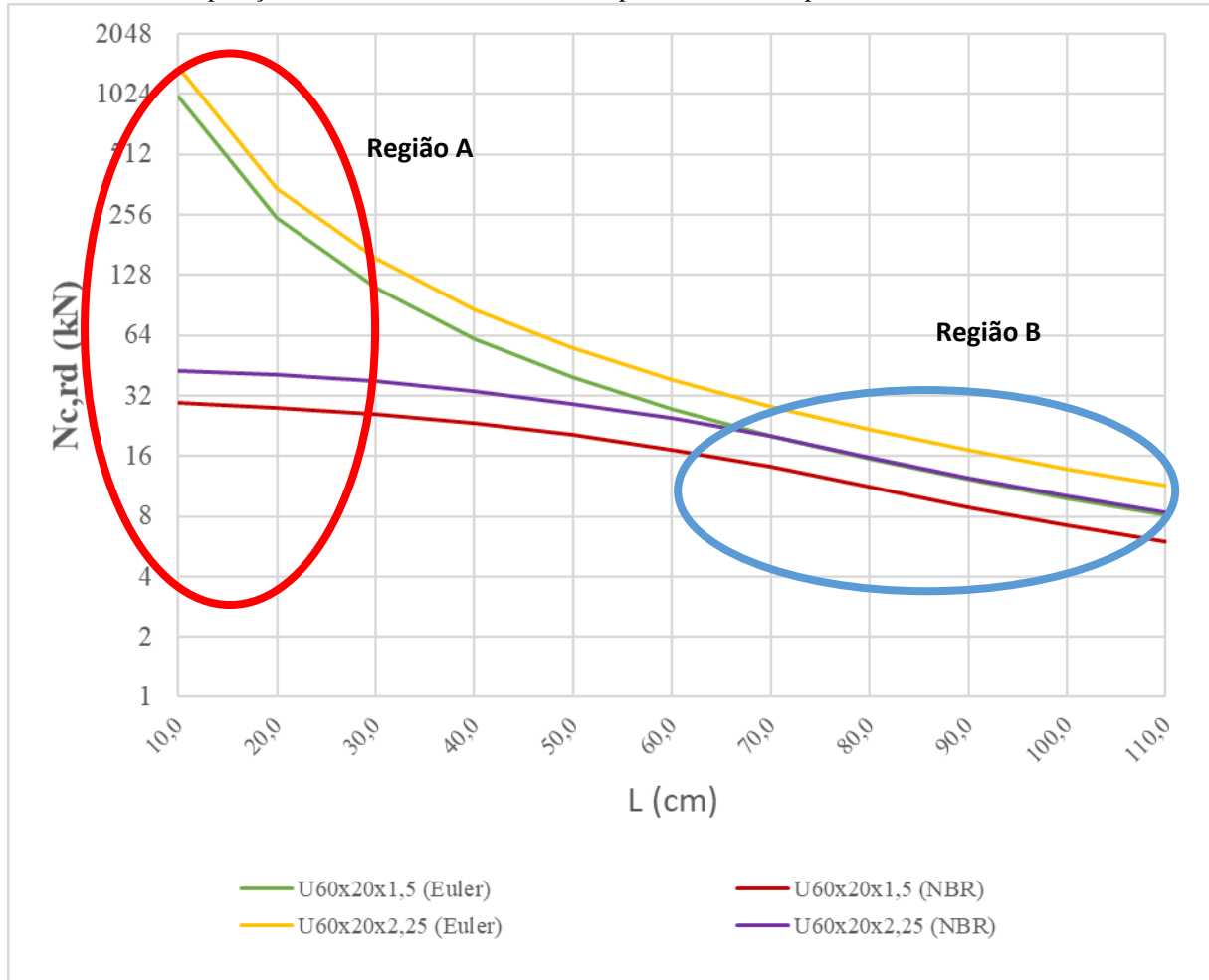


Fonte: Costa *et al* (2020)

É válido destacar que as curvas representadas acima se assemelham a uma hipérbole, sendo que a curva superior é a representada pelo perfil U 60x20x3,00, enquanto a curva representada pelo perfil U 60x20x1,50 é a curva inferior do gráfico. Levando em consideração que os perfis possuem o mesmo tipo de aço e as propriedades geométricas de altura e largura são as mesmas, observa-se que a diferença entre as curvas está condicionada à espessura dos perfis, isto é, quanto maior a espessura do perfil, maior será a força de compressão resistente de cálculo que este irá apresentar.

As curvas representadas no gráfico acima possuem distanciamento para valores pequenos de comprimento e estão mais próximas para valores grandes de comprimento, pois com o aumento do comprimento a força normal de compressão resistente de cálculo diminui.

O gráfico 4 relaciona a força resistente de cálculo com o comprimento da barra. São apresentados dois perfis pertencentes a família U 60x20 bem como a curva de resistência a compressão teórica de Euler a fim de se realizar uma análise das curvas.

Gráfico 4 - Comparação entre curvas $N_{c,rd}$ versus comprimento obtidas pela fórmula de Euler a NBR 14762

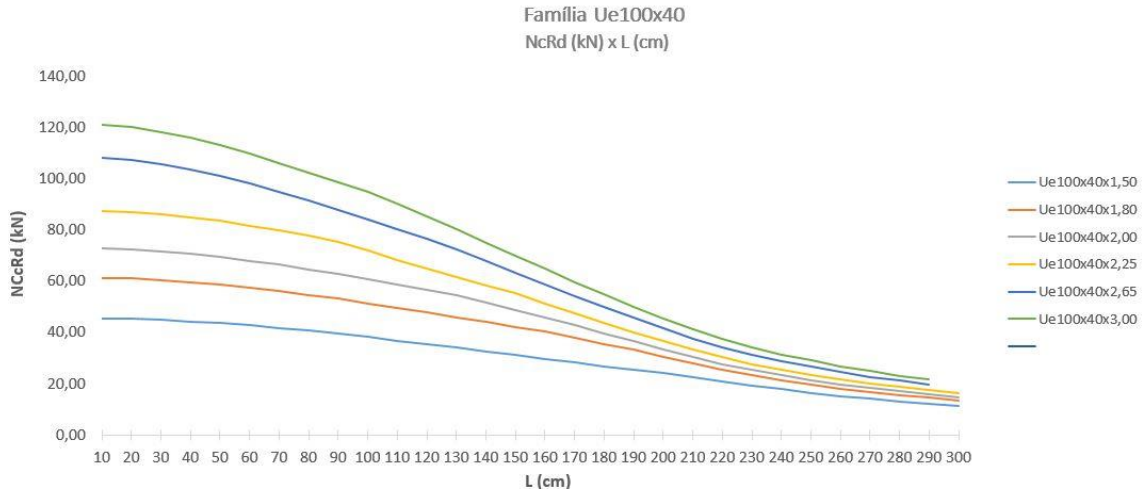
Fonte: Costa *et al* (2020)

Como pode-se observar acima, na região A, destacada em vermelho, há um distanciamento das curvas, enquanto na região B, destacada em azul, há uma aproximação. Na região A as barras são mais robustas e a falha estrutural para esta região ocorre devido ao material e à tensão de escoamento, enquanto na região B, as barras são esbeltas, sendo que a falha estrutural é devido à instabilidade que, neste caso, está relacionada à flambagem, por isso a proximidade.

4.2 CURVAS DE RESISTÊNCIA PARA OS PERFIS DO TIPO Ue

O gráfico 4, apresentado abaixo, mostra a variação da força axial de compressão resistente de cálculo de acordo com o comprimento da barra solicitada. Trata-se de perfis da família Ue 100x40 que possuem tensão de escoamento (f_y) e de ruptura (f_u) iguais a 25 e 40 MPa, respectivamente. É importante salientar ainda que o aço utilizado possui módulo de elasticidade longitudinal (E) igual a 200 MPa e coeficiente de Poisson igual a 0,3. Foi considerado, pelos autores, que as barras analisadas seriam rotuladas em suas extremidades, o que resulta em um coeficiente de flambagem (k) igual a 1 em todas as direções.

Gráfico 5 - Forças normais de compressão resistente de cálculo versus comprimento para a família de perfis U 100x40

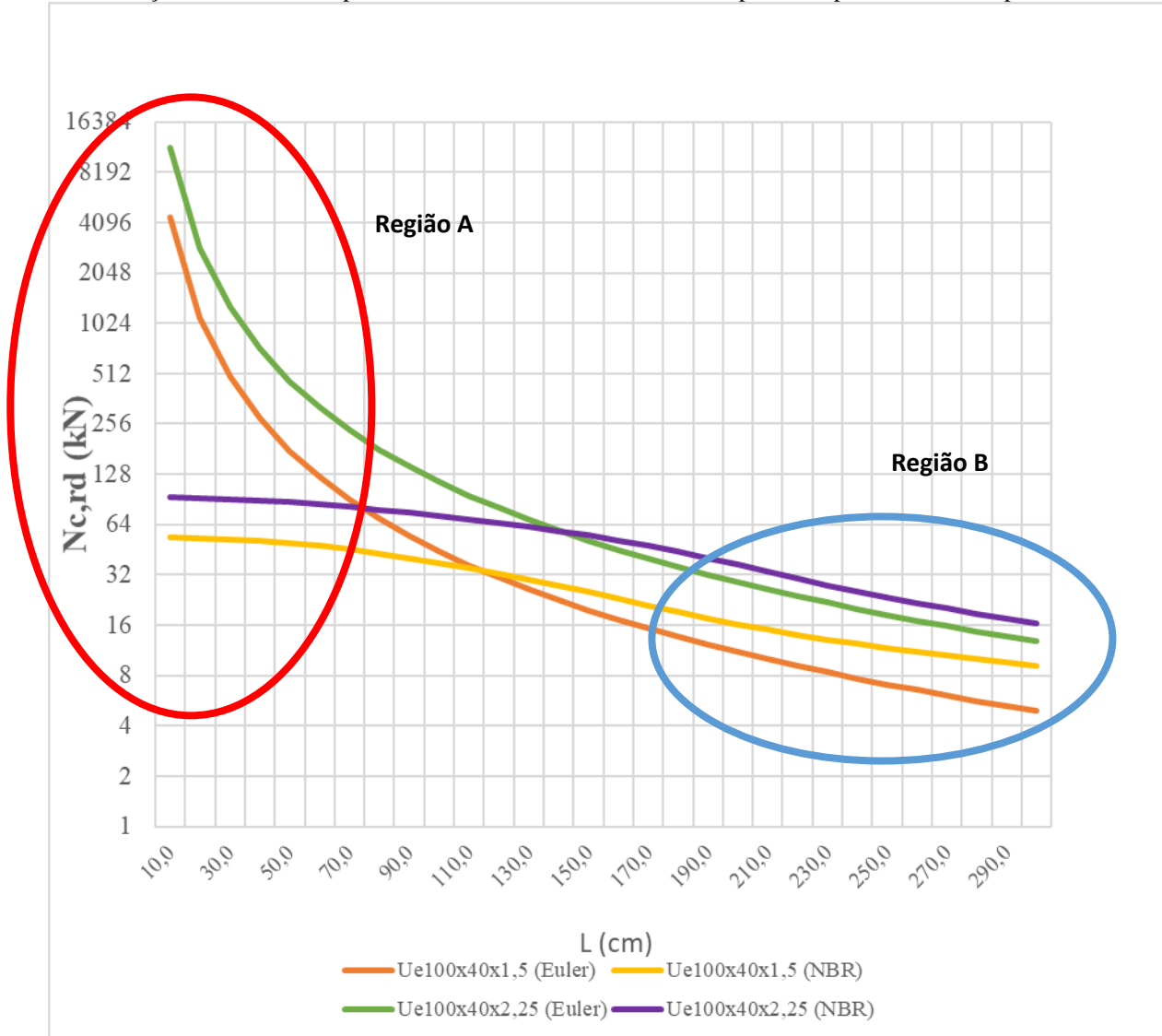


Nas curvas do Gráfico 4 é possível observar que, as curvas de forças normais resistentes de compressão de cálculo versus comprimento, para a família de perfis Ue 100x40, se assemelham a uma hipérbole.

Nota-se que a curva inferior está relacionada ao perfil Ue 100x40x1,50 enquanto a curva superior está relacionada ao perfil Ue 100x40x3,00. Assim como no exemplo anterior, considerando que os perfis são fabricados com mesmo tipo de aço e possuem mesma altura e largura, pode-se concluir que a espessura do perfil e a força de compressão resistente de cálculo estão diretamente relacionadas, quanto maior uma, maior também será a outra, estando a diferença entre as curvas relacionada com a espessura dos perfis.

Outra observação válida em relação ao gráfico acima é a de que, para pequenos valores de comprimento as curvas apresentam-se mais afastadas e para maiores valores de comprimento apresentam-se mais próximas, isto se deve ao fato de que a força normal de compressão resistente de cálculo diminui à medida que o comprimento da barra aumenta.

Gráfico 6- Forças normais de compressão resistente de cálculo versus comprimento para a família de perfis U 100x40



Fonte: Costa *et al* (2020)

No gráfico abaixo são apresentados dois perfis pertencentes a família Ue 100x40, bem como a curva de resistência a compressão teórica de Euler, a fim de se realizar uma análise das curvas relacionando a força resistente de cálculo com o comprimento da barra.

Na curva acima, a região A, destacada em vermelho, apresenta um distanciamento, enquanto na região B, destacada em azul, há uma aproximação. É válido destacar que na região A as barras são mais robustas e a falha estrutural ocorre devido ao material e à tensão de escoamento, enquanto na região B, as barras são esbeltas, e a falha estrutural está relacionada à instabilidade que, neste caso, é devido à flambagem, por isso a proximidade das curvas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido teve por principal objetivo, a elaboração de gráficos com curvas de resistência em relação ao comprimento para alguns perfis internos de montantes das paredes no sistema Light Steel Frame, U e Ue resistente à força solicitante à compressão, tendo como base a NBR 14762:2010.

Para tal desenvolveu-se uma planilha com uma base de dados de cada perfil, permitindo ao usuário escolher o perfil de acordo com sua necessidade e obter dados como força resistente de cálculo à compressão de acordo com o comprimento escolhido.

A planilha de pré-dimensionamento de cálculo, elaborada pelos autores, apresentou 08 (oito) perfis U e 08 (oito) perfis Ue. Quando comparados, os resultados foram bem próximos, o que garante eficiência aos ábacos e gráficos gerados.

Portanto, este trabalho se torna relevante e viável, uma vez que não demanda análises mais extensas, estas são resolvidas rapidamente pela ferramenta desenvolvida neste estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (Campus São Gabriel), pelo apoio e incentivo.

REFERÊNCIAS

- ALLENSTEIN , Ângela Nardelli. **Estudo da Resistência à Cavitação do Aço Inoxidável Martensítico CA6-NM Nitretado por Plasma**. 2007. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/14081/Disserta%C3%A7%C3%A3o_%C3%82ngela_N_Allenstein.pdf?sequence=1>. Acesso em: 03 set. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Sistema construtivo de casas em madeira terá norma técnica**. 2016. Disponível em: <<https://abimci.com.br/sistema-construtivo-de-casas-em-madeira-tera-norma-tecnica/>>. Acesso em: 17 jun. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762:2010**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010. 53p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355:2012**: Perfis estruturais de aços formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro, 2012. 36p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:1997**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2008**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008. 237p.
- BASTOS, Alexandre Lundgren. **Análise do Processo de Estampagem de Chapas de Aço Através da Curva Limite de Conformação**. 2009. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93161/276688.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 03 set. 2019.
- BELLEI, Ildony H. **Edifícios Industriais em aço: Projeto e cálculo**. 6. ed. rev. e atual. São Paulo: Pini, 2010.
- BRANDÃO, Thais. **Edifício Garagem América**. São Paulo: spcity, 2017. Disponível em: <<https://spcity.com.br/edificio-garagem-america-o-primeiro-estacionamento-vertical-da-cidade/>>. Acesso em: 03 set. 2019.
- CAMILLO, Luciana Dimas. **Proposição de Melhorias do Desempenho Ambiental do Processo de Produção do Aço Líquido**. 2016. Dissertação (Mestre) - Escola Politecnica, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-12122016-142730/pt-br.php>>. Acesso em: 03 set. 2019.
- CASTRO, Ana Célia; CASTRO, Antonio Barros de; CASTRO, Antonio. **O Inconformista: Homenagem do Ipea ao Mestre**. Brasília-DF: Livraria do IPEA, 2011. 164 p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=12325>. Acesso em: 6 set. 2019.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO – CBCA. **Estruturas compostas por perfis formados a frio.** Disponível em: <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/publicacoes-manuais.php>>. Acesso em: 10 set. 2019.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO – CBCA. **Steel Framing: Arquitetura.** Disponível em: <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/publicacoes-manuais.php>>. Acesso em: 10 set. 2019.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO – CBCA. **Steel Framing: Engenharia.** Disponível em: <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/publicacoes-manuais.php>>. Acesso em: 10 set. 2019.

CICHINELLI, Gisele. Obras com sistema light steel frame. **Revista Finestra**, [s. l.], ed. 104, 12 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=7409>>.

COMPARATIVO entre Wood Framing e Light Steel Framing. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <<http://steelframebrasil.com.br/quando-o-steel-frame-chegou-no-brasil-e-sua-historia/>>. Acesso em: 15 set. 2019.

COSTA, Ana Cláudia et. al. **Manual Prático de Pré-dimensionamento de Perfis U e U Enrijecidos Utilizados como Montantes de Paredes Internas de Sistemas Light Steel Frame.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2020.

ESTRUTURA em Wood Framing. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <<http://lightsteelframe.eng.br/>>. Acesso em: 15 set. 2019.

INABA, Roberto; COELHO, Catia Mac Cord Simões. A evolução da construção em aço no Brasil. **Revista arquitetura**, [S. l.], ano 10, n. 42, p. 58-59, set. 2019.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **A Idade do Ferro. Brasil, 2015.** Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/siderurgia_mundo.asp>. Acesso em: 3 set. 2019.

GIBBS, FRIESE E MANGABEIRA (2002).

<<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/viewFile/23879/20730>>.

Acessado em: 03 set. 2019

JOHN HAWKSWORTH; HANNAH AUDINO; ROB CLARRY. **The Long View: How will the global economic order change by 2050 The World in 2050**, [S. l.], February 2017. Disponível em: <<https://www.pwc.com/gx/en/world-2050/assets/pwc-the-world-in-2050-full-report-feb-2017.pdf>>. Acesso em: 6 set. 2019.

CASTRO, Antonio Barros de. **No espelho da China.** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2008. 13 p., iii (Seminários DIMAC ; 288).

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço: Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

RODRIGUES, Francisco Carlos. Steel framing: engenharia / Francisco Carlos Rodrigues, Rodrigo Barreto Caldas. - Rio de Janeiro: **Instituto Aço Brasil /CBCA**, 2016. 224 p.; 29 cm. (Serie Manual de Construção em Aço).

SANTIAGO, Alexandre Kokke Steel framing: arquitetura / Alexandre Kokke Santiago, Arlene Maria Sarmanho Freitas, Renata Cristina Moraes de Crasto. - Rio de Janeiro: **Instituto Aço Brasil/CBCA**, 2012.151p.; 29 cm. -- (Série Manual de Construção em Aço).

SANTIAGO, Alexandre Kokke; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; CRASTO, Renata Cristina Moraes de. **Steel Framing: Arquitetura** (Desenhos Técnicos Incluídos). 2. ed. Rio de Janeiro: CBCA, 2012. Disponível em: <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/publicacoes-manuais.php>>. Acesso em: 15 set. 2019.

SMITH, Jason. **Ponte em Coalbrookdale, Inglaterra**. Inglaterra: turismo, 2012. Disponível em: <<https://turismo.com/desfiladeiro-de-ironbridge/>>. Acesso em: 03 set. 2019.

VASCONCELOS, Yuri. Inovações nos aços. **Revista Pesquisa Fapesp**, São Paulo, ed. 95, Janeiro 2004. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2004/01/01/inovacoes-nos-acos/>>. Acesso em: 03 set. 2019.

WORLD IN STEEL ASSOCIATION. **World in Steel in Figures 2019**. World in Steel, Belgica, 2019. Disponível em: <<https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:96d7a585-e6b2-4d63-b943-4cd9ab621a91/World%20Steel%20in%20Figures%202019.pdf>>. Acesso em: 3 set. 2019.