

# Engenharia de Construção Civil e Urbana

Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)



# Engenharia de Construção Civil e Urbana

Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora

Ano 2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Lorena Prestes  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobom – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>Engenharia de construção civil e urbana [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-852-6 DOI 10.22533/at.ed.526191912</p> <p>1. Construção civil – Brasil. 2. Engenharia civil. I. Tullio, Franciele Braga Machado.</p> <p style="text-align: right;">CDD 624</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia de Construção Civil e Urbana” contempla dezoito capítulos com abordagens sobre as mais recentes pesquisas relacionadas a construção civil e modificação do ambiente urbano. A utilização de novas tecnologias, desenvolvimento de novos materiais promovem um avanço na construção civil, permitindo a execução de novas construções, promovendo a reutilização de diversos materiais que antes eram descartados. O uso de ferramentas computacionais permite um maior controle e gerenciamento de obras, proporcionando uma melhor compatibilização de projetos, e evitando diversos problemas na sua execução. Existem aplicativos que permitem realizar o dimensionamento de diversos elementos, contribuindo para a agilidade na execução de projetos. O estudo sobre o comportamento de materiais utilizados na construção civil permite o desenvolvimento de novas soluções, bem como o aprimoramento de sistemas construtivos existentes, proporcionando maior qualidade, eficiência e segurança às obras. A utilização de resíduos de construção e desenvolvimento de materiais, têm sido amplamente utilizados e além de gerar novas soluções, resulta em benefícios ao meio ambiente. Da mesma forma, o uso da eficiência energética também tem sido utilizado em busca de soluções sustentáveis. Ante ao exposto, esperamos que esta obra proporcione ao leitor uma leitura agradável e traga conhecimento técnico, contribuindo para uma reflexão sobre os impactos que as pesquisas geram na engenharia de construção civil e urbana, e que seu uso possa trazer benefícios a sociedade.

Franciele Braga Machado Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO EM LINGUAGEM PYTHON PARA ANÁLISE DE ESTRUTURAS UTILIZANDO O MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS	
Amanda Isabela de Campos	
DOI 10.22533/at.ed.5261919121	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>16</b>
IMPLANTAÇÃO DO BIM EM UMA EMPRESA DE PEQUENO PORTE – ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA JÚNIOR	
Rafael Braida Ribeiro	
Maurício Leonardo Aguilar. Molina	
DOI 10.22533/at.ed.5261919122	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>28</b>
VARIAÇÃO DE CALOR EM UMA PLACA: ANÁLISE EXPERIMENTAL E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	
Fábio Gaspar Santos Júnior	
Ana Carolina Carius	
Mariana Anastácia de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.5261919123	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>40</b>
UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA BIM PARA ELABORAÇÃO E EXECUÇÃO DE PROJETOS NA CIDADE DE ALFENAS-MG	
Leonardo Avelar Pereira	
Laísa Cristina Carvalho	
Iago Bernardes dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.5261919124	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>56</b>
APLICATIVOS DE SMARTPHONE COMO FERRAMENTA PARA O GERENCIAMENTO DE OBRAS	
Francisco Diego Bezerra Soares	
Guilherme Álvaro Rodrigues Maia Esmeraldo	
DOI 10.22533/at.ed.5261919125	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>69</b>
A ABORDAGEM <i>DESIGN THINKING</i> NO CURSO DE ENGENHARIA: UMA EXPERIÊNCIA NO DESAFIO DE CRIAR E INOVAR NA COMPLEXIDADE DO ENSINO E APRENDIZAGEM DA DISCIPLINA DE CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL	
Gilselene Garcia Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.5261919126	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>86</b>
INFLUÊNCIA DA COLAGEM DE LAMINADOS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV) NO REFORÇO DE LIGAÇÕES VIGA-PILAR DE ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	
Juliana Penélope Caldeira Soares	
Nara Villanova Menon	
DOI 10.22533/at.ed.5261919127	

<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>101</b>
MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO: UM ESTUDO SEMI PROBABILÍSTICO E SEUS DESDOBRAMENTOS	
Ana Carolina Carius	
Leonardo de Souza Corrêa	
Vinícius Costa Furtado da Rosa	
Alex Justen Teixeira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5261919128</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>115</b>
STUDY OF THE DURABILITY OF COMPOSITES OF EUCALYPTUS CELLULOSE FIBER STERIFIED FOR CEMENT MATRIX REINFORCEMENT	
Laís Fernanda dos Santos Marques	
Leila Aparecida de Castro Motta	
Rondinele Alberto dos Reis Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5261919129</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>121</b>
CONTROLE TECNOLÓGICO DA ARGAMASSA POR MEIO DE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
Amanda Regina de Souza Macedo	
David Edson Macedo Palhares	
Ariadne de Souza e Silva	
Rafael Alexandre Raimundo	
Cleber da Silva Lourenço	
Ruan da Silva Landolfo	
Uilame Umbelino Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191210</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>132</b>
A IMPORTÂNCIA DO EMPREGO DE MATERIAIS RETARDANTES AO FOGO NAS GALERIAS COMERCIAIS DA CIDADE DE JUIZ DE FORA	
Jenifer Pungirum Quaglio	
Maria Teresa Barbosa	
Wendell Albuquerque	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191211</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>149</b>
CONTRIBUIÇÕES PARA A UTILIZAÇÃO DE ENERGIA GEOTÉRMICA NO BRASIL	
Adriana Coelho Vieira	
Brunno Daibert Andrès	
Luis M. Ferreira Gomes	
Peter Kallberg	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191212</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>166</b>
ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO SIMPLES COM ADIÇÃO DE CINZA DE CANA-DE-AÇÚCAR	
Ítalo Diego e silva morais	
Ariele Rebeca Martins ribeiro	
Francisco Willian Policarpo de Albuquerque	
Walber Alves Freitas	
Francisca Lucivania policarpo de Albuquerque	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191213</b>	

<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>177</b>
ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE USINA RECICLADORA DE RESÍDUOS DE CONCRETO NA INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE MOSSORÓ/RN	
Adeirton Gois de Lima	
Francisco Herikleptom Mariano da Costa	
Lucas Allan Saldanha dos Santos	
Hannah Lerissa Hydaradaya Moura Santos de Farias	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191214</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>188</b>
COMPORTAMENTO DE BLOCOS DE TRANSIÇÃO COM PERFIL METÁLICO <i>Behavior of steel pile cap</i>	
Rodrigo Gustavo Delalibera	
Marcell Godoi Sivelli	
José Samuel Giongo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191215</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>206</b>
ESTUDO COMPARATIVO DA ASSOCIAÇÃO DE MEMBROS DE TRELIÇAS ISOSTÁTICAS	
Francisca Ires Vieira de Melo	
Leonardo Henrique Borges de Oliveira	
Layane Silva de Amorim	
Lourena Barbosa Cavalcante Paiva	
Sara Fernandes Rocha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191216</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>225</b>
FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS ALTOS SEGUNDO DUAS VERSÕES: A SUGERIDA PELA NBR 6123/1988 E OUTRA SIMPLIFICADA	
Marcus Vinicius Paula de Lima	
Nara Villanova Menon	
Maicon de Freitas Arcine	
Juliana Penélope Caldeira Soares	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191217</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>240</b>
COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO SUBMETIDOS À COMPRESSÃO DE ACORDO COM A NBR 14762:2010	
Amanda Isabela de Campos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191218</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>260</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>261</b>

## COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO SUBMETIDOS À COMPRESSÃO DE ACORDO COM A NBR 14762:2010

**Amanda Isabela de Campos**

Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
Programa de Engenharia Civil, COPPE, Rio de  
Janeiro - RJ

**RESUMO:** A norma brasileira NBR 14762 aborda o dimensionamento de perfis de aço formados a frio (PFF). Dessa forma nesse trabalho foi desenvolvido um algoritmo que automatiza o dimensionamento de colunas de aço formados a frio submetidas a compressão centrada, de acordo com os dois métodos apresentados na norma: o método clássico, semelhante ao dimensionamento de perfis de aço laminados e o método da rigidez direta (MRD), que é um procedimento mais recente incorporado nas normas e se difere dos demais pela sua simplicidade no dimensionamento dos PFF. Nesse trabalho, foram calculadas, com as duas diferentes abordagens e comparadas, as cargas críticas e resistência à compressão de 20 perfis do tipo U enrijecido. O método da resistência direta garante que após determinadas as forças críticas de flambagem elástica da seção (local, global e distorcional) e o carregamento que ocorre o escoamento da seção, a resistência do perfil pode ser diretamente determinada. Nesse trabalho foi utilizado como ferramenta auxiliar para o cálculo numérico de determinação das forças críticas de

flambagem o programa livre e gratuito GBTul. E por fim a comprovação de que o método da resistência direta, apresentado no Anexo C da norma, é a uma ferramenta simples e de bons resultados na determinação da resistência à compressão de colunas. Portanto, a utilização do algoritmo proposto torna eficaz, segura e precisa a determinação da resistência de cálculo dos perfis de aço formados a frio, desta maneira, tornando mais confiável e econômico o trabalho do projetista.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dimensionamento, perfis de aço formados a frio, método da resistência direta.

### COMPARISON OF DESIGN METHODS FOR COLD-FORMED STEEL PROFILES SUBMITTED TO COMPRESSION ACCORDING TO NBR 14762:2010

**ABSTRACT:** The Brazilian standard NBR 14762 (ABNT, 2010) addresses key design information for cold formed steel profiles, such as PFF, for the most usual dimensions found in the market. In this way, an algorithm was developed that automates the design of cold formed steel columns subjected to centered compression, according to the two methods presented in the standard (the classic method, already validated and similar to the dimensioning of rolled steel profiles and the direct stiffness method (MRD), which is a more recent procedure incorporated

in the standards and differs from the others for its simplicity, ease and flexibility in the design of the PFF by determining the critical elastic buckling stresses (global, local and distortional) of the profile. In this work as an example, the critical loads and compressive strength of 20 stiffened U-profiles were calculated with the two different approaches and compared, whose dimensions are found in manufacturer's tables. The direct resistance method ensures that after determined the critical forces of elastic buckling of the section (local, global and distortional) and loading that occurs the flow of the section, the strength of the profile can be directly determined. In this work was used as an auxiliary tool for numerical calculation of determination of critical forces of buckling the free and free GBTul program. Finally, the proof that the direct resistance method presented in attachment C of the standard is a simple and good tool in determining the resistance to compression of columns. Therefore, the use of the proposed algorithm makes the calculation resistance of the cold formed steel elements effective, safe and precise, in this way, making the work of the designer engineer more reliable and economical.

**KEYWORDS:** Design methods, cold formed steel profiles, direct strength method.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os perfis formados a frio (PFF) são uma interessante opção para a construção civil uma vez que possuem um processo de fácil fabricação, resultando em peças leves e baratas. Em geral são constituídos por seções abertas de paredes delgadas de chapas finas de aço laminadas à frio ou a quente, que são posteriormente dobradas resultando em elevadas relações largura/espessura dos elementos (CHODRAUI, 2006).

Devido a forma de fabricação os perfis formados à frio quando aplicados como colunas geram estruturas leves e esbeltas, isso pode ser uma vantagem do ponto de vista estático, porém um problema do ponto de vista estrutural uma vez que colunas esbeltas submetidas à compressão possibilitam a ocorrência de fenômenos de instabilidade global (onde a peça toda sofre flambagem), ou local (problema de instabilidade da chapa) ou distorção da seção transversal (SCHAFER, 2001). Esses são os chamados modos de flambagem e a NBR indica diretrizes para dimensionamento de perfis de aço formados à frio na compressão evitando a ocorrências desses fenômenos, isolados ou combinados.

A ocorrência de fenômenos de flambagem está diretamente relacionada com o formato e dimensões da seção transversal, o comprimento da coluna e as propriedades do aço. Na figura 1 está indicado a nomenclatura adotada para as dimensões de um perfil U enrijecido.



Figura 1 - Típico perfil U enrijecido

Nesse trabalho será realizado um estudo do comportamento estrutural de 20 colunas formadas a partir de seções U enrijecido sujeitas a compressão axial, o objetivo é calcular a resistência final da coluna pelo método normativo e pelo método da resistência direta (MRD) com o auxílio da ferramenta numérica baseada na “Generalised Beam Theory”. Dessa forma serão comparados os resultados obtidos por duas abordagens e comprovado que ambas coincidem nos mesmos valores.

A Norma ABNT NBR 6355:2012 – “Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio - Padronização” estabelece os requisitos exigíveis para perfis estruturais de aço formados a frio, com seção transversal aberta, determinando dimensões e propriedades geométricas de perfis usuais no mercado. Nesse trabalho foram tomados como exemplo 20 desses perfis, suas dimensões estão indicadas na tabela 1 e as propriedades geométricas necessárias para o dimensionamento estão na tabela 2.

Seção	$b_w$ (mm)	$b_f$ (mm)	D (mm)	t (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )
1	300	100	25	2,65	14,11
2	300	85	25	4,75	23,22
3	300	85	25	2	10,14
4	250	100	25	3	14,41
5	250	85	25	2	9,14
6	200	100	25	2,65	11,46
7	200	75	25	4,75	14,52
8	200	75	25	2,65	10,14
9	200	75	20	2	7,54
10	150	60	20	3,35	9,65
11	150	60	20	2	5,94
12	125	50	17	3	7,18
13	125	50	17	2	4,92
14	100	50	17	3	6,43
15	100	50	17	1,2	2,71
16	100	40	17	2	4,02
17	100	40	17	1,2	2,47
18	75	40	15	3	4,96
19	75	40	15	1,2	2,13
20	50	25	10	1,2	1,35

Tabela 1 - Dimensões das Seções transversais

### 1.1 Definição da propriedades geométricas da seção transversal

Como dito, as propriedades geométricas utilizadas nos cálculos foram obtidas por norma, e a terminologia empregada segue essa norma, portanto, alguns símbolos e seus respectivos significados precisam ser definidos, são eles:

A - área da seção

$E$  - módulo de elasticidade:  $E = 200 \text{ GPa}$

$f_y$  - limite de escoamento:  $f_y = 345 \text{ MPa}$

$n$  - coeficiente de Poisson:  $\nu = 0.3$

$I_x, I_y$  - momentos de inércia da seção bruta em relação aos eixos principais  $x$  e  $y$ , respectivamente

$r_x, r_y$  - raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal  $x$  e  $y$ , respectivamente

$X_g, Y_g$  - centro de massa

$x_0$  - distância do centro de torção ao centróide, na direção do eixo  $x$

$r_0$  - raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção

$$r_0 = [r_x^2 + r_y^2 + x_0^2]^{0.5}$$

$J$  - constante de torção da seção

$G$  - módulo de elasticidade transversal

$C_w$  - constante de empenamento da seção

$K_x L_x, K_y L_y$  - comprimento efetivo de flambagem, nesse trabalho considerado igual ao comprimento da barra.

Seção	$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	$r_x$ (cm)	$X_g$ (cm)	$X_0$ (cm)	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	$r_y$ (cm)	$C_w$ (cm <sup>6</sup> )	$r_0$ (cm)
1	1920,58	11,67	2,72	6,79	178,97	3,56	32115,67	13,96
2	2959,01	11,29	2,2	5,33	193,55	2,89	35606,89	12,82
3	1339,09	11,49	2,2	5,64	93,89	3,04	17055,02	13,16
4	1408,08	9,89	2,98	7,25	188,58	3,62	24048,03	12,78
5	871,52	9,77	2,43	6,09	88,98	3,12	11477,06	11,93
6	750,68	8,09	3,31	7,89	157,2	3,7	13447,29	11,89
7	1036,95	7,69	2,32	5,42	124,95	2,67	10910,56	9,79
8	621,67	7,83	2,33	5,67	78,69	2,79	6862,49	10,06
9	467,42	7,88	2,2	5,42	56,3	2,73	4615,39	9,94
10	327,7	5,83	1,92	4,5	45,65	2,18	2275,9	7,68
11	207,59	5,91	1,93	4,66	30,02	2,25	1498,57	7,86
12	168,35	4,84	1,61	3,75	23,44	1,81	817,11	6,39
13	118,35	4,91	1,61	3,87	17,04	1,86	594,42	6,52
14	99,3	3,93	1,78	4,06	21,66	1,84	521	5,94
15	44,15	4,03	1,79	4,28	10,12	1,93	246,61	6,91
16	60,66	3,89	1,38	3,27	9,25	1,52	227,57	5,3
17	38,29	3,93	1,38	3,36	6,01	1,56	148,49	5,41
18	42,08	2,91	1,5	3,34	10,58	1,46	155,27	4,67
19	19,32	3,02	1,51	3,56	5,14	1,55	76,95	4,92
20	5,24	1,97	0,93	2,17	1,23	0,95	8,13	3,08

Tabela 2- Propriedades geométricas das seções

## 2 I FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Instabilidade Global e Distorcional

Em 1759, Euler propôs uma equação para o cálculo da força normal crítica de

flambagem elástica de barras submetidas à compressão. Segundo GARCIA (2016) a carga crítica ou ponto crítico que ocorre a flambagem, depende das dimensões da seção da barra, do tipo de vinculação e do comprimento livre. E sabe-se que encontrar a carga crítica está diretamente relacionado com a estabilidade da estrutura e seu equilíbrio.

Dessa forma pode-se afirmar que a carga crítica indica um ponto de transição entre o equilíbrio estável e instável da estrutura. A carga crítica de Euler calculada com a equação (1) representa a menor carga que gera uma mudança no estado de equilíbrio da coluna idealizada (IYENGAR, 1986).

$$P_E = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (1)$$

## 2.2 Instabilidade Global

Um perfil monossimétrico do tipo U enrijecido pode sofrer flambagem global por flexão, em torno do eixo perpendicular ao de simetria, de acordo com a formulação de flambagem elástica proposta por Euler (Equação 1) ou por flexo-torção (flexão em torno do eixo de simetria e rotação em torno do centro de torção). A flambagem por flexo-torção ocorre quando uma coluna ao ser carregada com uma força de compressão no centro de gravidade da seção, para o caso do perfil U enrijecido o centro de torção e o centro de gravidade estão localizados em pontos diferentes o que gera deslocamentos em forma de flexão e torção, neste caso diz que essa barra sofreu flambagem por flexo-torção.

## 2.3 Instabilidade Distorcional

A instabilidade distorcional está relacionada com a distorção da seção transversal, ou seja, com a flexão de um ou mais elementos acompanhados pelo deslocamento das arestas que ligam esses elementos, ao contrário da flambagem local onde as arestas não se deslocam (HANCOCK, 2003), um esquema de seções do tipo U enrijecido nesses modos de flambagem pode ser observado na figura 2. As principais teorias já consolidadas para análise de instabilidade distorcional são o Método dos Elementos Finitos (MEF), o Método das Faixas Finitas (MFF) e a Teoria Generalizada de Viga (GBT) – desenvolvido por Silvestre & Camotim (2004), (BEBIANO et. al, 2010)

## 3 | DIMENSIONAMENTO DE COLUNAS SOB COMPRESSÃO

A norma ABNT NBR 14762:2010 indica o procedimento de dimensionamento de barras submetidas à força axial de compressão utilizando o chamado método das seções efetivas. As equações a seguir resumem a formulação recomendada por

norma. O dimensionamento, como nos principais casos de engenharia, é baseado na condição das forças resistentes de cálculo serem maiores ou iguais que as forças solicitantes.

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (2)$$

### 3.1 Flambagem Global por flexão, por torção ou por flexo-torção

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma \quad (\gamma = 1,20) \quad (3)$$

$$\text{Para } \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_0^2}, \text{ onde } \lambda_0 = \left( \frac{A f_y}{N_e} \right)^{0,5} \quad (4)$$

$$\text{Para } \lambda_0 > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (5)$$

Para perfis monossimétricos, como é o caso do tipo U enrijecido, no problema de compressão axial a norma NBR 14762:2010 indica que a força axial de flambagem global elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos em a) e b).

a) Força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo principal y:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (6)$$

b) Força axial de flambagem global elástica por flexo-torção:

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left[ 1 - (x_0/r_0)^2 \right]} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{ex}N_{ez} \left[ 1 - (x_0/r_0)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] \quad (7)$$

Onde:

Força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo principal

x:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} \quad (8)$$

Força axial de flambagem global elástica por torção:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \quad (9)$$

### 3.1.1 Método da seção efetiva para cálculo da área efetiva ( $A_{ef}$ )

$$A_{ef} = A \text{ para } \lambda_p \leq 0,776 \quad (10)$$

$$A_{ef} = A \left( 1 - \frac{0,15}{\lambda_p^{0,8}} \right) \frac{1}{\lambda_p^{0,8}} \text{ para } \lambda_p > 0,776 \quad (11)$$

$$\lambda_p = \left( \frac{\chi A f_y}{N_l} \right)^{0,5}, \text{ onde } N_l = k_l \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{b_w}{t} \right)^2 A \quad (12)$$

Os valores de  $k_l$  (coeficiente de flambagem local) para uma seção U enrijecido

$$k_l = 6,8 - 5,8\eta + 9,2\eta^2 - 6,0\eta^3, \text{ onde } \eta = b_f/b_w \quad (13)$$

## 3.2 Flambagem distorcional

$$N_{c,Rd} = \chi_{dist} A f_y / \gamma \quad (\gamma=1,20) \quad (14)$$

$$\text{Onde: } \chi_{dist} = 1 \text{ para } \lambda_{dist} \leq 0,561 \quad (15)$$

$$\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,25}{\lambda_{dist}^{1,2}}\right) \frac{1}{\lambda_{dist}^{1,2}} \text{ para } \lambda_{dist} > 0,561 \text{ onde } \lambda_{dist} = \left(\frac{A f_y}{N_{dist}}\right)^{0,5} \quad (16)$$

$N_{dist}$  é a força axial de flambagem elástica obtida com uma análise de estabilidade elástica.

### 3.3 Método da Resistência Direta

O método exposto anteriormente consiste em determinar a resistência de um perfil a partir do cálculo das propriedades geométricas efetivas de uma seção, o que pode ser considerado um processo trabalhoso, então SCHAFFER e PEKÖZ (1998) propuseram o Método da Resistência Direta (MRD) como uma alternativa ao método das larguras efetivas.

O chamado Método da Resistência Direta presente no anexo C da Norma NBR 14762:2010, corresponde a uma alternativa para o dimensionamento, utilizando as propriedades da seção bruta. Porém uma análise elástica com ferramentas numéricas é necessária, para isso nesse trabalho será utilizado o *GBTul*.

### 3.4 GBTul

O programa *GBTul* desenvolvido no Instituto Superior Técnico de Lisboa (2000) realiza as análises de flambagem elástica de perfis de aço formados a frio a partir do método GBT (*Generalised Beam Theory*). É disponível gratuitamente no site do grupo de pesquisa e é uma poderosa ferramenta na obtenção de tensões de flambagem elástica para barras de perfis formados a frio.

A figura 2 apresenta um típico resultado de análise de estabilidade elástica de um perfil U enrijecido que é um gráfico relacionando o comprimento do perfil e sua carga crítica. Nota-se que o primeiro ramo do gráfico é referente a flambagem local e o segundo ramo corresponde ao modo distorcional, e por fim o terceiro ramo corresponde a flambagem global. Os valores mínimos serão então multiplicados pela tensão de escoamento do material resultando nas tensões de flambagem elástica de cada modo. Esse tipo de gráfico é conhecido na literatura como “Curva de assinatura” e é o que será retirado como resultado no programa *GBTul* para cálculo da resistência dos perfis.



Figura 2 - Exemplo de curva de assinatura para perfil U enrijecido. Fonte GARCIA (2015)

As tensões críticas são obtidas nos pontos de mínimo da curva dado pelo programa para cada modo (local  $N_l$ , distorcional  $N_{dist}$  e global  $N_e$ ), estes resultados para as seções de estudo estão indicados na tabela 3. O programa divide os modos de flambagem em números onde, os primeiros quatro modos representam os modos globais caracterizados pelo movimento de corpo rígido da seção, os modos 5 e 6 são distorcionais e todos os outros são modos locais de placa. Esses resultados representam a carga crítica em cada modo, ou seja, a partir dessa determinada carga a coluna entram em instabilidade.

	<b>Modos Globais</b>	<b>Modos Locais</b>	<b>Modos Distorcionais</b>
	<b>N<sub>e</sub></b>	<b>N<sub>l</sub></b>	<b>N<sub>dist</sub></b>
<b>Seção 1</b>	3401,8513	118,0790	262,7628
<b>Seção 2</b>	4858,4028	655,4768	1100,4144
<b>Seção 3</b>	2030,7036	48,9290	139,3280
<b>Seção 4</b>	3028,0222	218,4573	404,3616
<b>Seção 5</b>	1645,3640	61,9339	169,3014
<b>Seção 6</b>	1903,3678	207,1366	341,8558
<b>Seção 7</b>	2599,8079	1097,4710	1412,4363
<b>Seção 8</b>	1413,0824	190,5679	419,7442
<b>Seção 9</b>	957,5920	79,8373	196,5456
<b>Seção 10</b>	503,3730	111,6701	238,3044
<b>Seção 11</b>	503,3730	111,6701	238,3044
<b>Seção 12</b>	469,6112	452,9629	589,3253
<b>Seção 13</b>	300,3203	136,1154	232,4302
<b>Seção 14</b>	349,1937	671,8038	638,0743
<b>Seção 15</b>	127,4611	42,9954	90,2260
<b>Seção 16</b>	182,4920	189,1732	288,0149
<b>Seção 17</b>	104,3751	40,8614	91,1715
<b>Seção 18</b>	196,7549	1159,3727	720,7528
<b>Seção 19</b>	64,3887	73,3304	97,1372
<b>Seção 20</b>	21,7188	186,7257	104,6128

Tabela 3 – Forças axiais de compressão obtidas com o GBtul (Valores em kN)

### 3.5 O Algoritmo

De posse dos resultados da tabela 3 é possível calcular a resistência à compressão de cada perfil pelo método da resistência direta e comparar com o cálculo realizado utilizando as indicações da norma, para automatizar todos esses cálculos foi implementado um algoritmo na linguagem de programação gratuita *Python*, definindo assim um algoritmo de sintaxe simples e direta e por fim estão a comparação entre todos os resultados. A parte principal do algoritmo está reproduzida a seguir, para funcionar uma leitura de propriedades geométricas da seção é feita inicialmente.

```

#Força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo x:
Nex = (math.pi)**2 * E * I2 / (Kx * Lx)**2 *10**-6 ##kN

#Força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo y
Ney = (math.pi)**2 * E * I1 / (Ky * Ly)**2 *10**-6 ##kN

#Força axial de flambagem global elástica por torção
rx = math.sqrt(Ix/A)
ry = math.sqrt(Iy/A)
x0 = np.abs(XPP)
kz=1.
#x0 = (21.955967741521288)
r0 = math.sqrt(rx**2 + ry**2 + x0**2 )
Nez = 1/(r0**2)*(((math.pi)**2 * E * Iw)/((Kz*Lz)**2)) *10**-6 ##kN
Nez = Nez +G*J/(r0**2)

#Força axial de flambagem global elástica por flexo-torção:
Nexz = (Nex + Nez) / (2*(1-(x0/r0)**2))*(1-math.sqrt(1-
-(4*Nex*Nez*(1-(x0/r0)**2))/((Nex+Nez)**2)))

#Força axial de flambagem global elástica Ne
Ne = min(Ney,Nexz)

#Força axial de compressão resistente de cálculo Nc,Rd:
#Índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global:
l0 = math.sqrt(A*fy/(Ne*10**3))
print(l0)
#Fator de redução da força axial de compressão resistente:
if (l0<=1.5):
    X = 0.658**(l0)**2
if (l0>1.5):
    X = 0.877/(l0)**2

#Área efetiva da seção transversal da barra:
#no método da seção efetiva (MSE)
#Coeficiente de flambagem local:
n = bf/bw
if (bl == 0):

```

```

kl = 4 + 3.4*n+21.8*n**2-174.3*n**3+319.9*n**4-237.6*n**5+63.6*n**6

if ((n<0.1) | (n>1.0)):
    print("ERRO")
    arq.close()

if (bl != 0):
    kl = 6.8-5.8*n+9.2*n**2-6*n**3
    if ((n<0.1) | (n>1.0)):
        if ((bl/bw<0.1) | (bl/bw>0.3)):
            print("ERRO")
            arq.close()

#Força axial de flambagem local elástica:
Nl = kl* (math.pi)**2 * E / (12*(1-v**2)*(bw/t)**2)*A #kN

lp = math.sqrt(X*A*fy/(Nl*10**3))
if (lp<=0.776):
    Aef = A

if (lp>0.776):
    Aef = A*(1-0.15/lp**0.8)*(1/lp**0.8) #mm²
#Força axial de compressão resistente de cálculo:
Nc_Rd = X*Aef*fy/1.2 * 10**-3 #kN

##Método da resistência direta:
#- Flambagem global da barra por flexão, torção ou flexo-torção #GBTul
Ne= 182.4920
Nl= 189.1732
Ndist=288.0149

l0 = math.sqrt(A*fy/(Ne*10**3))
if (l0<=1.5):
    X = 0.658**(l0)**2
if (l0>1.5):
    X = 0.877/(l0)**2

```

```

Nc_Re = X*A*fy * 10**-3 #kN
# Flambagem Local #GBTul
l1 = (Nc_Re/Nl)**0.5
if (l1<=0.776):
    Nc_Rl = Nc_Re
if (l1>0.776):
    Nc_Rl = (1 - (0.15/(l1**0.8)))*(Nc_Re/(l1**0.8))
# Flambagem distorcional #GBTul
ldist = math.sqrt(A*fy/(Ndist*10**3))
if (ldist <= 0.561):
    Nc_Rdist = A*fy * 10**-3 #kN
if (ldist > 0.561):
    Nc_Rdist = (A*fy /ldist**1.2)*(1-0.25/(ldist**1.2))*10**-3
Nc_Rk = min(Nc_Re,Nc_Rl,Nc_Rdist)
arq.close()

```

## 4 | RESULTADOS

Na tabela 4 estão apresentados os resultados de força axial de flambagem global em todas as direções, para os 20 perfis exemplos, utilizando as duas propostas de cálculo automatizadas com o algoritmo e a diferença entre os resultados. Pode-se observar que em nenhum caso a diferença foi maior que 1,42%.

		<b>Modo 2</b>	<b>Modo 3</b>	<b>Modo 4</b>	<b>Modos 2 e 4</b>
		<b>N<sub>ex</sub></b>	<b>N<sub>ey</sub></b>	<b>N<sub>ez</sub></b>	<b>N<sub>exz</sub></b>
<b>Seção 1</b>	<b>Norma</b>	40223,1358	3962,3964	3477,3016	3399,4670
	<b>GBTul</b>	40267,6330	3963,9733	3479,2924	3401,8513
	<b>Diferença</b>	0,11%	0,04%	0,06%	0,07%
<b>Seção 2</b>	<b>Norma</b>	65850,7357	4857,7923	4964,6441	4889,3576
	<b>GBTul</b>	65851,0360	4858,4028	4965,4706	4890,2774
	<b>Diferença</b>	0,00%	0,01%	0,02%	0,02%
<b>Seção 3</b>	<b>Norma</b>	27725,5874	2043,2488	2061,4500	2030,6354
	<b>GBTul</b>	27725,6110	2043,2945	2061,5109	2030,7036
	<b>Diferença</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Seção 4</b>	<b>Norma</b>	29979,8116	4245,2623	3141,3095	3027,8000
	<b>GBTul</b>	29979,9010	4245,3943	3141,4662	3028,0222
	<b>Diferença</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
<b>Seção 5</b>	<b>Norma</b>	18135,6218	1936,8339	1689,6208	1645,3011
	<b>GBTul</b>	18135,6450	1936,8731	1689,6718	1645,3640
	<b>Diferença</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Seção 6	Norma	15945,9773	3485,8274	2015,1588	1899,3066
	GBTul	15965,7970	3488,1014	2019,0616	1903,3678
	Diferença	0,12%	0,07%	0,19%	0,21%
Seção 7	Norma	23931,2946	3218,2936	2703,9211	2599,0783
	GBTul	23931,5570	3218,7296	2704,4589	2599,8079
	Diferença	0,00%	0,01%	0,02%	0,03%
Seção 8	Norma	13350,1272	1793,7756	1468,3432	1412,9573
	GBTul	13350,1730	1793,8513	1468,4354	1413,0824
	Diferença	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%
Seção 9	Norma	9838,2191	1245,8789	989,3072	957,5402
	GBTul	9838,2391	1245,9102	989,3462	957,5920
	Diferença	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
Seção 10	Norma	7450,4264	1137,6950	910,5390	868,4752
	GBTul	7450,5002	1137,8112	912,1322	870,2604
	Diferença	0,00%	0,01%	0,17%	0,21%
Seção 11	Norma	4447,7306	678,7694	526,7492	503,3317
	GBTul	4447,7465	678,7942	526,7771	503,3730
	Diferença	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%
Seção 12	Norma	3869,4174	594,2162	493,2795	469,4910
	GBTul	3869,4615	594,2860	493,3603	469,6112
	Diferença	0,00%	0,01%	0,02%	0,03%
Seção 13	Norma	2579,4471	395,8826	314,2272	299,7614
	GBTul	2579,4603	395,9033	314,8287	300,3203
	Diferença	0,00%	0,01%	0,19%	0,19%
Seção 14	Norma	2325,9716	551,0154	377,0105	347,3990
	GBTul	2326,0157	551,0743	379,0537	349,1937
	Diferença	0,00%	0,01%	0,54%	0,52%
Seção 15	Norma	930,2394	220,2062	135,3670	125,5343
	GBTul	930,2423	220,2100	137,2841	127,4611
	Diferença	0,00%	0,00%	1,42%	1,53%
Seção 16	Norma	1353,0649	221,7474	193,0461	181,8359
	GBTul	1353,0753	221,7649	193,7751	182,4920
	Diferença	0,00%	0,01%	0,38%	0,36%
Seção 17	Norma	803,8729	132,3665	109,1870	102,9837
	GBTul	811,8008	132,9845	110,4881	104,3751
	Diferença	0,99%	0,47%	1,19%	1,35%
Seção 18	Norma	1037,9592	286,4181	218,6596	194,7304
	GBTul	1037,9944	286,4643	221,1481	196,7549
	Diferença	0,00%	0,02%	1,14%	1,04%

Seção 19	Norma	415,0643	114,4106	70,6773	64,3839
	GBTul	415,0666	114,4135	70,8369	64,5195
	Diferença	0,00%	0,00%	0,23%	0,21%

Seção 20	Norma	118,0547	29,3203	23,9506	21,5141
	GBTul	118,0561	29,3223	24,2037	21,7188
	Diferença	0,00%	0,01%	1,06%	0,95%

Tabela 4 – Comparação entre os resultados (Valores em kN)

A tabela 5 apresenta a diferença percentual entre os valores de força axial de compressão resistente de cálculo. O principal objetivo aqui é comparar o método de resistência direta como o método proposto pela norma, pode-se observar que para os 20 tipos de perfis escolhidos como exemplo a diferença nunca foi maior que 1%.

Seção	1	2	3	4	5	6	7
<b>Norma</b>	205,67	523,77	119,19	260,17	121,72	217,26	491,53
<b>MRD</b>	206,69	526,73	119,93	260,61	122,03	217,61	491,54
<b>%</b>	0,49%	0,56%	0,62%	0,17%	0,26%	0,16%	0,00%

Seção	8	9	10	11	12	13	14
<b>Norma</b>	192,73	115,66	251,22	107,94	175,90	97,26	150,75
<b>MRD</b>	193,48	116,10	251,31	108,19	175,91	97,93	150,97
<b>%</b>	0,39%	0,38%	0,04%	0,23%	0,01%	0,68%	0,15%

Seção	15	16	17	18	19	20
<b>Norma</b>	41,04	87,23	36,90	105,73	34,94	15,72
<b>MRD</b>	41,17	87,70	37,02	106,18	34,95	15,87
<b>%</b>	0,32%	0,54%	0,32%	0,42%	0,00%	0,95%

Tabela 5 - Força axial de compressão resistente

Na figura 3 estão apresentados os três modos de flambagem de colunas, observa-se que para comprimento que foi desenvolvido o trabalho ( $L = 100\text{cm}$ ) a seção 10 desenvolve um modo local e a seção 20 um modo global, como indicado nas contas, como nenhum perfil exibe flambagem distorcional nesse comprimento a seção 20 com  $L = 24\text{cm}$  foi exemplificada na figura com a identificação desse modo de flambagem.

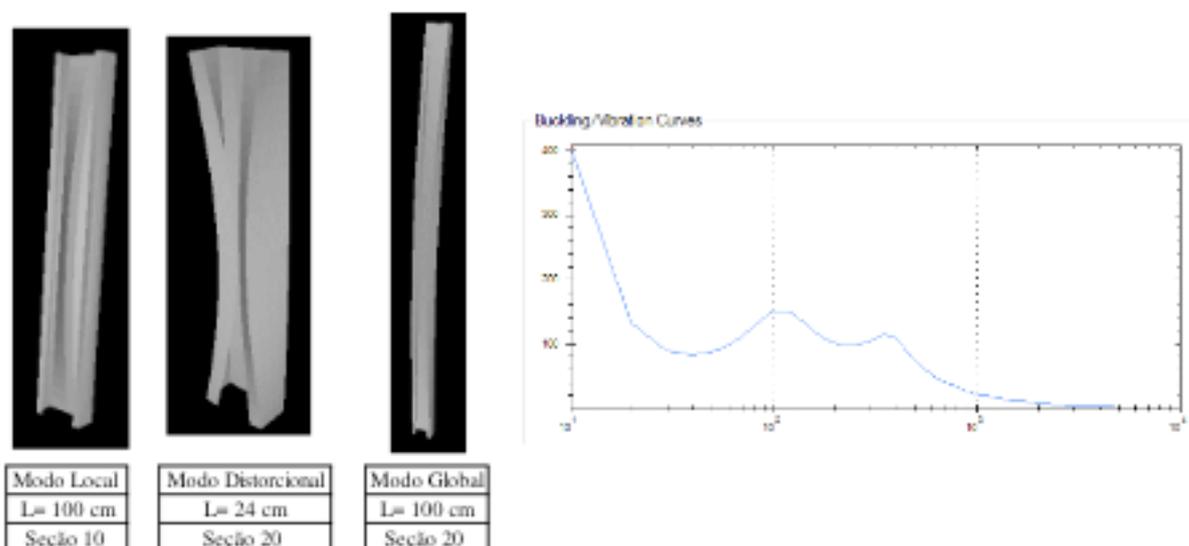


Figura 3 – Modos de Flambagem e curva de assinatura do perfil 20, ambos obtidos com o GBTUL

A curva de assinatura (comprimento do perfil por carga crítica) para o perfil 20 também está reproduzida e confirma o aspecto esperado com a literatura quando comparada com a figura 2, onde o primeiro mínimo da curva é a carga crítica do modo local, o segundo a carga do modo distorcional e por fim o modo global.

## 5 | DISCUSSÃO

A abordagem proposta para análise se mostrou eficiente uma vez que a comparação entre os resultados obtidos com o algoritmo e com o programa já consolidado se mostraram precisamente iguais, então pode-se afirmar que está validado e que outros variados tipos de perfis podem ser estudados e calculados com o algoritmo. Com base nas diferenças percentuais das tabelas 4 e 5 pode-se afirmar que o método da resistência direta é uma proposta rápida e fornece estimativas bastante precisas no caso da compressão de colunas.

Para os perfis adotados como exemplo, observando a tabela 3, tem-se que os perfis 14, 16, 18, 19 e 20 em um comprimento de coluna de 100 cm, apresentam força crítica em um modo de flambagem global e então pode-se afirmar que as colunas formadas com esses perfis apresentarão problemas de flambagem global principalmente, se forem submetidas a cargas superiores as encontradas para  $N_e$  na tabela 3. Todos os outros perfis apresentaram cargas críticas locais e, portanto, sofrerão problemas de flambagem local.

## 6 | CONCLUSÕES

O trabalho teve como objetivo apresentar um algoritmo que automatiza a determinação de resistência à compressão de perfis de aço formados a frio segundo as duas recomendações da norma brasileira ABNT-NBR 14762/10 e comparar os dois métodos de dimensionamento. O método da resistência direta (MRD), é considerado como um método alternativo para dimensionamento de colunas sob compressão, consiste em um procedimento simples e confiável para determinar a resistência última e está presente no ANEXO C da norma, porém é um método que depende de resultados de análise de estabilidade elástica, que só são obtidos com o auxílio de programas prontos e já estão consolidados na literatura, um deles e o utilizado nesse trabalho é o *GBTul*.

Pode-se observar com 20 exemplos de seções que a utilização do algoritmo e a aplicação do MRD propiciou a realização dos cálculos de dimensionamento corretamente, uma vez que a diferença encontrada entre os resultados com as duas abordagens foi irrelevante.

Ao observar o modelo de deformada do perfil em cada modo de flambagem com o *GBTul* comprovou-se o modo de flambagem dos cálculos e como esperado,

a grande maioria das colunas selecionadas como exemplo apresentam flambagem crítica no modo local e algumas no modo global para um comprimento de *100cm*.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo auxílio financeiro na realização deste projeto.

## REFERÊNCIAS

[1] ABNT NBR 14762, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2010.

[2] BEBIANO R., PINA P., SILVESTRE N., CAMOTIM D. **GBTul 1.0 – Buckling and Vibration Analysis of Thin-Walled Members**, DECivil/IST, Technical University of Lisbon. (<http://www.civil.ist.utl.pt/gbt>), 2010.

[3] BEBIANO R., PINA P., SILVESTRE N., CAMOTIM D., **Manual user.GBTul 1.0 – Buckling and Vibration Analysis of Thin-Walled Members**, DECivil/IST, Technical University of Lisbon, 2010.

[4] CHODRAUI, G. M. B. **Análise teórica e experimental de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão**. São Carlos. Tese de doutorado – Escola de Engenharia de Sao Carlos, Universidade de Sao Paulo, 2006.

[5] GARCIA, R. A. S. **Behaviour and DSM design of cold-formed steel web/flange stiffened lipped channel columns experiencing distortional failure**. Tese – COOPE UFRJ, Instituto Iberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro, 2016.

[6] HANCOCK, G.J., **Cold-formed steel structures**. Journal of Constructional Steel Research, v.59, pp.473-487, 2003.

[7] JAVARONI, C.E. **Estruturas de aço: dimensionamento de perfis formados a frio**. 1a Ed. Elsevier Editora Ltda, 2015.

[8] IYENGAR, N. G. R. **Structural stability of columns and plates**. Affiliated East-West Press, 1986.

[9] SCHAFER, B. W. **Thin-walled column design considering local, distortional and euler buckling**. Proceedings: Structural Stability Research Council – Annual Technical Session and Meeting, 2001.

[10] SILVESTRE, N.; CAMOTIM, D. **Towards an Efficient Design Against Distortional Buckling: Formulae for C and Z-Section Cold-Formed Steel Members**. Proceedings of Structural Stability Research Council (SSRC) 2004 Annual Stability Conference, Long Beach, pp. 239- 263, March 24-27, 2004.

[11] SCHAFER, B. W.; PEKÖZ, T. **Computational modeling of cold-formed steel: characterizing geometric imperfections and residual stresses**. Journal of Constructional Steel Research, v.47, p.193-210, January, 1998.

## **SOBRE O ORGANIZADORA**

**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO** Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Ação do vento 225, 226, 228, 229, 230, 235  
Algoritmo 1, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 240, 251, 254, 258  
Análise estrutural 1, 2, 4, 9, 14, 15, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 98, 198, 224  
Aplicativo 28, 56, 60, 61, 62, 63, 66  
Aprendizagem 69, 70, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 84  
Argamassa 107, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131  
Armaduras 93, 95, 192, 196, 197, 199, 200, 202

### B

BIM 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 40, 41, 42, 43, 53, 54, 55, 58  
Blocos de concreto 190

### C

Cálculo 1, 4, 10, 14, 15, 33, 38, 63, 66, 69, 75, 80, 84, 86, 90, 93, 98, 101, 104, 105, 106, 109, 112, 172, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 188, 195, 205, 210, 211, 226, 227, 230, 233, 238, 240, 245, 247, 248, 249, 251, 254, 257  
Compatibilização 23, 24, 25, 40, 41, 44, 46, 49, 53, 55  
Concreto 45, 52, 54, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 123, 130, 131, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 195, 198, 205, 230, 231, 238, 239  
Controle tecnológico 121, 122, 127, 130

### D

Desenvolvimento 1, 16, 34, 41, 42, 43, 53, 56, 57, 58, 59, 63, 65, 66, 69, 70, 71, 74, 77, 84, 90, 131, 149, 151, 163, 167, 209, 230, 259  
Dimensionamento 2, 3, 26, 46, 50, 88, 142, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 197, 199, 204, 208, 212, 223, 238, 240, 241, 242, 246, 247, 249, 258, 259

### E

Edificações 17, 41, 44, 54, 67, 87, 90, 99, 121, 122, 124, 130, 133, 135, 137, 140, 141, 142, 147, 148, 226, 229, 230, 233, 237, 238  
Elementos finitos 15, 28, 33, 34, 38, 198, 199, 246  
Eletricidade 149, 152, 153, 154, 156, 159, 160, 161, 163  
Energia 5, 6, 15, 46, 59, 126, 149, 150, 151, 152, 153, 156, 158, 159, 161, 162, 163, 164, 166, 168, 170, 179, 183, 184, 186  
Energia renovável 149  
Ensaio 28, 101, 104, 108, 109, 110, 111, 112, 121, 122, 128, 129, 130, 169, 170, 191, 197, 205  
Estabilidade 86, 87, 88, 92, 93, 98, 99, 115, 226, 238, 246, 249, 258  
Estacas 157, 188, 189, 190, 205  
Estruturas 1, 2, 3, 9, 14, 15, 28, 38, 41, 45, 54, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 99, 100, 105, 113, 119, 167, 168, 169, 171, 176, 178, 179, 186, 205, 207, 208, 223, 224, 225, 238, 239, 241, 259

## G

Gerenciamento de obras 56, 58, 60, 61, 66

Gerenciamento de projetos 16, 19, 27, 67

## I

Inovação 41, 69, 70, 72, 73, 74, 85, 179

## M

Materiais 2, 28, 30, 31, 35, 38, 44, 53, 60, 62, 63, 88, 99, 102, 103, 105, 109, 111, 113, 119, 120, 121, 122, 123, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 140, 143, 147, 148, 167, 168, 169, 172, 198, 199, 223, 228

Método dos deslocamentos 1, 3, 9, 14, 15

Modelagem estrutural 225

Módulo de elasticidade 4, 10, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 115, 121, 122, 127, 128, 130, 131, 198, 199, 209, 231, 244

## P

Perfis de aço 240, 241, 249, 258, 259

Pré-moldados 90, 177, 178, 179, 180, 181, 186, 187

Projeto 1, 2, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 68, 70, 72, 74, 82, 87, 88, 89, 90, 99, 104, 109, 112, 124, 132, 134, 135, 142, 147, 168, 178, 181, 184, 186, 205, 224, 235, 238, 259

Projeto arquitetônico 26, 44, 54

Propriedades geométricas 3, 209, 222, 242, 243, 245, 249, 251

## R

Reciclagem 120, 177, 180, 181, 182, 186, 187

Reforço estrutural 86

Resíduos sólidos 167, 177, 179, 180, 186

Resistência 23, 26, 35, 45, 88, 89, 90, 101, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 121, 122, 124, 126, 127, 128, 129, 131, 142, 166, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 189, 195, 198, 199, 200, 231, 240, 242, 249, 251, 257, 258

## S

Segurança 53, 132, 134, 135, 139, 140, 142, 143, 151, 179, 212, 226, 230, 233, 238, 260

Simulações 28, 30, 31, 33, 35, 98, 190, 225

Sustentabilidade 19, 20, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 186

## T

Tecnologia 27, 40, 41, 42, 53, 54, 57, 58, 59, 61, 67, 68, 121, 131, 152, 153, 157, 161, 163, 166, 260

Treliças 9, 14, 15, 206, 207, 208, 209, 211, 212, 213, 220, 223, 224

## V

Viga 50, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 98, 99, 100, 102, 103, 112, 206, 209, 212, 221, 222, 223, 237, 246

