

PFF-NBR14762: UM APLICATIVO PARA O DIMENSIONAMENTO DE PERFIS FORMADOS A FRIO

PFF-NBR14762: AN APPLICATION FOR THE COLD-FORMED STEEL DESIGN

Felipe Castelli Sasso¹, Fernando Busato Ramires², Zacarias Martin Chamberlain Pravia³

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v40p3-14.2021

RESUMO

Este artigo apresenta o aplicativo PFF-NBR14762, desenvolvido para a verificação e dimensionamento de perfis de aço formados a frio, seguindo os procedimentos prescritos pela norma brasileira ABNT NBR 14762:2010. O aplicativo foi desenvolvido no ambiente de desenvolvimento integrado *Android Studio*, em linguagem de programação Java, e pode ser utilizado no sistema operacional *Android*. Para validar seus resultados, fez-se uma análise comparativa aos resultados obtidos no *software* comercial mCalc3D. O aplicativo encontra-se disponível para *download* na loja de distribuição de aplicativos *Google Play*.

Palavras-chave: perfis formados a frio; aplicativo Android; dimensionamento.

ABSTRACT

This article presents the PFF-NBR14762 application, developed for the verification and design of cold-formed steel sections, following the procedures prescribed by the Brazilian standard ABNT NBR 14762:2010. The application was developed in the integrated development environment *Android Studio*, in Java programming language, being able to be used in the *Android* operating system. To validate its results, a comparative analysis was done of the results obtained in the commercial software mCalc3D. The application is available for download from the *Google Play* applications distribution store.

Keywords: cold-formed steel; Android application; design.

INTRODUÇÃO

O ensino e o aprendizado do comportamento e da concepção de projetos estruturais estão cada vez mais dependentes de dispositivos eficientes que sejam capazes de utilizar *softwares*, uma vez que, de acordo com Paz e Ruas (2019), a interação do aluno com a prática profissional – como a utilização de *softwares* – desperta um interesse e uma motivação ao estudo teórico.

Porém, visto que nem todos os estudantes e profissionais de engenharia possuem acesso a esses dispositivos e *softwares*, progressivamente estão sendo desenvolvidos aplicativos que podem ser utilizados em *smartphones* e *tablets*, tornando-se mais acessíveis e práticos, uma vez que podem ser operados em qualquer local e com custos consideravelmente baixos.

Dessa forma, o presente trabalho visa a apresentar o aplicativo PFF-NBR14762, o qual foi desenvolvido para o dimensionamento de

¹ Estudante, Universidade de Passo Fundo, castellisasso@gmail.com

² Professor, D.Sc., Universidade de Passo Fundo, fernandoramires@upf.br

³ Professor, D.Sc., Universidade de Passo Fundo, zacarias@upf.br

perfis de aço formados a frio, com o objetivo de auxiliar profissionais e estudantes de engenharia em suas atividades. Os procedimentos de dimensionamento do aplicativo são baseados nas recomendações da norma ABNT NBR 14762:2010. O aplicativo foi desenvolvido para a plataforma *Android*, devido à sua grande popularidade em comparação com as demais plataformas presentes no mercado.

O desenvolvimento do aplicativo é fruto de um projeto de Iniciação Científica realizado pelo programa PIVIC/UPF, o qual tem como objetivo proporcionar uma formação científica e tecnológica ao aluno. O aluno/pesquisador inicialmente realizou estudos a respeito dos perfis formados a frio e desenvolveu rotinas de dimensionamento de elementos constituídos de tais perfis no *software* matemático SMath Studio para, posteriormente, desenvolver o aplicativo PFF-NBR14762.

Além disso, o aplicativo faz parte do projeto Etools/UPF, o qual tem como objetivo a construção de programas computacionais de uso livre (*freeware*) para serem usados como elementos pedagógicos na aprendizagem de análise e dimensionamento de estruturas (ETOOLS, 2020). Em 2020, o Etools completa 15 anos de existência, tendo produzido diversos programas para *Windows* e *Android*, entre os quais se cita o Visualbarras (PRAVIA; PASQUETTI; CHIARELLO, 2001), o Visualventos (PRAVIA; CHIARELLO, 2003) e o JWood (SILVA; PRAVIA, 2018).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

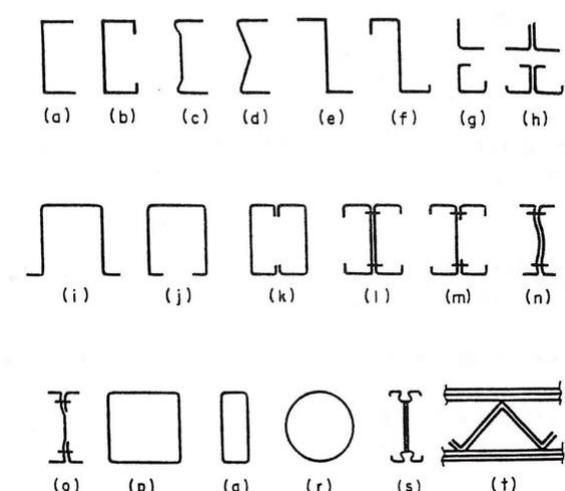
Perfis formados a frio

Os perfis de aço formados a frio são fabricados através do dobramento a frio (em temperatura ambiente) a partir de chapas planas, o que possibilita a obtenção de uma grande variedade de formas de seções transversais. Essa variedade e a possibilidade de fabricação de seções não usuais são vantagens que os perfis formados a frio apresentam quando comparados aos perfis laminados e aos perfis soldados.

As formas usuais são as seções U, seções Z, cantoneiras, seções cartola, seções I, seções

T e seções tubulares (YU, 1985, p. 4). Algumas das principais seções utilizadas em perfis formados a frio podem ser vistas na Figura 1.

Figura 1 – Seções de perfis formados a frio utilizadas em pórticos estruturais



Fonte: Yu (1985).

Os perfis formados a frio são produzidos em prensas dobradeiras ou em perfiladeiras, processos os quais tornam as características dos PFFs diferentes às dos perfis laminados e soldados. Isso “se deve ao fato de que a operação de dobramento aumenta o limite de escoamento e a resistência à tração, enquanto, ao mesmo tempo, diminui a ductilidade do aço quando comparada às propriedades do aço virgem” (JAVARONI, 2015, p. 6).

Além disso, outra particularidade dos perfis formados a frio é a perda de estabilidade local dos elementos planos que compõem a seção transversal, também chamada de flambagem local. Isso se deve à utilização de chapas que elevam a relação entre largura e espessura desses mesmos elementos.

De acordo com Yu (1985) e Javaroni (2015), esses elementos de parede delgada estão sujeitos a flambagem com tensões inferiores à tensão de escoamento do aço, quando os mesmos forem submetidos a esforços de compressão, cisalhamento, flexão ou esmagamento. Dessa forma, os perfis ainda possuem uma resistência pós-flambagem, que é a redistribuição dos acréscimos de tensão para as partes enrijecidas do elemento plano.

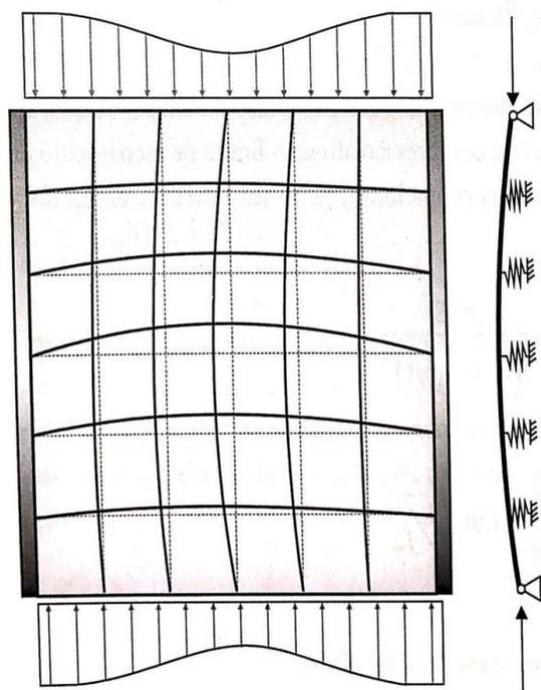
Segundo Javaroni (2015), com um modelo de grelha pode-se apresentar tal fenômeno, em

que a flambagem é a tendência dos “pilares longitudinais” com as “vigas transversais”, que estão tracionadas, diminuindo essa tendência. A Figura 2 ilustra o modelo de grelha. Essa resistência pós-flambagem levou ao desenvolvimento do conceito de largura efetiva, idealizado por Von Karman e corrigido para a determinação da resistência dos perfis formados a frio pelo professor George Winter, na Universidade Cornell, na década de 1940.

Os procedimentos para o dimensionamento de perfis formados a frio, no Brasil, são prescritos pela norma ABNT NBR 14762:2010, a qual aborda, além do Método das Larguras Efetivas (MLE), o Método da Resistência Direta (MRD) e o Método da Seção Efetiva (MSE) para a avaliação da flambagem local.

O MLE considera os perfis como placas isoladas vinculadas entre si, na região das dobras entre as mesmas. Esse método requer um maior esforço de cálculo e o comportamento dos perfis é considerado de forma elementar (CARVALHO; GRIGOLETTI; BARBOSA, 2014).

Figura 2 – Modelo de grelha para a resistência pós-flambagem de chapa



Fonte: Javaroni (2015).

Já o MRD considera a perda de estabilidade local real de um perfil, não apenas

dos elementos que o constitui, como é realizado no MLE. Para isso, deve-se ter conhecimento dos valores críticos (força axial ou momento fletor) de flambagem elástica, os quais podem ser obtidos computacionalmente pelo Método dos Elementos Finitos ou pelo Método das Faixas Finitas.

O MSE, desenvolvido pelo professor Eduardo Batista na Universidade Federal do Rio de Janeiro, por ser uma parametrização do MRD, também considera o perfil inteiro. Porém, o método foi desenvolvido para alguns dos perfis mais utilizados na construção em aço. Dessa forma, apesar da facilidade na utilização do MSE, ele ainda é limitado para determinados perfis.

O aplicativo desenvolvido utilizou o Método da Seção Efetiva para a análise da flambagem local, devido à facilidade da implementação computacional e à automatização do método para o desenvolvimento da ferramenta.

Android

Introduzido pela *Google* em 2007, o *Android* é o sistema operacional de *smartphones* mais popular do mundo desde 2016. Desde o seu lançamento, as vendas de *smartphones* que utilizam o sistema operacional *Android* têm crescido. Em 2009, 6,8 milhões de *smartphones* que possuíam o sistema operacional *Android* foram vendidos. Em 2015 esse número subiu para mais de 1,16 bilhões. Os *smartphones* com *Android* foram responsáveis por cerca de 85% de todas as vendas de *smartphones* para usuários finais em todo o mundo no início de 2016 (STATISTA, 2019).

Além de sua grande presença no mercado, outra vantagem de desenvolver aplicativos para o sistema *Android* é o grau de abertura da plataforma. O sistema operacional é de código-fonte aberto e gratuito. Isso permite ver o código-fonte do *Android* e como seus recursos são implementados. O grau de abertura da plataforma estimula a rápida inovação. Ao contrário do *iOS*, patenteado da *Apple*, que só existe em dispositivos *Apple*, o *Android* está disponível em aparelhos de dezenas de

fabricante de equipamento original (OEMs) e em numerosas operadoras de telecomunicações em todo o mundo. A intensa concorrência entre os OEMs e as operadoras beneficia o consumidor (DEITEL; DEITEL; WALD, 2016).

Após escolher a plataforma operacional, determinou-se a versão mínima do *Android* para a utilização do aplicativo. A Figura 3 mostra a distribuição das versões *Android*.

Figura 3 – Distribuição das versões Android entre os proprietários de dispositivos móveis

Version	Codename	API	Distribution
2.3.3 - 2.3.7	Gingerbread	10	0.3%
4.0.3 - 4.0.4	Ice Cream Sandwich	15	0.3%
4.1.x	Jelly Bean	16	1.2%
4.2.x		17	1.5%
4.3		18	0.5%
4.4	KitKat	19	6.9%
5.0	Lollipop	21	3.0%
5.1		22	11.5%
6.0	Marshmallow	23	16.9%
7.0	Nougat	24	11.4%
7.1		25	7.8%
8.0	Oreo	26	12.9%
8.1		27	15.4%
9	Pie	28	10.4%

Fonte: (Google, 2019).

Em seguida, ao analisar os dados dispostos na Figura 3 e compará-los com as ferramentas incrementadas em cada versão nova do *Android*, foi escolhida a versão 4.4 *Kit Kat* como versão mínima para utilizar o aplicativo desenvolvido, essa versão que corresponde à API 19.

O APLICATIVO PFF-NBR14762

O aplicativo foi desenvolvido com o auxílio da IDE *Android Studio*, na qual seu código foi implementado na linguagem de programação Java. Ao iniciar o aplicativo, é apresentada uma tela inicial (Figura 4), com os tipos de seções transversais possíveis para dimensionamento; são elas: U simples, U enrijecido, Z enrijecido à 90° e Z enrijecido à 45°. Também na tela inicial, tem-se acesso a informações sobre o aplicativo e os autores,

pelo ícone de informação, localizado no canto superior direito da tela inicial. A tela com tais informações pode ser vista na Figura 5.

Após escolher a seção transversal do perfil a ser verificado, o usuário deve inserir os dados referentes ao material, como a tensão de escoamento (f_y), o módulo de elasticidade longitudinal (E), o módulo de elasticidade transversal (G) e o coeficiente de Poisson (ν). Também deverão ser inseridas as dimensões do perfil, como a altura do mesmo (b_w), a largura da aba (b_f), a espessura da seção (t) e caso ela possua enrijecedor, a altura deste (D).

A tela com os campos para a inserção dos dados do material e das dimensões do perfil pode ser vista na Figura 6.

Utilizando a barra de rolagem, o usuário acessa os campos para inserção dos comprimentos destravados do perfil, do fator de modificação para diagrama de momento fletor

não uniforme (C_b) e das solicitações de compressão, tração, cisalhamento e flexão (Figura 7).

Figura 4 – Seções transversais disponíveis



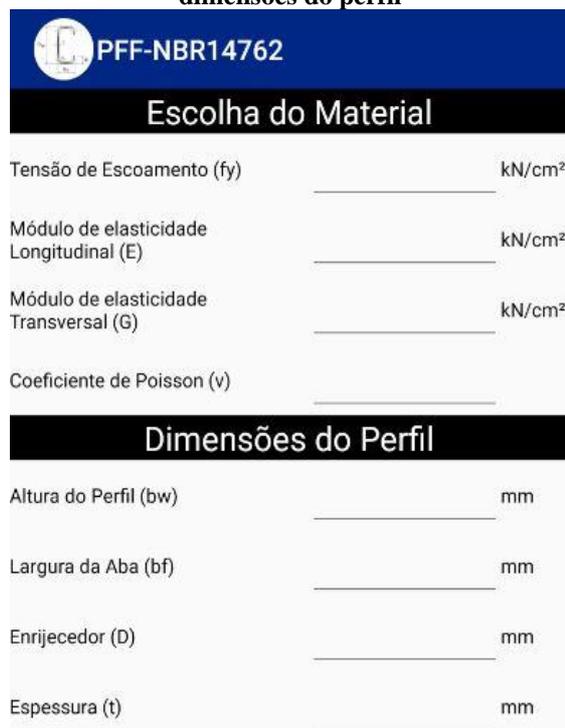
Fonte: acervo dos autores (2020).

Figura 5 – Informações sobre o aplicativo



Fonte: acervo dos autores (2020).

Figura 6 – Inserção dos dados do material e das dimensões do perfil



Fonte: acervo dos autores (2020).

Figura 7 – Inserção dos comprimentos destravados, do C_b e das solicitações



Fonte: acervo dos autores (2020).

Ao pressionar o botão “Verificar”, com todos os dados inseridos, é realizado o processo de verificação através da norma ABNT NBR 14762:2010, pelo Método da Seção Efetiva, para a determinação das resistências do perfil à compressão, à tração, ao cisalhamento e à flexão; é realizada também as verificações quanto ao momento fletor e força cortante combinados e à flexo-compressão, pelas equações de interação.

Caso algum dos campos para inserção dos dados esteja vazio, ao pressionar o botão

“Verificar”, o aplicativo exibirá uma mensagem de erro e indicará o primeiro campo vazio. Além disso, nesse caso, a verificação não será realizada. A mensagem e a sinalização do campo vazio são apresentadas na Figura 8. O aplicativo também exibirá mensagens referentes aos resultados obtidos, as quais podem ser vistas, junto às suas causas, na Tabela 1.

Figura 8 – Mensagem gerada pelo aplicativo ao verificar com um campo vazio

The screenshot shows the application interface for PFF-NBR14762. It features a blue header with the application logo and title. Below the header, there are input fields for various forces and moments. The 'Momento Fletor (Msd)' field is currently empty, and a red error message 'Insira um valor!' is displayed above it. A large blue button labeled 'VERIFICAR' is positioned below the input fields. At the bottom of the screen, there are labels for resistance values and interaction equations, with a grey callout box pointing to the 'Eq. de interação (Flexo-compressão)' label, indicating that this field is also empty.

Parâmetro	Valor	Unidade
Esforço Normal de Compressão (N _{csd})	15	kN
Esforço Normal de Tração (N _{tsd})	0	kN
Esforço Cortante (V _{sd})	30	kN
Momento Fletor (M _{sd})		kN.cm
Resistência à compressão		kN
Resistência à tração		kN
Resistência ao cisalhamento		kN
Resistência à flexão		kN.cm

Eq. de interação (Momento Fletor e Força Cortante combinados)

Eq. de interação (Flexo-compressão) Preencha o(s) campo(s) vazio(s)

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 1 – Mensagens de erro e suas respectivas causas

Mensagem	Causa
O perfil está ok!	Nenhum problema encontrado
Índice de esbeltez máxima maior que 200.	$\lambda_{\max} < 200$
Tração solicitante maior que a resistente.	$N_{t,Sd} > N_{t,Rd}$
Compressão solicitante maior que a resistente.	$N_{c,Sd} > N_{c,Rd}$
Cisalhamento solicitante maior que o resistente.	$V_{Sd} > V_{Rd}$
Momento fletor solicitante maior que o resistente.	$M_{Sd} > M_{Rd}$
Equação de interação do momento fletor e força cortante combinados é maior que 1.	$\left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1,0$
Equação de interação da flexo-compressão é maior que 1.	$\left(\frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}}\right) + \left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right) \leq 1,0$

Fonte: acervo dos autores (2020)

RESULTADOS

Com o objetivo de validar o aplicativo, comparou-se valores obtidos neste com resultados obtidos no módulo mCalc_Perfis do *software* comercial mCalc3D (STABILE, 2019). Para isso, foram escolhidos perfis padronizados das tabelas do Anexo A da norma ABNT NBR 6355:2012 para cada seção transversal disponível no aplicativo.

Para todas as análises comparativas, foi considerada uma tensão de escoamento de 30 kN/cm², módulo de elasticidade de 200 GPa, coeficiente de Poisson de 0,3 e Cb igual a 1,0.

Nas tabelas abaixo apresenta-se uma parte das amostras dos resultados da validação do aplicativo. As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os resultados, respectivamente, quanto à resistência à compressão, a resistência ao cisalhamento e a resistência à flexão dos perfis

U. Os perfis de seção U enrijecido têm seus resultados comparativos apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7. Os resultados dos perfis com seção Z enrijecido à 90° são apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10. Por fim, os perfis Z enrijecido à 45° têm seus resultados apresentados nas Tabelas 11, 12 e 13.

Os erros nas comparações entre os resultados obtidos pelo aplicativo PFF-NBR14762 e o *software* mCalc3D devem-se aos diferentes métodos que as ferramentas utilizam para o cálculo das propriedades geométricas das seções transversais. Enquanto o PFF-NBR14762 utiliza expressões fornecidas pela norma ABNT NBR 6355:2012, o mCalc3D calcula as propriedades pelo Método Linear, o que gera uma pequena diferença nas propriedades geométricas das seções e consequentemente nos resultados finais de resistência dos perfis.

Tabela 2 – Resultados da resistência à compressão de perfis U

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	N _{cRd} (kN)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
50 x 25 x 1,20	100	10,60	10,29	2,92%	0,31
75 x 40 x 2,00	100	42,59	42,66	0,16%	0,07
100 x 75 x 2,65	200	55,29	57,44	3,89%	2,15
125 x 75 x 3,00	200	91,73	92,68	1,04%	0,95
150 x 75 x 3,00	300	67,66	68,32	0,98%	0,66
200 x 75 x 3,00	300	84,26	84,15	0,13%	0,11
250 x 100 x 3,35	300	145,54	145,67	0,09%	0,13
300 x 100 x 2,65	300	103,58	103,61	0,03%	0,03

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 3 – Resultados da resistência ao cisalhamento de perfis U

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	VRd (kN)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
50 x 25 x 1,20	100	8,88	8,88	0,00%	0,00
75 x 40 x 2,00	100	21,93	21,93	0,00%	0,00
100 x 75 x 2,65	200	38,77	38,77	0,00%	0,00
125 x 75 x 3,00	200	55,47	55,47	0,00%	0,00
150 x 75 x 3,00	300	67,75	67,75	0,00%	0,00
200 x 75 x 3,00	300	92,11	92,11	0,00%	0,00
250 x 100 x 3,35	300	114,86	114,86	0,00%	0,00
300 x 100 x 2,65	300	52,90	52,90	0,00%	0,00

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 4 – Resultados da resistência à flexão de perfis U

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	MRd (kN.m)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
50 x 25 x 1,20	100	31,62	31,43	0,60%	0,19
75 x 40 x 2,00	100	158,05	156,13	1,21%	1,92
100 x 75 x 2,65	200	386,02	382,56	0,90%	3,46
125 x 75 x 3,00	200	618,83	612,70	0,99%	6,13
150 x 75 x 3,00	300	625,28	622,03	0,52%	3,25
200 x 75 x 3,00	300	869,74	865,88	0,44%	3,86
250 x 100 x 3,35	300	1705,94	1692,51	0,79%	13,43
300 x 100 x 2,65	300	1418,73	1409,34	0,66%	9,39

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 5 – Resultados da resistência à compressão de perfis U enrijecido

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	NcRd (kN)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
50 x 25 x 10 x 1,20	100	14,31	14,38	0,49%	0,07
75 x 40 x 15 x 1,50	100	42,48	42,25	0,54%	0,23
100 x 50 x 17 x 2,00	200	42,18	42,52	0,81%	0,34
125 x 50 x 17 x 2,00	200	55,00	55,24	0,44%	0,24
150 x 60 x 20 x 2,65	300	60,90	59,66	2,04%	1,24
200 x 75 x 25 x 2,65	300	106,18	106,11	0,07%	0,07
250 x 85 x 25 x 2,00	300	75,61	75,49	0,16%	0,12
250 x 100 x 25 x 3,00	300	166,82	166,24	0,35%	0,58

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 6 – Resultados da resistência ao cisalhamento de perfis U enrijecido

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	VRd (kN)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
50 x 25 x 10 x 1,20	100	8,88	8,88	0,00%	0,00
75 x 40 x 15 x 1,50	100	16,94	16,94	0,00%	0,00
100 x 50 x 17 x 2,00	200	30,11	30,11	0,00%	0,00
125 x 50 x 17 x 2,00	200	38,29	38,29	0,00%	0,00
150 x 60 x 20 x 2,65	300	60,45	60,45	0,00%	0,00
200 x 75 x 25 x 2,65	300	71,87	71,87	0,00%	0,00
250 x 85 x 25 x 2,00	300	27,20	27,20	0,00%	0,00
250 x 100 x 25 x 3,00	300	92,11	92,11	0,00%	0,00

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 7 – Resultados da resistência à flexão de perfis U enrijecido

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	MRd (kN.m)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
50 x 25 x 10 x 1,20	100	47,88	47,03	1,78%	0,85
75 x 40 x 15 x 1,50	100	134,03	167,48	24,96%	33,45
100 x 50 x 17 x 2,00	200	308,45	303,85	1,49%	4,60
125 x 50 x 17 x 2,00	200	404,82	399,03	1,43%	5,79

150 x 60 x 20 x 2,65	300	607,38	601,12	1,03%	6,26
200 x 75 x 25 x 2,65	300	1310,22	1293,62	1,27%	16,60
250 x 85 x 25 x 2,00	300	1262,47	1337,48	5,94%	75,01
250 x 100 x 25 x 3,00	300	2591,68	2708,02	4,49%	116,34

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 8 – Resultados da resistência à compressão de perfis Z enrijecido à 90°

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	NcRd (kN)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
50 x 25 x 10 x 1,20	100	22,87	21,68	5,20%	1,19
75 x 40 x 15 x 2,00	100	71,77	70,74	1,44%	1,03
100 x 50 x 17 x 2,00	200	71,26	70,89	0,52%	0,37
125 x 50 x 17 x 2,00	200	73,75	72,38	1,86%	1,37
150 x 60 x 20 x 2,25	300	80,67	79,42	1,55%	1,25
200 x 75 x 20 x 2,00	300	80,63	79,59	1,29%	1,04
200 x 75 x 30 x 6,30	300	355,22	361,19	1,68%	5,97
250 x 85 x 30 x 6,30	300	456,22	462,66	1,41%	6,44

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 9 – Resultados da resistência ao cisalhamento de perfis Z enrijecido à 90°

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	VRd (kN)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
50 x 25 x 10 x 1,20	100	8,88	7,78	12,39%	1,10
75 x 40 x 15 x 2,00	100	21,93	20,62	5,97%	1,31
100 x 50 x 17 x 2,00	200	30,11	28,80	4,35%	1,31
125 x 50 x 17 x 2,00	200	38,29	36,98	3,42%	1,31
150 x 60 x 20 x 2,25	300	51,81	50,61	2,32%	1,20
200 x 75 x 20 x 2,00	300	34,28	35,01	2,13%	0,73
200 x 75 x 30 x 6,30	300	180,20	184,95	2,64%	4,75
250 x 85 x 30 x 6,30	300	231,75	236,49	2,05%	4,74

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 10 – Resultados da resistência à flexão de perfis Z enrijecido à 90°

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	MRd (kN.m)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
50 x 25 x 10 x 1,20	100	42,11	39,19	6,93%	2,92
75 x 40 x 15 x 2,00	100	201,67	202,87	0,60%	1,20
100 x 50 x 17 x 2,00	200	266,57	258,22	3,13%	8,35
125 x 50 x 17 x 2,00	200	341,07	331,28	2,87%	9,79
150 x 60 x 20 x 2,25	300	375,09	365,24	2,63%	9,85
200 x 75 x 20 x 2,00	300	750,60	746,63	0,53%	3,97
200 x 75 x 30 x 6,30	300	2620,41	2614,78	0,21%	5,63
250 x 85 x 30 x 6,30	300	4068,49	4073,53	0,12%	5,04

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 11 – Resultados da resistência à compressão de perfis Z enrijecido à 45°

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	NcRd (kN)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
100 x 50 x 17 x 1,20	200	33,37	30,39	8,93%	2,98
100 x 50 x 17 x 2,25	200	83,65	76,19	8,92%	7,46
125 x 50 x 17 x 2,00	200	77,45	69,71	9,99%	7,74
150 x 60 x 20 x 2,00	300	71,33	64,33	9,81%	7,00
200 x 75 x 20 x 2,00	300	82,97	77,69	6,36%	5,28
200 x 75 x 30 x 6,30	300	420,15	367,99	12,41%	52,16
250 x 85 x 25 x 2,00	300	92,87	87,67	5,60%	5,20
250 x 85 x 25 x 2,25	300	113,46	106,79	5,88%	6,67

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 12 – Resultados da resistência ao cisalhamento de perfis Z enrijecido à 45°

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	VRd (kN)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
100 x 50 x 17 x 1,20	200	14,74	14,74	0,00%	0,00
100 x 50 x 17 x 2,25	200	33,50	33,50	0,00%	0,00
125 x 50 x 17 x 2,00	200	38,29	38,29	0,00%	0,00
150 x 60 x 20 x 2,00	300	40,94	40,94	0,00%	0,00
200 x 75 x 20 x 2,00	300	34,28	34,28	0,00%	0,00
200 x 75 x 30 x 6,30	300	180,20	180,20	0,00%	0,00
250 x 85 x 25 x 2,00	300	27,20	27,20	0,00%	0,00
250 x 85 x 25 x 2,25	300	38,89	38,89	0,00%	0,00

Fonte: acervo dos autores (2020).

Tabela 13 – Resultados da resistência à flexão de perfis Z enrijecido à 45°

Dimensões do Perfil (mm)	Lx = Ly = Lz (cm)	MRd (kN.m)			
		PFF-NBR14762	mCalc_Perfis	Erro relativo	Erro absoluto
100 x 50 x 17 x 1,20	200	138,27	148,95	7,72%	10,68
100 x 50 x 17 x 2,25	200	334,24	274,45	17,89%	59,79
125 x 50 x 17 x 2,00	200	384,95	312,76	18,75%	72,19
150 x 60 x 20 x 2,00	300	390,75	310,63	20,50%	80,12
200 x 75 x 20 x 2,00	300	814,27	713,99	12,32%	100,28
200 x 75 x 30 x 6,30	300	3075,11	2689,95	12,53%	385,16
250 x 85 x 25 x 2,00	300	1220,59	1195,45	2,06%	25,14
250 x 85 x 25 x 2,25	300	1476,58	1432,90	2,96%	43,68

Fonte: acervo dos autores (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se neste trabalho o aplicativo PFF-NBR14762, que buscar servir principalmente como ferramenta de ensino, sendo utilizado nas disciplinas de Estruturas de Aço e Madeira I e II do curso de Engenharia Civil da Universidade de Passo Fundo, para o dimensionamento de elementos estruturais formados por perfis de aço formados a frio, de acordo com os procedimentos prescritos na norma ABNT NBR 14762:2010. Desse modo, o aplicativo proporciona para os alunos uma interação com a prática do uso de *softwares* em projetos estruturais, agregando experiências a serem aplicadas nas futuras carreiras profissionais dos estudantes.

O aplicativo foi disponibilizado no *Google Play* e pode ser baixado gratuitamente, o que permite sua acessibilidade para todos os interessados.

É válido ressaltar que por ser um aplicativo de uso livre, nem os autores, nem a Universidade de Passo Fundo, nem qualquer outra instituição ligada ao aplicativo possui quaisquer deveres legais ou responsabilidades relativas ao uso de forma incorreta do PFF-NBR14762. O usuário é responsável por

qualquer conclusão a partir da utilização da ferramenta.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) pelo apoio fornecido durante o desenvolvimento do aplicativo e à Universidade de Passo Fundo pelo incentivo ao desenvolvimento da pesquisa científica, através do Programa de Voluntários de Iniciação Científica (PIVIC).

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

- DEITEL, P.; DEITEL, H.; WALD, A. **Android 6 para programadores**: uma abordagem baseada em aplicativos. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- ETOOLS. **Ferramentas computacionais para o ensino e cálculo de estruturas da UPF**. Disponível em: <<http://www.etoools.upf.br>>. Acesso em: 8 ago. 2020.
- GOOGLE. **Android Developers**. 2019. Disponível em: <<https://developer.android.com/about/dashboards>>. Acesso em: 22 ago. 2019.
- JAVARONI, C. E. **Estruturas de aço**: dimensionamento de perfis formados a frio. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- PAZ, G. L. G. da; RUAS, S. R. C. Elaboração de modelos físicos para resistência dos materiais: uma experiência didática. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 39, n. 2, p. 48-54, 2019.
- PRAVIA, Z. M. C.; CHIARELLO, J. A. O programa Visualventos: determinação de forças devidas ao vento em edificações de base retangular e cobertura a duas águas segundo a NBR6123. **Anais... XXXI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**, set. 2003, Rio de Janeiro. ABENGE, 2003.
- PRAVIA, Z. M. C.; PASQUETTI, E.; CHIARELLO, J. A. Visualbarras: um software didático para o ensino de análise matricial de estruturas reticuladas planas. **Anais... XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**, dez. 2001, Porto Alegre. ABENGE, 2001.
- SILVA, J. L. da; PRAVIA, Z. M. C. JWood: um objeto educacional para aprendizado de elementos de estruturas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**. v. 39, n. 2, p. 133-142, 2018.
- STABILE ENGENHARIA. **mCalc3D**. 2019. Disponível em: <<http://www.stabile.com.br/mcalc3d.php>>. Acesso em: 22 ago. 2019.
- STATISTA, The Statistics Portal. **Global mobile OS market share in sales to end users from 1st quarter 2009 to 2nd quarter 2018**. 2019. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/266136/global-market-share-held-by-smartphone-operating-systems/>>. Acesso em: 22 ago. 2019.
- YU, Wei-Wen. **Cold-Formed Steel Design**. New York: Wiley-Interscience, 1985.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Felipe Castelli Sasso – estudante de graduação do curso de Engenharia Civil na Universidade de Passo Fundo, foi estagiário no Laboratório de Ensaio em Sistemas Estruturais (LESE) no Centro Tecnológico de Engenharia Civil (CETEC), atualmente é pesquisador voluntário pelo programa de iniciação científica PIVIC/UPF, desenvolvendo trabalhos de pesquisa e ensino na área da Engenharia Estrutural, com ênfase em estruturas de aço.



Fernando Busato Ramires – graduado em Engenharia Civil pela Universidade de Passo Fundo (2002), mestre em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2004) e doutor em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2008). Trabalhou na área de projetos em estruturas de aço, com experiências profissionais em edifícios industriais, atuou na área de projetos de mineração, e projetos *off-shore*, onde desenvolveu trabalhos com plataformas fixas, semissubmersíveis e plataformas FPSO. Atualmente é professor permanente, na área de estruturas, da Universidade de Passo Fundo, onde trabalha no desenvolvimento de pesquisas relacionadas a educação nas áreas de estruturas de aço, madeira e estruturas mistas.



Zacarias Martin Chamberlain Pravia – graduado em Engenharia Civil pela Universidade Autônoma da Nicarágua (1981), mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1990) e doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2003). Atua nas áreas de Engenharia Estrutural e Educação em Engenharia.