DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS EM MATLAB PARA DIMENSIONAMENTO DE PERFIS CONFORMADOS A FRIO SUBMETIDOS À FLEXÃO SIMPLES

Giovanni Gama dos Santos [(1)] (gamagiovanni50@gmail.com), André Diniz Silva Brito [(1)] (andredinizsb@gmail.com), Luiz Felipe Rodrigues Silva [(1)] (luizfeliperodsl@gmail.com), José Henrique Costa Lemos [(1)] (josehenrique13br@gmail.com), Matheus de Souza Borges [(1)] (matheus.dsb151099@gmail.com)

[(1)] Instituto Federal do Piauí (IFPI); Departamento de Engenharia Mecânica

RESUMO: *Atualmente, os perfis conformados a frio têm sido empregados em larga escala na construção civil, destacando-se devido a sua facilidade de fabricação e montagem da estrutura, entretanto, apesar das vantagens, o dimensionamento desse tipo de perfil não é simples. Os perfis formados a frio estão suscetíveis aos fenômenos de instabilidade tais como: flambagem local, distorcional e global, com isso, o dimensionamento segundo o método de largura efetiva (MLE) envolvem elaborados e trabalhosos cálculos através de sucessivas aproximações. Portanto, neste trabalho, criamos uma série de rotinas em MATLAB para o cálculo do dimensionamento e análise estrutural de elementos submetidos a flexão simples utilizando o Método das Seções Efetivas e as normas NBR 14762:2010 e NBR 6355:2012 para uma revisão das padronizações dos perfis. Os resultados obtidos, após validados com os mesmos perfis feitos de forma manual, trouxeram êxito na utilização do programa, visto que o erro é superficial se comparado as duas metodologias, logo a rotina pode ser usada por qualquer usuário que deseje o dimensionamento proposto.*

PALAVRAS-CHAVE: *PERFIS CONFORMADOS A FRIO, ROTINA, MATLAB.*

DEVELOPMENT OF ROUTINES IN MATLAB FOR SIZING OF COLD SHAPED PROFILES SUBMITTED TO SIMPLE FLEXION

ABSTRACT: *Currently, cold-formed profiles have been employed on a large scale in civil construction, standing out due to their ease of fabrication and structure assembly, however, despite the advantages, sizing this type of profile is not simple. Cold formed profiles are susceptible to instability phenomena such as: local, distortional and global buckling. Thus, the design according to the effective width method (EWM) involves elaborate and laborious calculations through successive approximations. Therefore, in this work, we created a series of routines in MATLAB to calculate the design and structural analysis of elements subjected to simple bending using the Method of Effective Sections and the standards NBR 14762:2010 and NBR 6355:2012 for a review of the standardizations of profiles. The results obtained, after validated with the same profiles made manually, brought success in the use of the program, since the error is superficial when compared to the two methodologies, therefore the routine can be used by any user who wants the proposed dimensioning.*

KEYWORDS: *COLD FORMED PROFILES, ROUTINE, MATLAB.*

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

1. INTRODUÇÃO

Desde a idade média, quando na produção de ferramentas metálicas, era necessário reaquecer o metal e bater com um martelo, conformando-o, até os dias atuais com linhas de produção de materiais conformados totalmente automatizadas, a conformação mecânica tem um papel muito importante na produção de uma diversificação de materiais na indústria. Outrossim, destaca-se, atualmente, um franco crescimento dos perfis conformados à frio no mercado brasileiro, devido as suas vantagens quando comparados aos perfis laminados e soldados.

Os perfis conformados a frio têm sido empregados em larga escala na construção civil, isso se deve às suas características principais, tais como a leveza da estrutura final, contornos diversificados e, por fim, a mais importante, a sua facilidade de fabricação e montagem da estrutura, fator essencial na utilização de equipamentos de baixo custo. Entretanto, apesar das vantagens, segundo Kripka *et al*. (2010), existem diferenças pertinentes ao comportamento dos perfis conformados à frio às solicitações de uso, como compressão e flexão, onde o cálculo destes perfis é abordado pela norma NBR 14762:2010 através do conceito de largura efetiva associada à flambagem local das paredes finas que compõem o perfil.

Ademais, os dimensionamentos segundo o método de largura efetiva (MLE) envolvem elaborados e trabalhosos cálculos através de sucessivas aproximações, tornando-se uma tarefa árdua para quem pretende fazê-los e não dispõe de recursos computacionais de cálculo. Por esse motivo, utiliza-se na maioria das vezes, além de mecanismos para automatizar os cálculos, o Método da Seção Efetiva (MSE), que de acordo com Batista (2016) é uma abordagem de análise de flambagem em perfis conformados a frio relativamente mais simples de ser utilizada, só que seu uso é limitado apenas para alguns tipos de perfis.

Nesse sentido, a proposta do presente trabalho é a criação de uma série de rotinas em MATLAB para o cálculo do dimensionamento de elementos submetidos a flexão simples constituídos de dois tipos de perfis conformados a frio, os perfis U enrijecido de seção aberta e o U enrijecido de seção fechada. Para tal, utilizou-se o Método das Seções Efetivas e as normas NBR 14762:2010 e NBR 6355:2012 para uma revisão das padronizações dos perfis.

O dimensionamento de perfis conformados a frio com aplicação em elementos submetidos a flexão, envolvem, normalmente, elaborados e trabalhosos cálculos através de sucessivas aproximações, isso torna-se uma tarefa árdua para quem pretende fazê-los e não dispõe de recursos computacionais de cálculo. Sendo assim, o desenvolvimento de rotinas de cálculo no MATLAB se fez necessário, pois irá automatizar o processo e polpando de um trabalho manual.

O objetivo geral do projeto é a criação de rotinas em MATLAB que faça o dimensionamento de dois tipos de perfis conformados a frio com aplicação em elementos submetidos a flexão, os perfis U enrijecido de seção aberta e o U enrijecido de seção fechada. Visando como objetivos específicos do projeto, podemos citar os seguintes: Comparação entre resultados de análises experimentais com as saídas obtidas nas *functions*; polpar tempo requisitado pelo método analítico que abrange vastas equações com o uso do MATLAB; utilização dos recursos computacionais utilizados pela maioria dos engenheiros, a fim de trazer um ambiente mais comum para a elaboração de projetos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Fundamentação Teórica

2.1.1 Perfis formados a frio

Os perfis formados a frio (PFF) são obtidos a partir da dobragem de chapas à temperatura ambiente. Esse processo permite a fabricação de uma ampla variedade de perfis abertos, perfis esses que são muito empregados em edifícios civis e, em muitos casos, devido suas vantagens, substitui perfis laminados a quente. Dessa forma, as chapas finas de aço são normalmente utilizadas para produção de acordo com as regulamentações da norma da ABNT (2010).

A ideia principal dos PFF é a simplicidade de sua produção, manuseio e transporte. Entre as seções dos perfis conformados a frio, escolheu-se o U enrijecido de seção aberta e de seção fechada (tipo caixa). Essas peças são mostradas na Figura 1.

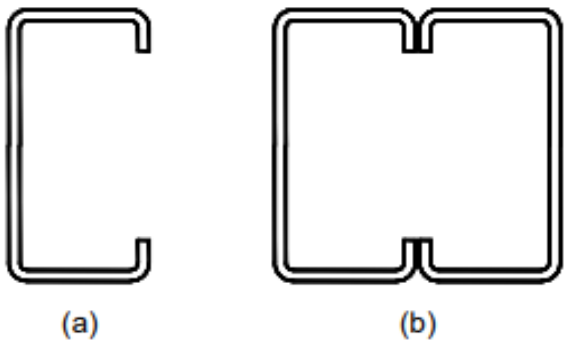

Figura 1. Seções mais utilizadas em PFF: (a) Perfil U enrijecido de seção aberta; (b) Perfil U enrijecido de seção fechada (tipo caixa). Fonte: DONIN (2009).

Essas seções são as mais utilizados como vigas e terças na área da construção civil, por apresentar várias vantagens, como a disponibilidade de ter as mesas distanciadas do centro de gravidade, o que favorece a eficiência do funcionamento como viga e, consequentemente, conduz a soluções mais econômicas.

2.1.2 Método da seção efetiva

O Método da Seção Efetiva (MSE), proposto por Batista (2009), é uma parametrização do método da resistência direta (MRD) para a verificação da flambagem local. No MSE, a flambagem local é considerada por meio de propriedades geométricas efetivas (reduzidas) da seção transversal completa das barras. Com isso, ele torna-se vantajoso em relação ao MRD devido à facilidade de se obter os valores da força axial de flambagem elástica local de forma direta, sem a necessidade de utilizar programas numéricos. *Adicionalmente, deve ser considerada a flambagem distorcional, conforme prescrições da ABNT NBR 14762:2010* (COSTA, 2012).

2.1.3 Ferramenta computacional MATLAB

O MATLAB é uma linguagem de computação técnica bastante utilizada no meio científico para o processamento de matrizes, cálculos polinomiais, visualização gráfica, simulação, controle de processos, etc. (PALM, 2011). A simulação com o MATLAB para processos matemáticos é bastante eficiente, pois proporciona um ambiente favorável ao estudo aprofundado de processos, sem que seja necessário o contato direto com o processo real.

Uma grande vantagem do MATLAB é que ele possuir recursos visuais simples em comparação a outras linguagens de programação. Isso é um diferencial quando se precisa de um resultado imediato e não tem muito tempo para desenvolver algo do início. Há várias bibliotecas (toolboxes) que podem ser usadas para diferentes áreas, como equações diferenciais, estatística, processamento de sinais, finanças e outros, segundo Baptista et al. (2016).

2.2 Metodologia

Inicialmente, a metodologia do trabalho foi dividida em 6 etapas, como é exposto no fluxograma representado pela Figura 2.

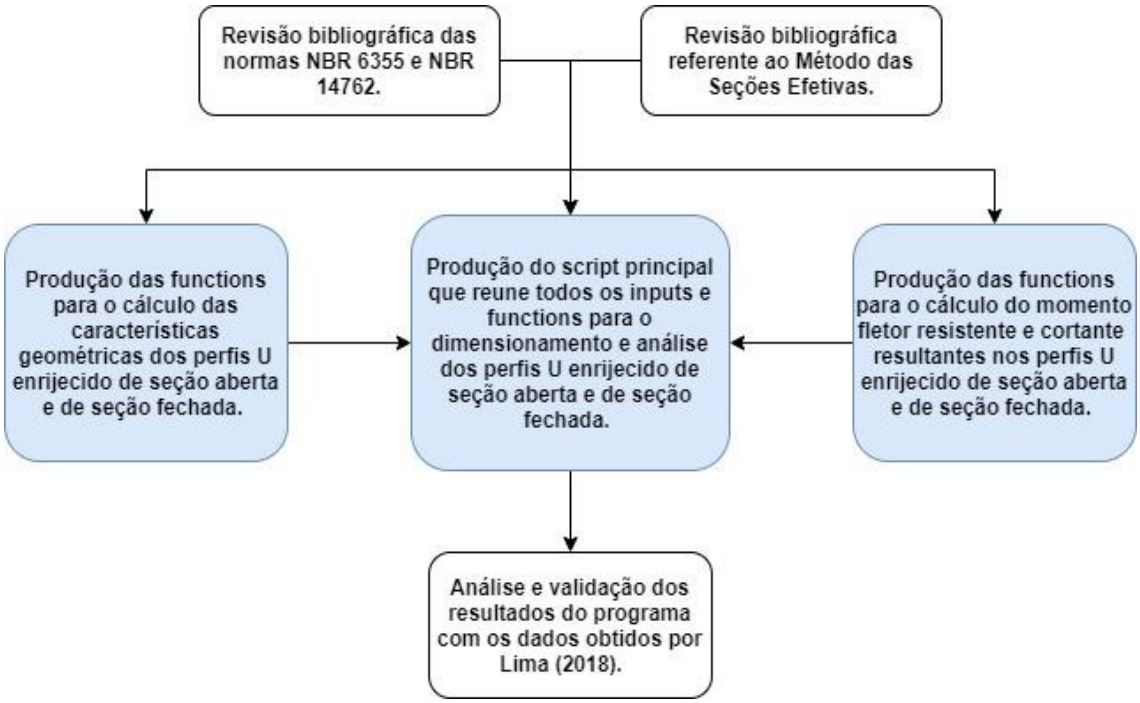

Figura 2. Fluxograma do trabalho. Fonte: Próprios autores (2021).

É importante ressaltar que no fluxograma da Figura 2, as partes marcadas por azul são os passos para a produção do programa, que serão discutidas a seguir.

2.2.1 Script principal

A partir do estudo do método das seções efetivas (MSE), verificou-se a vasta gama de dados pré-estabelecidos pelas normas da ABNT. Com isso, foi elaborado um código de entrada no MATLAB, em que contém as dimensões e as espessuras dos perfis formados a frio analisados (perfis de seções U enrijecido), o comprimento e o carregamento da viga. Além dos sumos parâmetros iniciais ditos, também é incluído os coeficientes adimensionais e parâmetros dimensionais necessários ao se empregar as equações da metodologia da NBR 1462:2010 adotada.

Para finalizar este script, nomeado como 'Projeto', é chamado também todas as *functions* produzidas, que serão explicadas a frente, para obter as características geométricas, força cortante e momento fletor, parâmetros esses que definem o dimensionamento e análise do perfil. Verificando a Tabela 1, encontraremos todos valores utilizados como inputs do programa, valores esses que tabelados pela NBR 14762:2010.

2.2.2 *Functions* com cálculos das características geométricas dos perfis

Com o intuito de estabelecer os parâmetros geométricos requisitados pelo MSE, foram criadas duas *functions*: uma para determinação das características geométricas do perfil U enrijecido de seção aberta; e outra para o perfil U enrijecido de seção fechada (tipo caixa). Essa divisão foi feita, pois, diferente do que comumente pensamos, nem todas características de um perfil fechado equivale ao dobro do perfil aberto. Para esse cálculo, temos os inputs obtidos a partir do código 'Projeto.m'. É importante frisar que, todas as equações utilizadas nas *functions* estão expostas na Tabela 1.

Para um perfil aberto, a função 'dimensionamento_secao_aberta.m' inicia-se transformando as seções tridimensionais em bidimensionais para possibilitar e facilitar os cálculos das equações. Após isso, determinou-se os parâmetros pela área (1), inércia e distância baricêntrica em x e em y, a inércia a torção e, por fim, a empenagem, pois essas características dependem apenas dos dados de entrada. A partir desses valores, podemos obter o módulo resistente elástico que varia tanto em x (2) quanto em y (3). Vemos que esses módulos dependem apenas da Inércia, diferente dos raios girantes x (4) e y (5) que dependem tanto da inércia quanto da área. Finalizando essa parametrização, o último dado é o raio girante para torção (6) que está em função do raio girante em x (rx) e em y (ry), sendo, agora, possível de determinar.

Para um perfil fechado, temos sim alguns valores dobrados em relação ao perfil aberto, pois trata-se de um perfil duplamente simétrico. Portanto, a área (7), a inércia torcional, a inércia e o módulo resistente no eixo x, representados por (8) e (9), respectivamente, são o dobro por geometria. Ademais, a distância baricêntrica em x e a empenagem são iguais a zero pelo mesmo argumento anterior. Já a inércia, o módulo resistente e a distância baricêntrica em y, respectivamente, tem equações divergentes, pois não atendem a esse critério. Visto isso, o raio girante para torção (12) altera, pois os dados do raio girante em x e y (10) e (11), nessa ordem, também sofrem alterações. Todos esses cálculos são descritos da *function* 'dimensionamento_secao_fechada.m'.

Tabela 1. Equações utilizadas na *function* de características geométricas do perfil U enrijecido de seção aberta e fechada.

$$Area = t*(b2+2*b1+2*b4) \quad (1)$$

$$Wx = \frac{Ixt}{bw/2} \tag{2}$$

$$Wy = \frac{Iyt}{bf/2+d1y} \tag{3}$$

$$rx = \sqrt{\frac{Ixtsimples}{Area}} \tag{4}$$

$$ry = \sqrt{\frac{Iytsimples}{Area}} \tag{5}$$

$$r0 = \sqrt{rx^2+ry^2+x0^2+y0^2} \tag{6}$$

$$Area_c = 2*Area \tag{7}$$

$$Wx_c = Ixt_c/(\frac{bw}{2}) \tag{8}$$

$$Wy_c = \frac{Iyt_c}{bf} \tag{9}$$

$$rx_c = \sqrt{\frac{Ixt_c}{Area_c}} \tag{10}$$

$$ry_c = \sqrt{\frac{Iyt_c}{Area_c}} \tag{11}$$

$$r0_c = \sqrt{rx^2+ry^2+x0^2+y0^2} \tag{12}$$

2.2.3 *Functions* com cálculos do momento fletor e força cortante

Foram elaborados dois códigos que calculam, em tese, os parâmetros para analise estrutural que são: o momento fletor máximo e a força cortante. Porém, utilizou-se valores diferentes em relação a geometria, porque um é para o perfil simples, nomeado por 'calculo_cargas_aberto.m' e a segunda chama-se 'calculo_cargas_fechado.m' para o perfil em caixa, entretanto, cabe a mesma descrição das duas funções. Assim como na fase anterior, todas as equações utilizadas nessas *functions* são expostas na Tabela 2.

Para o início das functions, extraímos do script principal os parâmetros relacionados as cargas e com isso, são calculados os momentos referentes ao PPF U enrijecido.

No início do cálculo, temos o momento referente ao escoamento na seção (13), cujo sua equação há um dado, que é o módulo de resistência elástico (15), gerando uma condição relacionada ao coeficiente de esbeltez (14). Após essa condição ser analisada, o código segue, já que valor do módulo foi determinado e os outros dados são pré-determinados, tendo, por fim, o primeiro momento existente na viga calculado.

Posteriormente, temos o momento referente à flambagem lateral com torção (16), tendo mais parâmetros envolvidos e com decorrência disso, mais condicionais. A primeira é na análise do fator de redução do momento fletor resistente (18) que está relacionado ao coeficiente de ponderação das resistências (17). Estabelecido o valor do fator, temos como sequência o mesmo caso do coeficiente de esbeltez como o módulo resistente, só que relacionado à compressão. Por conseguinte, podemos, enfim, substituir os dados na equação e obter mais um momento relacionado ao perfil.

Ademais, tem-se o cálculo do momento referente à flambagem distorcional (21), é obtido a partir da verificação de uma condição, se tratando do valor do fator de redução do momento fletor para distorção (20) que é aferido com base no valor do Índice de esbeltez reduzido referente à flambagem por distorção (19). Dando sequência, temos todos os parâmetros necessários para resolver a equação exigida, obtendo o último momento associado. Lembrando que, para perfis de seção fechada, por simetria, este momento se dá igual a zero.

Extraindo o mínimo momento dentre os calculados, temos o esforço necessário para que a viga atinja a tensão limite, ou seja, o máximo valor suportado para momento fletor.

Por fim, a força cortante (22) é baseada em dados já calculados nas functions de geometria dos perfis, estabelecendo assim, o último valor para gerar a plotagem dos gráficos que relacione os esforços solicitantes com os esforços resistentes.

Tabela 2. Equações utilizadas na *function* de cálculo do momento fletor e cortante do perfil U enrijecido de seção aberta e fechada.

$$Msd = \left(\frac{q*l^2}{8}\right)*1{,}4 \tag{13}$$

$$yp = \sqrt{\frac{Wc*fy}{Ml}} \tag{14}$$

$$Wef = Wx \tag{15}$$

$$Me = Cb*r0*\sqrt{Ney*Nez} \tag{16}$$

$$y0 = \sqrt{\frac{Wc*fy}{Me}} \tag{17}$$

$$xflt = 1.11*\left(1\text{-}0.278*\left(y0^2\right)\right) \tag{18}$$

$$ydist = \sqrt{\frac{Wc*fy}{Mdist}} \tag{19}$$

$$Xdist = \left(1-\left(\frac{0.22}{ydist}\right)\right)*\frac{1}{ydist} \tag{20}$$

$$MRdd = \frac{Xdist*Wx*fy}{y} \tag{21}$$

$$VRd = \frac{\frac{0{,}905*E*kv*t^3}{b2ft}}{y} \quad para \quad \frac{b2ft}{t} \geq 1{,}08*\sqrt{\frac{E*kv}{fy}} \tag{22}$$

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para validação das rotinas produzidas em MATLAB, inicialmente o código foi aplicado aos exemplos 5.1 e 5.2 de Lima (2018). Posteriormente, será feita a análise dos perfis dimensionados pelo programa. Nesses exemplos, os perfis conformados a frio analisados foram os U enrijecidos de seção aberta e o de seção fechada de aço ASTM A36 com dimensões (200x75x25x3.00) e (300x85x30x3.00) estabelecidas pela norma 6355:2012. Além disso, a Tensão de escoamento equivale a 250 Mpa, considerando que a estrutura composta pelos perfis era uma viga bi apoiada de 6m submetida a um carregamento distribuído de 0,15 KN/cm em um vão de 2 m. Dividiu-se a análise em duas etapas, uma para o perfil de seção aberta e outra para a seção fechada.

3.1 Validação dos resultados

Os resultados calculados pelo programa e os resultados obtidos por Lima (2018) são comparados nas Tabelas 3 e 4, analisados em duas dimensões diferentes para validar o comportamento em diferentes configurações.

Tabela 3. Comparação dos resultados do programa com os resultados de Lima (2018) para o perfil U enrijecido aberto de dimensões 200x75x25x3.

DADOS	MATLAB (Aberto)	Experimental (Aberto)	MATLAB (Fechado)	Experimental (Fechado)
Área (cm^2)	11,28	11,28	22,56	22,56
Inércia em x (cm)	682,39	682,4	1364,8	1364,8
Inércia em y (cm)	85,74	85,8	778,2	748,2
Raio girante em x (cm)	7,77	7,75	7,77	7,78
Raio girante em y (cm)	2,75	2,76	5,87	5,9
Módulo elástico em x (cm^3)	68,23	68,2	1136,47	136,5
Módulo elástico em y (cm^3)	16,53	16,45	103,77	104,6
Inércia à torção (cm^4)	0,34	0,34	0,63	0,69
Empenagem	7277	7278	0	0
Raio girante polar (cm)	9,95	9,95	10,37	10,4
Cortante Solicitante (KN)	4,2	4,2	4,2	4,2
Cortante Resistente (KN)	80,59	79,36	161,18	158,73

Momento Solicitante (KN.cm)	630	630	630	630
Momento Resistente (KN.cm)	1161,8	1158,43	2531,2	2536,8

Fonte: Próprios autores (2021).

Tabela 4. Comparação dos resultados do programa com os resultados de Lima (2018) para o perfil de dimensões (300x85x30x3).

DADOS	MATLAB (Aberto)	Experimental (Aberto)	MATLAB (Fechado)	Experimental (Fechado)
Área (cm^2)	15,18	15,18	30,36	30,36
Inércia em x (cm)	1970,3	1970,2	3940,6	3940,64
Inércia em y (cm)	142,8	142,1	1450,7	1461,5
Raio girante em x (cm)	11,39	11,37	11,39	11,39
Raio girante em y (cm)	3,91	3,91	6,91	6,94
Módulo elástico em x (cm^3)	131,35	130,9	262,7	263,1
Módulo elástico em y (cm^3)	23,05	23,04	170,66	171,9
Inércia à torção (cm^4)	0,46	0,47	0,92	0,97
Empenagem	2647,2	2689,2	0	0
Raio girante polar (cm)	13,13	13,81	13,84	13,9
Cortante Solicitante (KN)	4,2	4,2	4,2	4,2
Cortante Resistente (KN)	74,79	75,01	150,1	151,11
Momento Solicitante (KN.cm)	630	630	630	630
Momento Resistente (KN.cm)	2236,4	2274,3	3895,6	3900,1

Fonte: Próprios autores (2021).

É possível perceber que, nos dois perfis analisados, as diferenças entre valores obtidos pelas rotinas no MATLAB e os resultados de Lima (2018) é mínima, comprovando a eficácia do programa.

3.2 Análise estrutural dos perfis

Sabe-se que, para análise de perfis formados a frio pelo Método das Seções Efetivas é preciso a verificação de critérios de momento fletor e cortante. Para isso, os gráficos de cortante e momento fletor dos dois perfis (200x75x25x3) e (300x85x30x3) U enrijecido de seção aberta e fechada foram plotados pelo programa e são ilustrados pelas Figuras a seguir.

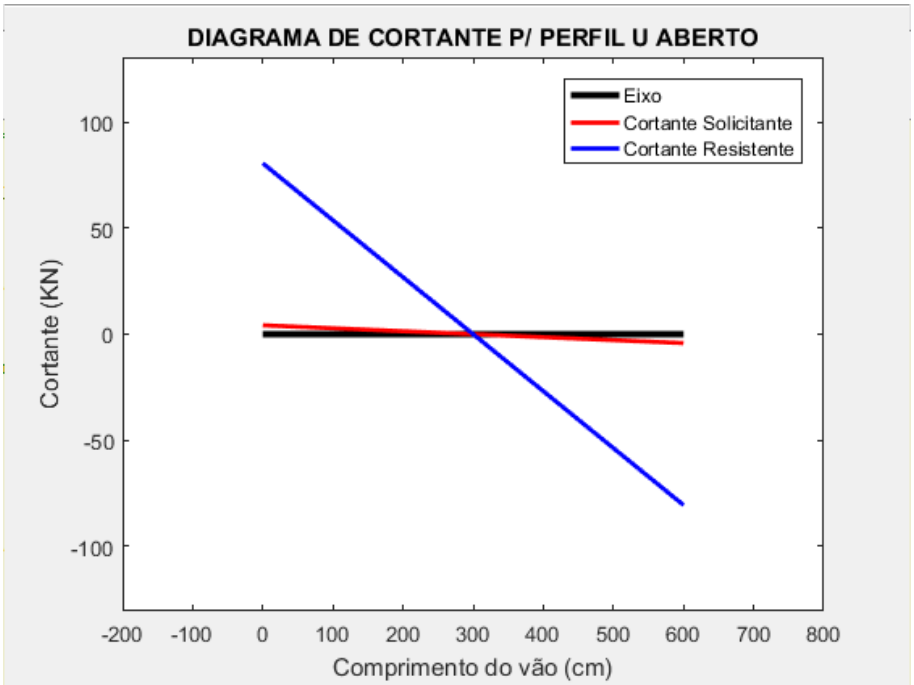

Figura 3. Cortante para o perfil U enrijecido (200x75x25x3) de seção aberta. Fonte: Próprios autores (2021).

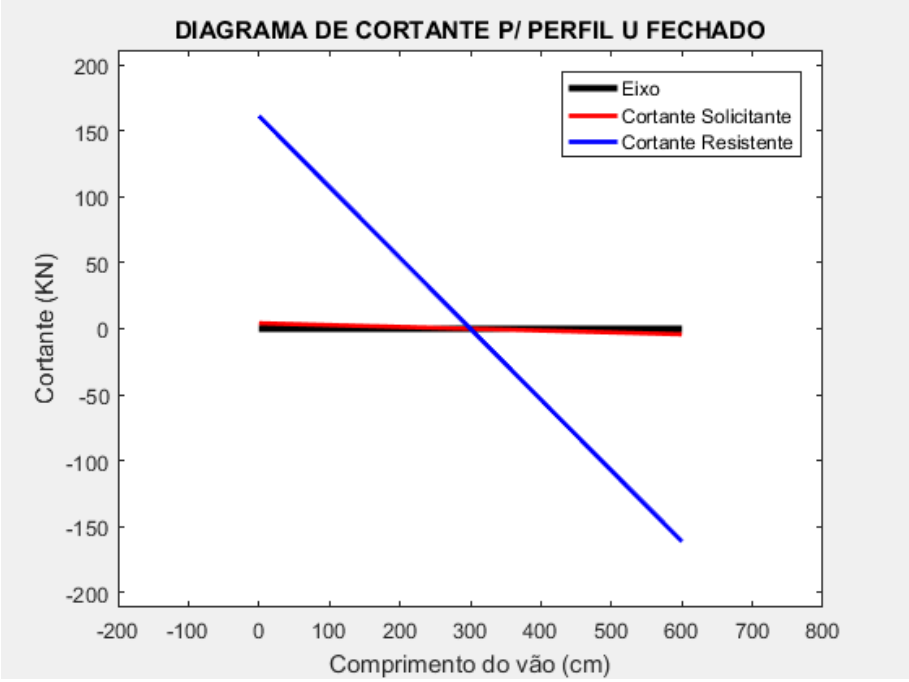

Figura 4. Cortante para o perfil U enrijecido (200x75x25x3) de seção fechada. Fonte: Próprios autores (2021).

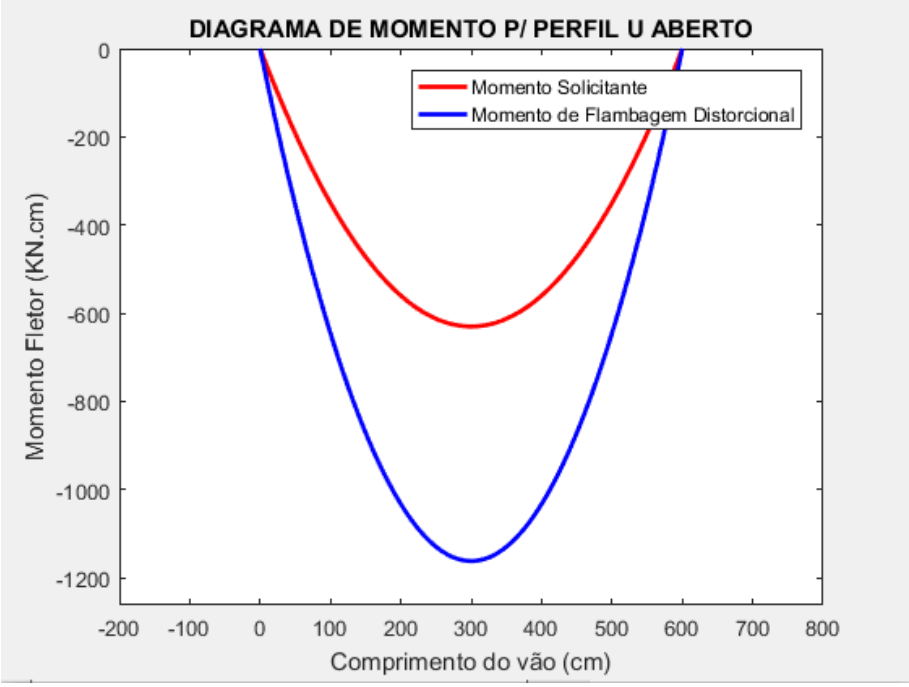

Figura 5. Momento Fletor para o perfil U enrijecido (200x75x25x3) de seção aberta. Fonte: Próprios autores (2021).

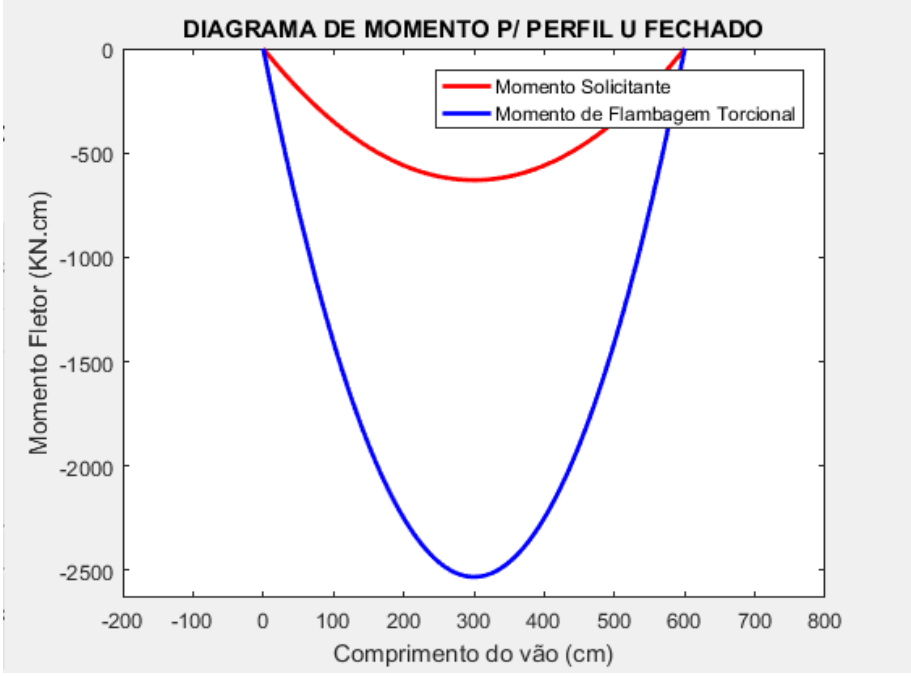

Figura 6. Momento Fletor para o perfil U enrijecido (200x75x25x3) de seção fechada. Fonte: Próprios autores (2021).

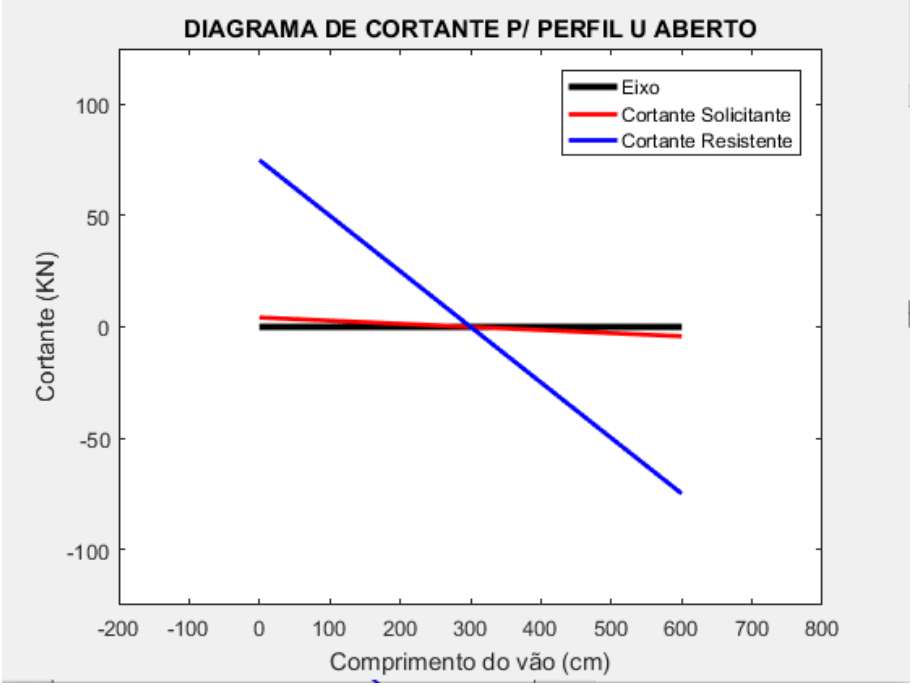

Figura 7. Cortante para o perfil U enrijecido (300x85x30x3) de seção aberta. Fonte: Próprios autores (2021).

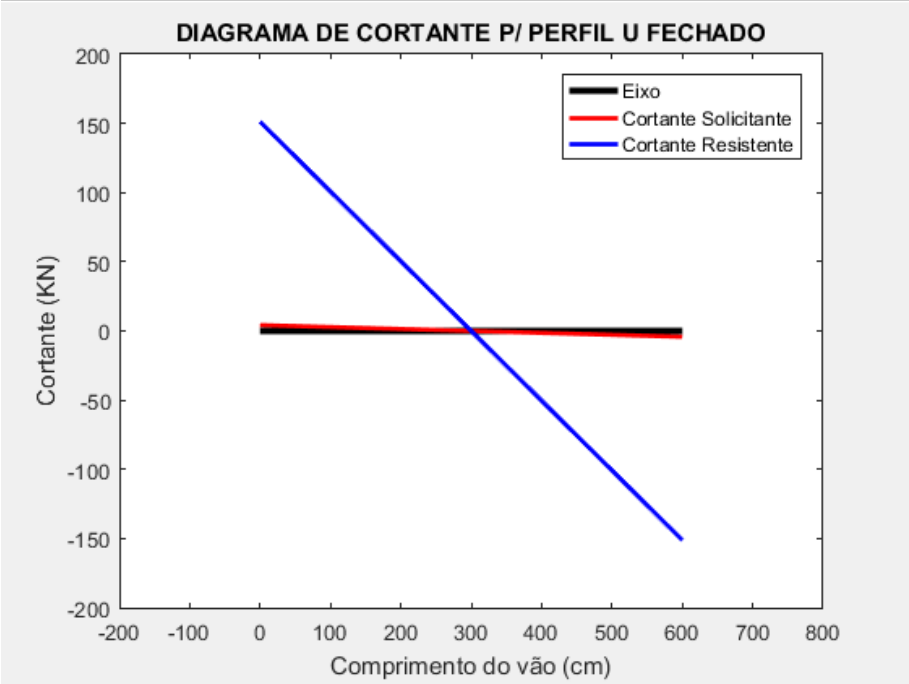

Figura 8. Cortante para o perfil U enrijecido (300x85x30x3) de seção fechada. Fonte: Próprios autores (2021).

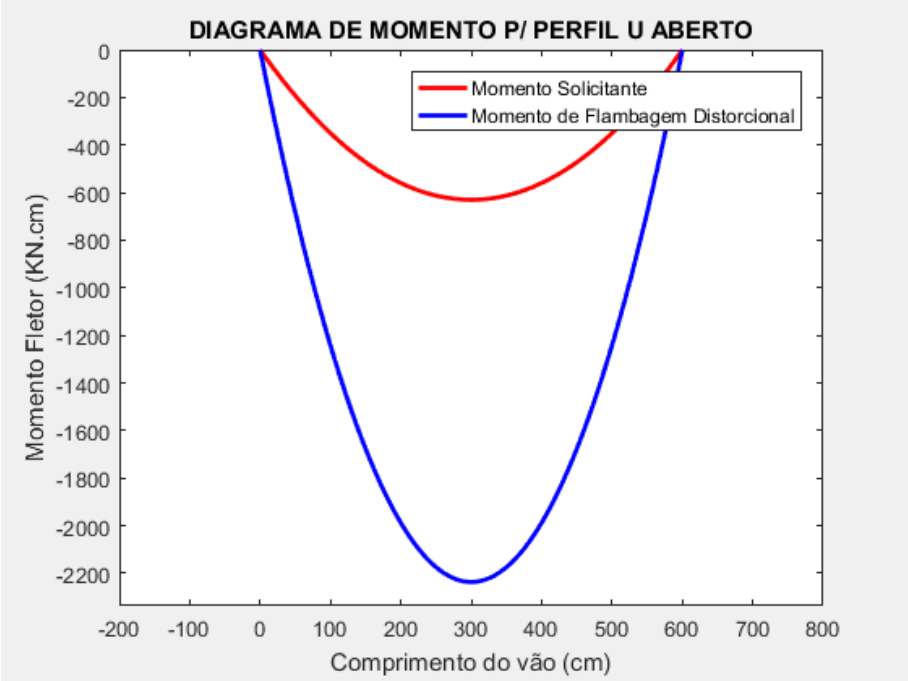

Figura 9. Momento Fletor para o perfil U enrijecido (300x85x30x3) de seção aberta. Fonte: Próprios autores (2021).

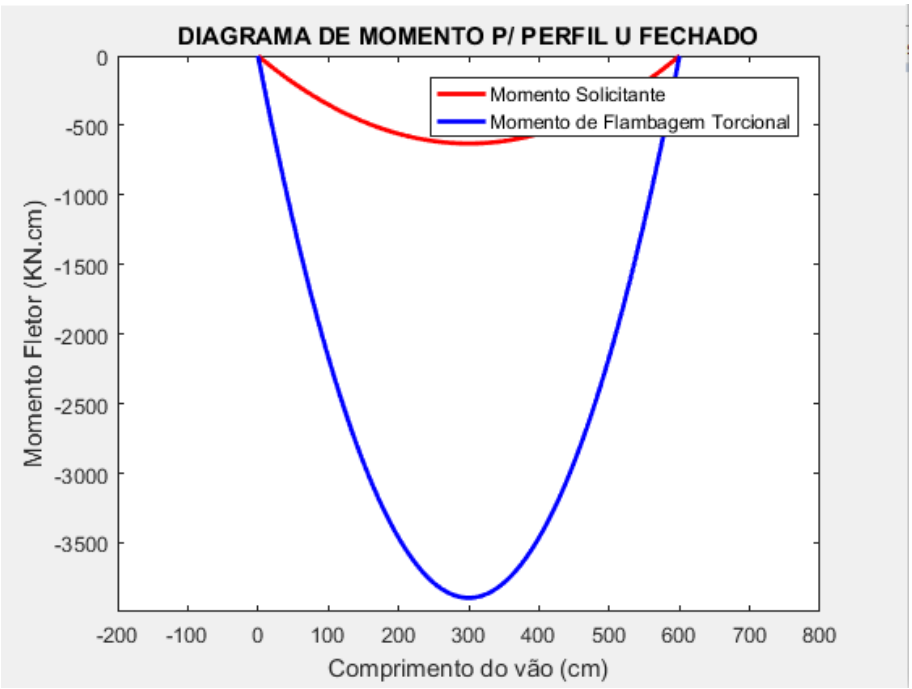

Figura 10. Momento Fletor para o perfil U enrijecido (300x85x30x3) de seção aberta. Fonte: Próprios autores (2021).

A análise da força cortante e momento fletor é feita por método de comparação entre os dois perfis: Perfil 1 (200x75x25x3) e Perfil 2 (300x85x30x3). A partir dos resultados mostrados acima, verifica-se que os esforços resistentes do segundo perfil são superiores aos valores do primeiro, ou seja, se aplicada duas forças cortantes crescentes em duas vigas, uma com cada formato de perfil, a barra com perfil 1 falharia primeiro. E a análise de momento terá o mesmo princípio, pois os momentos resistentes tem o comportamento similar ao esforço cortante, indicando que a primeira barra vai colapsar mais rápido.

É importante ressaltar que a comparação entre a seção aberta e fechada é claramente de superioridade resistente da seção em forma de caixa.

No gráfico, tudo isso se traduz como, quanto maior a divergência entre os dados solicitantes e resistentes, melhor será o perfil. Porém, as vigas em caixa, se forem resistentes em excesso, podem colapsar por não defletir, devido a uma baixa proporção entre o tamanho da alma e da mesa.

Para a finalização do trabalho desenvolvido, temos alguns pontos a se destacar para concluir os benefícios que trará essa aplicação desenvolvida.

Inicialmente, temos exposto um programa otimizador de tempo, visto que a quantidade de equações envolvidas no método demanda cálculos de elevados cuidados e condições. Com isso, a aplicação das fórmulas em um programa computacional é uma grande sacada, a fim de evitar erros e facilitar a vida de projetistas, quando os mesmos precisam utilizar vigas de PPF U enrijecido.

Ademais, a utilização do software MATLAB em específico, o qual tem uma usabilidade comum entre engenheiro, traz uma possibilidade de ambientação e permissão para que haja edições, caso este método evolua com o tempo.

Relacionado aos resultados, podemos identificar a partir dos resultados e gráficos, que perfis de seção aberta são suscetíveis a uma baixa resistência a flambagem lateral com torção, mesmo utilizada em vãos relativamente pequenos. Porém, ao se empregar perfis do tipo caixa, faz-se necessário o cuidado para que o mesmo não seja resistente demais, pois não haverá deflexão, podendo colapsar antes do desejado. Esses fatores dependerão da proporção entre os comprimentos da alma e das mesas, tornando o meio termo ideal para utilização em estruturas.

Por fim, a confiabilidade do programa é alta, como mostra no fato dos valores serem bem aproximada dos ensaios reais comparados, sendo isso incomum para métodos analíticos, mas entendível pela utilização de um software matemático tão confiável.

Sugere-se para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Análise Estrutural de colunas em Perfil formado a frio.
- Análise comparativa de resistência entre perfis formados a frio e perfis laminados.
- Análise comparativa de custo entre construção de residência em perfis formado a frio e perfis laminados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6355. Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro, ABNT, 2012. 36 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14762. Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 87 p.

BATISTA, E. M. Local–global buckling interaction procedures for the design of cold-formed columns: Effective width and direct method integrated approach. Thin-Walled Structures 47, p.1218–1231, 2009.

BAPTISTA, R., Da Silva Filho. J. I., Mario, M.C., Garcia, D. V. Respostas transitórias de funções de transferências de controle de processos com o apoio do MATLAB. UNISANTA – Universidade Santa Cecília Departamento de Pós-Graduação Rua Oswaldo Cruz, 288, Boqueirão, Santos- SP, 11045-000, Brasil, 2016.

COSTA, A. A. R. Estudo da Flambagem Local de Perfis U Enrijecidos em Situação de Incêndio. Belo Horizonte. Pós-graduação em Engenharia de Estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

DONIM, Victor. Tabela de Verificação de Perfis Formados a Frio. Bahia: UCSAL, 2009, Monografia (Graduação), Universidade Católica de Salvador, Salvador 2009.

KRIPKA, M. & GUERRA, P.A. Otimização estrutural das paredes enrijecidas de silos metálicos. In: KRIPKA, M., CHAMBERLAIN, Z.M. (org): Novos estudos e pesquisas em construção metálica. Passo Fundo: UPF Editora, p. 148-169, 2010.

LIMA, A. J. Análise estrutural de vigas em perfis formados a frio, submetidos à flexão simples pelo método da seção efetiva (MSE). Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) – Centro Universitário de Brasília, 2018.

The Math Works, Inc. MATLAB. Versão 2020a, The Math Works, Inc., 2020.

PALM III, W. J., “Introdução ao MATLAB para Engenheiros”. 3ª ed. Minas Gerais: AMGH Editora Ltda, 2011. p 147-149, 2011.