

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

RENATO JÚNIO FREITAS DE ARAÚJO

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA
AVALIAÇÃO DE PERFIS U ENRIJECIDOS SEGUNDO A
NBR 14762:2010 PELO MÉTODO DA RESISTÊNCIA
DIRETA**

Belo Horizonte

2025

Renato Júnio Freitas de Araujo

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA
AVALIAÇÃO DE PERFIS U ENRIJECIDOS SEGUNDO A
NBR 14762:2010 PELO MÉTODO DA RESISTÊNCIA DIRETA**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Especialista em Estruturas".

Orientador: Dr. Rodrigo Barreto Caldas.

Belo Horizonte

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA/TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos **nove dias** do mês de **outubro de 2025**, às 17h, o estudante **Renato Júnio Freitas de Araújo**, matrícula 2023668799, defendeu o Trabalho intitulado “**Desenvolvimento de Ferramenta para Avaliação de Perfis U Enrijecidos Segundo a NBR 14762:2010 pelo Método da Resistência Direta**”.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

Nota: 100 (cem pontos)

Orientador(a): Prof. Dr. Rodrigo Barreto Caldas

Nota: 100 (cem pontos)

Examinador(a): MSc. Mayane Cordeiro Loureiro



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Barreto Caldas, Professor do Magistério Superior**, em 30/10/2025, às 10:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mayane Cordeiro Loureiro, Usuária Externa**, em 03/11/2025, às 22:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4673693** e o código CRC **FC00C13C**.

INSTRUÇÕES

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

Agradecimento

Agradeço a Deus pela vida e pelas oportunidades que me foram concedidas ao longo desta jornada.

Aos meus familiares, pelo apoio incondicional, incentivo e dedicação que me sustentaram em todos os momentos.

Aos colegas de trabalho da Kot Engenharia, pelos conhecimentos compartilhados e pelo apoio fundamental durante a realização deste trabalho.

À MSc. Mayane Cordeiro, pela paciência, orientação e pelos valiosos ensinamentos que enriqueceram esta etapa.

Ao professor Rodrigo Caldas, pela orientação, apoio e incentivo, essenciais para o desenvolvimento deste projeto.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado!

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para o dimensionamento de perfis formados a frio, utilizando o método da resistência direta (MRD) e a análise pelo Método das Faixas Finitas Restritas (cFSM). A ferramenta visa automatizar a avaliação dos esforços críticos de flambagem global, local e distorcional, em conformidade com a norma brasileira NBR 14762:2010. Para validar a abordagem proposta, os resultados obtidos foram comparados com os disponíveis na bibliografia, demonstrando que, em geral, as discrepâncias dos resultados disponíveis e os encontrados a partir das simplificações e considerações adotadas, são pequenas, especialmente em perfis esbeltos. Além disso, foi resolvido um exemplo prático extraído da literatura, que evidencia a eficiência e a confiabilidade da ferramenta para a análise estrutural. Os resultados indicam que a metodologia adotada pode oferecer uma alternativa precisa e confiável para o dimensionamento de estruturas de aço com perfis formados a frio.

Dimensionamento; Perfis Formados a Frio, Método das Faixas Finitas.

Abstract

This work presents the development of a computational tool for the dimensioning of cold-formed steel profiles using the Direct Strength Method (DSM) and the Constrained Finite Strip Method (cFSM). The tool aimed to automate the evaluation of the critical strengths associated with global, local, and distortional buckling, in accordance with Brazilian Standard NBR 14762:2010. To validate the proposed approach, the results obtained were compared with those available in literature, demonstrating that, in general, the discrepancies between the literature values and the results derived from the adopted simplifications and assumptions were small, particularly for slender profiles. Furthermore, a practical example extracted from the literature was solved, highlighting the efficiency and reliability of the tool for structural analysis. The findings indicated that the adopted methodology could provide a precise and reliable alternative for the dimensioning of cold-formed steel structures.

Designing; Cold-Formed Steel; Finite Strip Method.

Lista de Figuras

Figura 1 – Modos de flambagem em perfis submetidos à compressão centrada: (a) Flambagem local (à esquerda); (b) Flambagem por distorção (à direita).	20
Figura 2 – Flambagem distorcional em perfis submetidos a: (a) compressão centrada (à esquerda); (b) momento fletor (à direita).	20
Figura 3 – Dimensões principais do perfil U enrijecido.....	22
Figura 4 – Parâmetros de entrada da seção e eixos de referência.....	26
Figura 5 – Comparação entre seções transversais: (a) seção considerando os raios (à esquerda); (b) seção com cantos retos (à direita)	27
Figura 6 – Discretização da seção transversal com diferentes números de elementos: (a) 1 elemento; (b) 2 elementos; (c) 4 elementos; (d) 8 elementos; (e) 16 elementos.	31
Figura 7 – Parâmetros auxiliares	40
Figura 8 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.	47
Figura 9 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.	47
Figura 10 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.	56
Figura 11 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.....	57
Figura 12 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.	57
Figura 13 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.....	58
Figura 14 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.	58
Figura 15 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.	59
Figura 16 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.....	59

Figura 17 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.	60
Figura 18 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.	60
Figura 19 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.	61
Figura 20 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.	61
Figura 21 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.	62
Figura 22 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.	62
Figura 23 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.	63
Figura 24 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.	63
Figura 25 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.	64
Figura 26 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.	64
Figura 27 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.	65
Figura 28 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.	65
Figura 29 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.	66
Figura 30 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.	66
Figura 31 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.	67

Figura 32 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.	67
Figura 33 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria– Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.	68
Figura 34 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.	68
Figura 35 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.	69
Figura 36 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.	69
Figura 37 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.	70
Figura 38 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.	70
Figura 39 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.	71
Figura 40 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.	71
Figura 41 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.	72
Figura 42 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.	72
Figura 43 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.	73
Figura 44 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.	73
Figura 45 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.	74
Figura 46 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.	74

Figura 47 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.	75
Figura 48 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.....	75
Figura 49 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.	76
Figura 50 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.	76
Figura 51 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.....	77
Figura 52 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.	77
Figura 53 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.....	78
Figura 54 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.	78
Figura 55 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.	79
Figura 56 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.....	79
Figura 57 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65	80
Figura 58 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.....	80
Figura 59 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.	81
Figura 60 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.	81
Figura 61 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.....	82

Figura 62 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.	82
Figura 63 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.....	83
Figura 64 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.	83
Figura 65 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.	84
Figura 66 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.....	84
Figura 67 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75	85
Figura 68 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.....	85
Figura 69 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.	86
Figura 70 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.	86
Figura 71 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.....	87
Figura 72 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.	87
Figura 73 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.....	88
Figura 74 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.	88
Figura 75 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.	89
Figura 76 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.....	89

Figura 77 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.	90
Figura 78 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.....	90
Figura 79 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.	91
Figura 80 – Uso da ferramenta computacional (1/4).....	92
Figura 81 – Uso da ferramenta computacional (2/4).....	93
Figura 82 – Uso da ferramenta computacional (3/4).....	93
Figura 83 – Uso da ferramenta computacional (4/4).....	94
Figura 84 – Arquivos de saída.....	94
Figura 85 – Arquivo de saída com Índice de Utilização (IU).	94
Figura 86 – Arquivo de saída com propriedades geométricas.....	95
Figura 87 – Arquivo de saída com os esforços resistentes.	95
Figura 88 – Preenchimento do exemplo (1/5).	96
Figura 89 – Preenchimento do exemplo (2/5).	96
Figura 90 – Preenchimento do exemplo (3/5).	97
Figura 91 – Preenchimento do exemplo (4/5).	97
Figura 92 – Preenchimento do exemplo (5/5).	98

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Parâmetros geométricos calculados pelo módulo do CUFSM	28
Tabela 2 – Esforços solicitantes de cálculo	28
Tabela 3 – Comprimentos efetivos de flambagem	29
Tabela 4 – Perfis avaliados	30
Tabela 5 – Convergência de forças e momentos fletores de flambagem.	31
Tabela 6 – Perfis avaliados.	43
Tabela 7 – Propriedades geométricas – Seções de cantos arredondados (NBR 6355:2012) e de cantos retos (calculados).....	44
Tabela 8 – Razão entre as propriedades geométricas das seções de cantos retos e arredondados – menores espessuras.....	44
Tabela 9 – Razão entre as propriedades geométricas das seções de cantos retos e arredondados – maiores espessuras.....	45
Tabela 10 – Esforços e momentos de flambagem global – Seções de cantos arredondados e de cantos retos.	45
Tabela 11 – Razão dos esforços e momentos de flambagem global para seções de cantos retos e arredondados – menores espessuras.	46
Tabela 12 – Razão dos esforços e momentos de flambagem global para seções de cantos retos e arredondados maiores espessuras.	46
Tabela 13 – Forças e momentos de flambagem – bibliografia.....	48
Tabela 14 – Forças e momentos de flambagem – Resultados deste trabalho.....	48
Tabela 15 – Razão dos esforços e momentos (Resultados deste trabalho / Bibliografia)	49
Tabela 16 – Dados para resolução do exemplo	50
Tabela 17 – Comparação das forças axiais de flambagem conforme a bibliografia e os resultados deste trabalho.....	50
Tabela 18 – Comparação da força axial resistente de cálculo	51
Tabela 19 – Momentos fletores resistentes de cálculo – em relação ao eixo de simetria.	52
Tabela 20 – Momentos fletores resistentes de cálculo – em relação ao eixo perpendicular ao de simetria.	52

Tabela 21 – Razões das forças e momentos solicitantes de cálculo em relação aos esforços resistentes de cálculo.	53
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	17
3 REVISÃO DA LITARATURA	18
3.1 Perfis Formados a Frio.....	18
3.2 Modos de Flambagem.....	19
3.3 Aspectos Normativos	21
3.4 Método da Resistência Direta	22
4 METODOLOGIA.....	25
4.1 Entrada de Dados	26
4.1.1 Definição do material	26
4.1.2 Definição da seção.....	26
4.1.3 Definição dos esforços solicitantes.....	28
4.1.4 Comprimentos efetivos de flambagem e fator de modificação para momento fletor não uniforme	29
4.2 Análise de Flambagem pelo cFSM.....	29
4.2.1 Discretização dos elementos	30
4.3 Cálculo dos Esforços Resistentes – NBR 14762 (ABNT, 2010).....	32
4.3.1 Força axial	32
4.3.2 Momento fletor em torno do eixo de simetria	35
4.3.3 Momento fletor perpendicular ao eixo de simetria.....	38
4.4 Avaliação da Barra - NBR 14762 (ABNT, 2010).....	40
4.5 Validação dos Resultados	41
4.5.1 Validação das propriedades geométricas e flambagem global	41
4.5.2 Validação da flambagem local e distorcional	42
4.5.3 Resolução de exemplo prático	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Propriedades Geométricas	43
5.2 Flambagem Global.....	45
5.3 Flambagem Local e Distorcional	46

5.4 Resolução de Exemplo.....	49
5.4.1 Compressão centrada	50
5.4.2 Flexão simples - em relação ao eixo de simetria	51
5.4.3 Flexão simples - em relação ao eixo perpendicular ao de simetria	52
5.4.4 Avaliação da barra submetida a flexão composta.....	52
6 CONCLUSÃO.....	53
7 REFERÊNCIAS	54
APÊNDICE A – EXEMPLOS RESOLVIDOS NO TRABALHO.....	56
APÊNDICE B – EXEMPLO DE PREENCHIMENTO.....	92

1 INTRODUÇÃO

O uso de perfis estruturais formados a frio tem se tornado cada vez mais comum na construção civil, sobretudo pela combinação de leveza, resistência e economia que esses elementos proporcionam. Dentre eles, os perfis de seção U enrijecido destacam-se por sua eficiência estrutural em aplicações que exigem alto desempenho com baixo peso próprio.

A norma brasileira NBR 14762:2010 (ABNT, 2010) estabelece os requisitos para o dimensionamento de estruturas de aço compostas por perfis formados a frio e, dentre os métodos de análise, apresenta o Método da Resistência Direta (MRD) como uma abordagem eficaz para considerar os efeitos de instabilidade. Contudo, a norma não disponibiliza uma metodologia específica para o cálculo das forças críticas de flambagem distorcional, o que deixa uma lacuna para engenheiros que buscam análises mais ágeis. Além disso, programas computacionais gratuitos – como o DimPerfil – restringem-se à análise de perfis padronizados na NBR 6355:2012 (ABNT, 2012), limitando o dimensionamento de perfis não normatizados.

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de ferramentas computacionais que automatizem a obtenção das forças críticas de flambagem e permitam a verificação de perfis variados. A integração de métodos numéricos avançados, como o Método das Faixas Finitas (FSM), com o poder computacional de linguagens como o MATLAB, oferece uma oportunidade de atender a essa demanda e promover avanços no dimensionamento de estruturas de aço com perfis formados a frio.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta computacional para automatizar o dimensionamento de perfis, com ênfase na obtenção das forças e momentos fletores críticos de flambagem – tanto global quanto local e distorcional – conforme previsto na NBR 14762:2010 (ABNT, 2010), utilizando o MRD. Para isso, emprega-se o Método das Faixas Finitas na determinação dos mínimos esforços de flambagem local e distorcional, por meio do programa CUFISM (LI e SCHAFFER, 2010). A abordagem proposta será validada por meio da comparação dos valores obtidos (propriedades geométricas e esforços

críticos) com os disponíveis na literatura e pela resolução de um exemplo prático extraído de um manual de dimensionamento.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma ferramenta computacional em MATLAB para a verificação de perfis de seção U enrijecido, utilizando o Método da Resistência Direta (MRD), conforme estabelecido na NBR 14762:2010 (ABNT, 2010). Essa ferramenta visa automatizar a obtenção dos esforços resistentes de perfis U enrijecidos, obtendo as forças e os momentos fletores críticos de flambagem local e distorcional por meio do Método das Faixas Finitas, utilizando o programa CUFSM (LI e SCHAFFER, 2010).

Os objetivos específicos deste trabalho são:

Implementar o Método das Faixas Finitas por meio do CUFSM: adaptar e integrar o código-fonte aberto do CUFSM em MATLAB para calcular as forças e momentos fletores críticos de flambagem local e distorcional dos perfis U enrijecidos, possibilitando análises refinadas desses modos de instabilidade;

Aplicar os métodos analíticos da NBR 14762:2010 (ABNT, 2010) para flambagem global (em situações de compressão e flexão) e tração: desenvolver rotinas que calculam as forças e momentos fletores críticos de flambagem global e força de tração, conforme os procedimentos estabelecidos na norma, garantindo a conformidade com os requisitos normativos;

Avaliar as barras por meio do Método da Resistência Direta (MRD): desenvolver rotinas que verifiquem, por meio do MRD, as barras submetidas à flexão composta, considerando os requisitos da NBR 14762:2010 (ABNT, 2010);

Validar a ferramenta por meio de comparações com a literatura: confrontar os resultados obtidos com os dados disponíveis na literatura – como os perfis padronizados na NBR 6355:2012 (ABNT, 2012) e estudos como o de Pierin, Silva e Rovere (2013) – para assegurar a confiabilidade e precisão da ferramenta.

Com este trabalho, espera-se facilitar o processo de dimensionamento de perfis U enrijecidos, sobretudo para aqueles não normatizados, por meio da obtenção automática dos valores críticos de força axial e momento fletor de flambagem distorcional.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Perfis Formados a Frio

A utilização de perfis estruturais formados a frio tem se expandido significativamente na engenharia, sobretudo em aplicações que demandam soluções estruturais leves e eficientes. Esses elementos são obtidos a partir da conformação a frio de chapas de aço – processo realizado por meio de dobragem em prensas ou conformação por rolos – sem a necessidade de aquecimento do material. As espessuras das chapas empregadas variam tipicamente entre 0,378 mm e 6,35 mm, embora existam aplicações em que chapas de até 25,4 mm também possam ser conformadas a frio.

Entre as principais vantagens dos perfis formados a frio em comparação com os perfis laminados a quente, destacam-se:

- **Eficiência Estrutural:** permitem a produção de elementos com alta relação entre resistência e peso, ideais para cargas reduzidas e vãos curtos;
- **Flexibilidade Geométrica:** possibilitam a produção de seções transversais mais complexas com custo econômico competitivo, o que contribui para a otimização estrutural e redução do consumo de material;
- **Facilidade de Transporte e Montagem:** a modularidade dos perfis facilita o empacotamento, o transporte e a instalação;
- **Versatilidade em Sistemas Construtivos:** podem ser empregados em pisos, coberturas, paredes e atuar como diafragmas estruturais, quando conectados adequadamente.

O crescente uso desses perfis na construção civil está associado à busca por soluções estruturais mais sustentáveis e eficientes. Ao mesmo tempo, para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas, torna-se imprescindível compreender os fatores que afetam sua resistência – abrangendo normas de projeto, propriedades dos materiais e aspectos da conformação estrutural. Dessa forma, a presente pesquisa contribui para o aprofundamento do entendimento sobre os fatores que influenciam a resistência e estabilidade dos perfis formados a frio, com o intuito de aprimorar tanto as normas de projeto quanto as aplicações práticas desses elementos na engenharia estrutural.

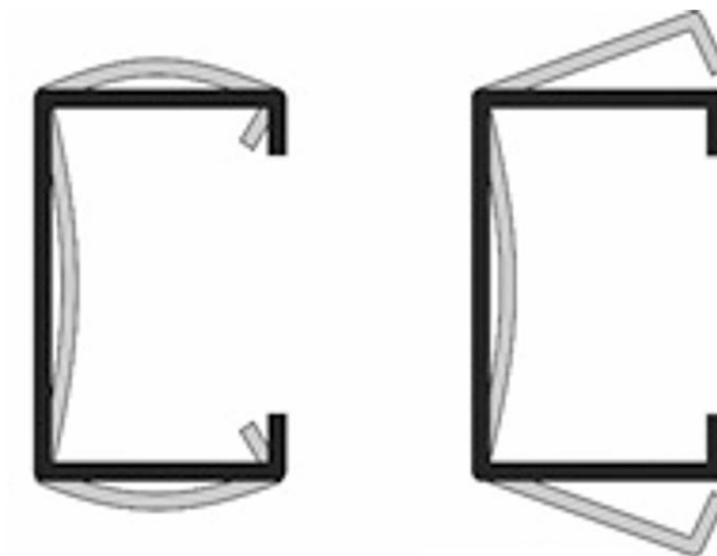
3.2 Modos de Flambagem

Conforme apresentado por Silva, Pierin e Silva (2014), a flambagem elástica pode ocorrer em três modos distintos: local, distorcional e global. Segundo os autores, a definição de força (ou momento fletor) de flambagem corresponde à força (ou momento fletor) em que há equilíbrio neutro entre o estado de deformação original e o desenvolvimento da deformação característica da flambagem.

Os autores também destacam que, no modo local, a seção transversal sofre distorção caracterizada principalmente pela rotação dos cantos, sem que haja transladação significativa desses elementos. Já no modo distorcional, além da rotação, os cantos apresentam também deslocamento (translação), o que acarreta uma deformação combinada da seção. Por fim, a flambagem global ocorre sem alterações notáveis na forma da seção transversal, manifestando-se por meio da translação e/ou rotação da seção como um todo. Os modos globais incluem a flambagem lateral, torcional e flexo-torcional para barras submetidas à compressão e lateral com torção para barras submetidas à flexão.

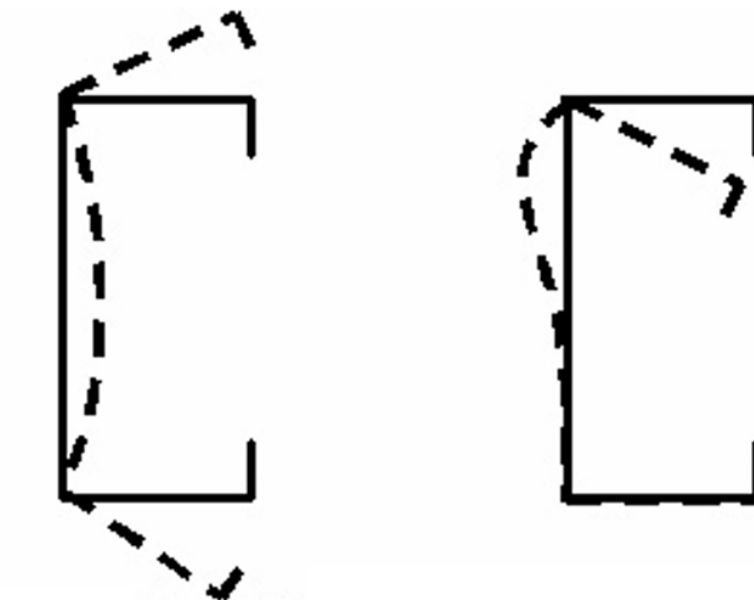
A Figura 1 ilustra os modos de flambagem local e distorcional para compressão centrada, enquanto a Figura 2 apresenta, de forma complementar, os modos distorcional e global observados em seções submetidas, respectivamente, à compressão centrada e à flexão em torno do eixo de simetria.

Figura 1 – Modos de flambagem em perfis submetidos à compressão centrada: (a) Flambagem local (à esquerda); (b) Flambagem por distorção (à direita).



Fonte: (Silva; Pierin; Silva, 2014)

Figura 2 – Flambagem distorcional em perfis submetidos a: (a) compressão centrada (à esquerda); (b) momento fletor (à direita).



Fonte: (Silva; Pierin; Silva, 2014)

3.3 Aspectos Normativos

A ABNT NBR 14762:2010 estabelece os requisitos para o dimensionamento dos perfis estruturais formados a frio, conectados por parafusos ou soldas, e destinados a estruturas de edifícios ou similares, visando considerar as particularidades de cada aplicação.

Esta norma orienta o dimensionamento de barras prismáticas (com exceção dos perfis tubulares de seção circular) por meio de três métodos:

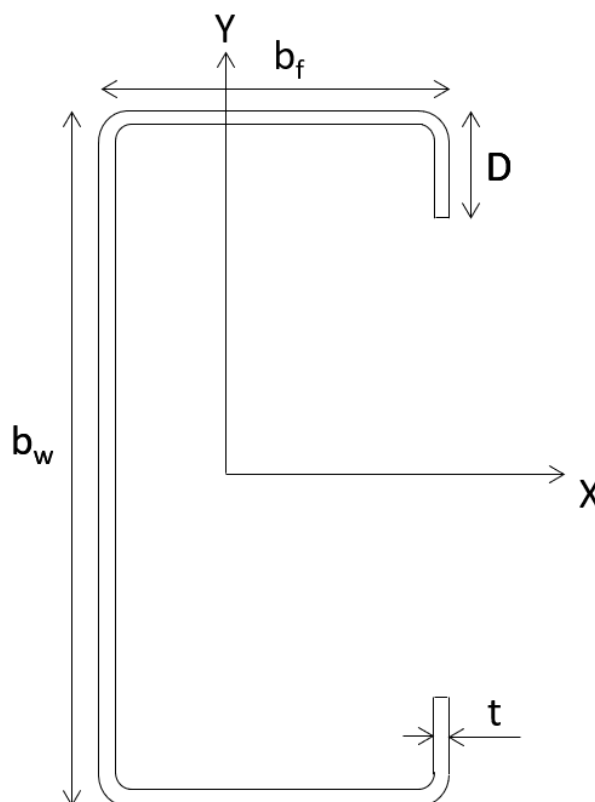
- Método da Largura Efetiva (MLE): Determina as propriedades geométricas efetivas a partir do cálculo da largura efetiva dos elementos comprimidos, considerando a flambagem local.
- Método da Seção Efetiva (MSE): Obtém as propriedades efetivas diretamente por meio de equações fundamentadas no conceito de resistência direta.
- Método da Resistência Direta (MRD): Determina os modos de flambagem e os esforços críticos por meio de uma análise de estabilidade elástica, utilizando as propriedades brutas das seções. Por esse motivo, o MRD é frequentemente aplicado com o auxílio de programas computacionais específicos, como o CUFSM (LI; SCHAFER, 2010).

Tanto para o MLE quanto para o MSE, as forças e os momentos críticos de flambagem distorcional devem ser considerados; entretanto, a revisão de 2010 da norma não apresenta uma metodologia direta para o cálculo desses esforços resistentes, recomendando sua avaliação por meio de análise de estabilidade elástica. Vale destacar que a versão anterior da norma (ABNT NBR 14762:2001) apresentava, em seu Anexo D, um procedimento iterativo para essa finalidade.

Adicionalmente, a norma NBR 6355:2012 (ABNT, 2012) trata dos aspectos das seções transversais de perfis formados a frio, definindo parâmetros como dimensões, razão altura/espessura dos elementos e tolerâncias dimensionais. A nomenclatura dos perfis U enrijecidos é padronizada no formato: $U_e b_w \times b_f \times D \times t$, em que os parâmetros estão apresentados na Figura 3. Assim, como exemplo, $U_e 50 \times 25 \times 10 \times 2,00$ representa um perfil

enrijecido de 50 mm de altura, largura de mesa de 25 mm, altura do enrijecedor de 10 mm e espessura de 2,00 mm.

Figura 3 – Dimensões principais do perfil U enrijecido



Fonte: Elaboração Própria

3.4 Método da Resistência Direta

De acordo com *American Iron & Steel Institute* (2006), em resposta às limitações dos métodos tradicionais de dimensionamento de perfis de aço formados a frio, especialmente para geometrias mais complexas, o Método da Resistência Direta (MRD) foi desenvolvido como uma abordagem mais direta e prática. Ao dispensar procedimentos iterativos e o cálculo das seções efetivas, o MRD se apresenta como uma solução ágil e objetiva em comparação às abordagens normativas convencionais. Essa metodologia facilita significativamente a avaliação de seções transversais complexas, sendo particularmente útil em estudos de otimização de perfis.

Ainda segundo os autores, não é determinado um método específico para a realização da análise de estabilidade elástica, isso é, para a obtenção das forças e momentos fletores críticos de flambagem. Dentre os métodos disponíveis destacam-se métodos analíticos (soluções de forma fechada), Método dos Elementos Finitos (FEM), Método das Faixas Finitas (FSM) Teoria Generalizada de Viga (GBT). Essas forças e momentos de flambagem obtidas por algum desses métodos, são, então, utilizadas para o cálculo dos esforços resistentes por meio das equações do método da resistência direta, calibradas por meio de análises experimentais.

Nesse contexto, diferentes métodos numéricos complementam a avaliação dos esforços críticos. Conforme apontado por Li (2016), o Método dos Elementos Finitos (FEM) utiliza elementos de casca (*shell elements*) e é bastante versátil para abordar geometrias complexas e condições de contorno arbitrárias. Contudo, a identificação dos modos críticos pelo FEM tende a ser trabalhosa e muitas vezes requer inspeção visual, o que o torna um procedimento subjetivo em determinadas situações. Em contraste, soluções manuais, ou *Closed-Form Solutions*, fornecem fórmulas analíticas para a flambagem local, distorcional e global, oferecendo verificações conservadoras ou apoio à identificação dos modos em análises numéricas.

Entre os métodos semi-analíticos, destacam-se o Método da Faixa Finita (FSM) e sua extensão, o Método da Faixa Finita Restrita (cFSM). O FSM é uma técnica que modela o deslocamento longitudinal da seção por meio de funções trigonométricas e utiliza funções de forma de elementos finitos de viga na direção transversal. Essa abordagem gera uma “curva de assinatura” que relaciona a força ou o momento crítico de flambagem com o meio comprimento de onda, onde os mínimos dessa curva indicam os diferentes modos de flambagem (local, distorcional e global).

Entretanto, em seções complexas, esses mínimos podem se apresentar de forma indistinta. Para superar essa limitação, o cFSM foi desenvolvido. Derivado do FSM, o cFSM permite separar e identificar os modos de flambagem – categorizando-os em global, distorcional, local e, adicionalmente, em cisalhamento/transversal. Essa capacidade de decomposição modal facilita a quantificação e a correta identificação do meio comprimento de onda crítico para cada modo,

o que, em muitos casos, é realizado em conjunto com uma análise FSM convencional para se obter os valores críticos exatos.

Uma distinção importante entre os dois métodos diz respeito à modelagem geométrica das seções transversais. Enquanto o FSM tradicional é aplicado a modelos que incluem cantos arredondados, representando as seções reais dos perfis formados a frio, o cFSM requer modelos com cantos retos. Essa diferença se dá porque o cFSM baseia sua decomposição modal em suposições mecânicas que consideram deformações puras, e a presença de cantos arredondados introduz efeitos geométricos que podem dificultar a separação exata dos modos de flambagem.

Esta simplificação de modelo, além de necessária para o cFSM, é respaldada por diretrizes de projeto para fins práticos. Tanto o Eurocode 3 (CEN, 2005) quanto Schafer (2006) indicam que os cantos arredondados podem ser desconsiderados em modelos de linha de centro quando o raio de dobra não é grande em relação à espessura do material (ex.: $r < 10t$). Schafer (2006) especifica que, "a menos que o raio do canto seja grande (por exemplo, $r > 10t$), o uso de modelos de linha de centro que ignoram o canto é adequado".

Portanto, para garantir uma identificação precisa dos modos, o cFSM é geralmente aplicado em modelos simplificados sem os raios de dobra. Esta abordagem não apenas atende aos requisitos teóricos do método, mas também traz uma vantagem computacional significativa, uma vez que a modelagem de cantos arredondados exigiria uma malha de elementos finitos mais refinada, aumentando consideravelmente o custo computacional da ferramenta desenvolvida.

Além disso, é importante destacar que o MRD foi formulado com base nas equações do FSM convencional, sendo calibrado para os mínimos obtidos na curva de assinatura desse método. Por esse motivo, o uso isolado do cFSM no MRD não é recomendado, pois suas soluções não seguem diretamente a parametrização adotada nas equações normativas. Uma solução para integrar o cFSM ao MRD é adotar a metodologia denominada FSM@cFSM-Lcr.

Nesta abordagem, a análise tem início com o FSM tradicional (aplicado a um modelo com cantos arredondados) para a obtenção da curva de assinatura. Se essa curva apresentar mínimos bem definidos para cada modo de flambagem, a análise prossegue normalmente para o cálculo das

resistências. Caso contrário, ou seja, se os mínimos não forem únicos ou não estiverem claramente identificados, recorre-se ao cFSM (aplicado a um modelo de cantos retos) como ferramenta auxiliar. O cFSM é utilizado então para identificar o comprimento de meia onda crítico (L_{cr}) associado a cada modo de flambagem puro. Após essa identificação, o comprimento de meia onda dos mínimos únicos determinados no cFSM é utilizado no FSM para encontrar os valores críticos de flambagem (P_{cr} ou M_{cr}), garantindo a compatibilidade com as equações do MRD.

Segundo *American Iron & Steel Institute* (2006) o software CUFSM (*Constrained and Unconstrained Finite Strip Method*) é uma ferramenta amplamente utilizada que implementa tanto o FSM quanto o cFSM para a análise da flambagem elástica em perfis formados a frio. Desenvolvido com apoio do *American Iron & Steel Institute* (AISI) e disponibilizado gratuitamente, o CUFSM permite a geração de gráficos (como curvas de assinatura e modos de flambagem) e a determinação dos valores críticos de flambagem em função do comprimento efetivo do elemento. Essa funcionalidade é particularmente relevante para a aplicação prática do MRD, uma vez que os dados obtidos com o CUFSM servem de base para a determinação dos esforços resistentes.

4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia usada no programa computacional para a avaliação de um perfil U enrijecido submetido à flexão composta pelo método da resistência direta, segundo a NBR 14762 (ABNT, 2010).

O programa recebe como parâmetros de entrada os dados geométricos da seção, do material, as forças e momentos fletores solicitantes de cálculo, os comprimentos efetivos de flambagem e o fator de modificação do momento fletor não uniforme. A força axial de tração e de flambagem global, bem como os momentos fletores associados à flambagem global, são determinados conforme as equações apresentadas pela norma. As forças axiais e momentos fletores críticos referentes à flambagem local e distorcional são calculados pelo método cFSM por meio do CUFSM.

Com as forças e momentos obtidos, os esforços resistentes de cálculo são determinados com o MRD, conforme o Anexo C da norma NBR 14762 (ABNT, 2010), e a flexão composta da barra é avaliada conforme o item 9.9 da mesma norma. É importante destacar que o perfil não será verificado quanto ao esforço cortante.

Um exemplo de preenchimento da ferramenta computacional desenvolvida neste trabalho é apresentado no APÊNDICE B.

4.1 Entrada de Dados

Para este trabalho, considera-se como dados de entrada: dados do material, dados da seção a ser avaliada, os comprimentos efetivos de flambagem e os esforços solicitantes de cálculo. Cada item será apresentado nas seções a seguir.

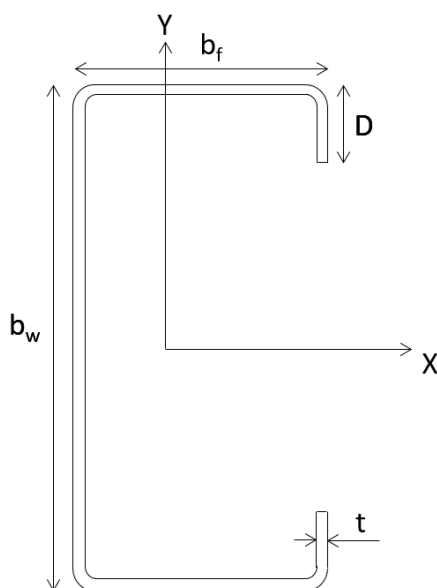
4.1.1 Definição do material

O material é considerado como isotrópico, e recebe como entrada direta do usuário o valor do limite de escoamento (f_y). O módulo de elasticidade longitudinal (E), coeficiente de *poison* ν e módulo de elasticidade transversal (G) são considerados constantes conforme apresentado na NBR 14762 (ABNT, 2010).

4.1.2 Definição da seção

Os parâmetros de entrada da seção são: a largura da mesa (b_f), altura da alma (b_w), altura do enrijecedor (D) e espessura (t). Os parâmetros e os eixos de referência são apresentados na Figura 4. Para esse trabalho, a dimensão D deve ser diferente de zero.

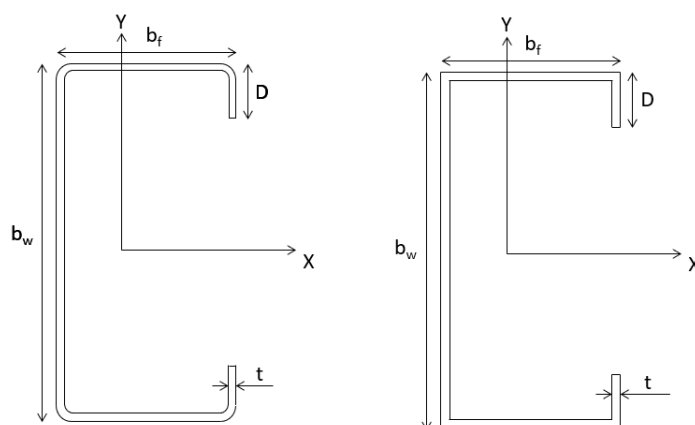
Figura 4 – Parâmetros de entrada da seção e eixos de referência



Fonte: Elaboração própria

As propriedades geométricas são calculadas, então, em módulo específico do CUFSM. Como visto no item 3.4, para o método cFSM, considera-se o perfil sem os raios de dobra. Para o cálculo das propriedades geométricas utilizadas para obter os resistentes de flambagem global e de tração, consideraram-se também os cantos retos. As duas configurações são apresentadas na Figura 5.

Figura 5 – Comparação entre seções transversais: (a) seção considerando os raios (à esquerda); (b) seção com cantos retos (à direita)



Fonte: Elaboração Própria

As principais propriedades geométricas da seção, calculadas a partir do módulo específico do CUFSM, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros geométricos calculados pelo módulo do CUFSM

Parâmetros	Descrição
A	Area bruta da seção transversal
x_{cg}	Coordenada X do centroide
y_{cg}	Coordenada Y do centroide
I_{xx}	Momento de inércia em relação ao eixo X
I_{yy}	Momento de inércia em relação ao eixo Y
J	Constante de torção

Fonte: Elaboração Própria

4.1.3 Definição dos esforços solicitantes

As forças e momentos solicitantes de cálculo também são parâmetros de entrada no contexto deste trabalho e estão apresentados na Tabela 2. Ressalta-se, mais uma vez, que não faz parte do escopo do trabalho a avaliação quanto ao esforço cortante.

Tabela 2 – Esforços solicitantes de cálculo

Parâmetros	Descrição	Observação
N_{Sd}	Força axial solicitante de cálculo	Valor positivo: tração; Valor negativo: compressão
$M_{x,Sd}$	Momento fletor solicitante de cálculo, em relação a X	-
$M_{y,Sd}$	Momento fletor solicitante de cálculo, em relação a Y	Valor positivo: comprime a alma; Negativo: Comprime o enrijecedor;

Fonte: Elaboração Própria

4.1.4 Comprimentos efetivos de flambagem e fator de modificação para momento fletor não uniforme

Os comprimentos efetivos de flambagem e o fator de modificação para momento fletor não uniforme são parâmetros importantes para a análise de flambagem global dos perfis. Estes parâmetros de entrada são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Comprimentos efetivos de flambagem

Parâmetros	Descrição
$k_x L_x$	Comprimento efetivo flambagem global por flexão em relação ao eixo X
$k_y L_y$	Comprimento efetivo de flambagem global por flexão em relação ao eixo Y
$k_z L_z$	Comprimento efetivo de flambagem global por torção
Cb	Fator de modificação para momento fletor não uniforme

Fonte: Elaboração Própria

4.2 Análise de Flambagem pelo cFSM

Nesta seção, a análise dos modos de flambagem dos perfis é realizada utilizando o Método das Faixas Finitas restritas (cFSM) por meio do CUFSM, o qual identifica os mínimos esforços críticos associados à flambagem local e distorcional. Para cada avaliação, considerou-se o primeiro modo de flambagem, adotando-se a condição de apoio simples (apoiada-apoiada). Os comprimentos de meia onda em que a análise será feita foram definidos variando de forma logarítmica de 1 até 10.000, divididos em 100 pontos.

As forças de compressão e os momentos fletores utilizados para a análise de estabilidade elástica foram as forças axiais relacionadas ao escoamento ou momentos fletores relacionados ao início do escoamento. Dessa forma, as curvas de assinatura obtidas (como a da Figura 8 ou as apresentadas no APÊNDICE A) apresentam, como fator de carga, a razão entre a força crítica de flambagem (ou momento fletor crítico de flambagem) e a força axial de escoamento (ou momento fletor relativo ao início do escoamento).

4.2.1 Discretização dos elementos

Neste trabalho, estudou-se a convergência das forças de compressão e dos momentos fletores de flambagem em função de diferentes números de faixas por elemento que compõe a seção transversal. Para avaliar a convergência considerando diferentes valores de esbelteza dos elementos que compõem o perfil, foram analisadas seis seções transversais representativas, apresentadas na Tabela 4. Esses perfis foram selecionados de acordo com as dimensões de maior e menor altura especificadas na norma NBR 6355:2012 (ABNT, 2012), combinadas com suas respectivas maiores e menores espessuras.

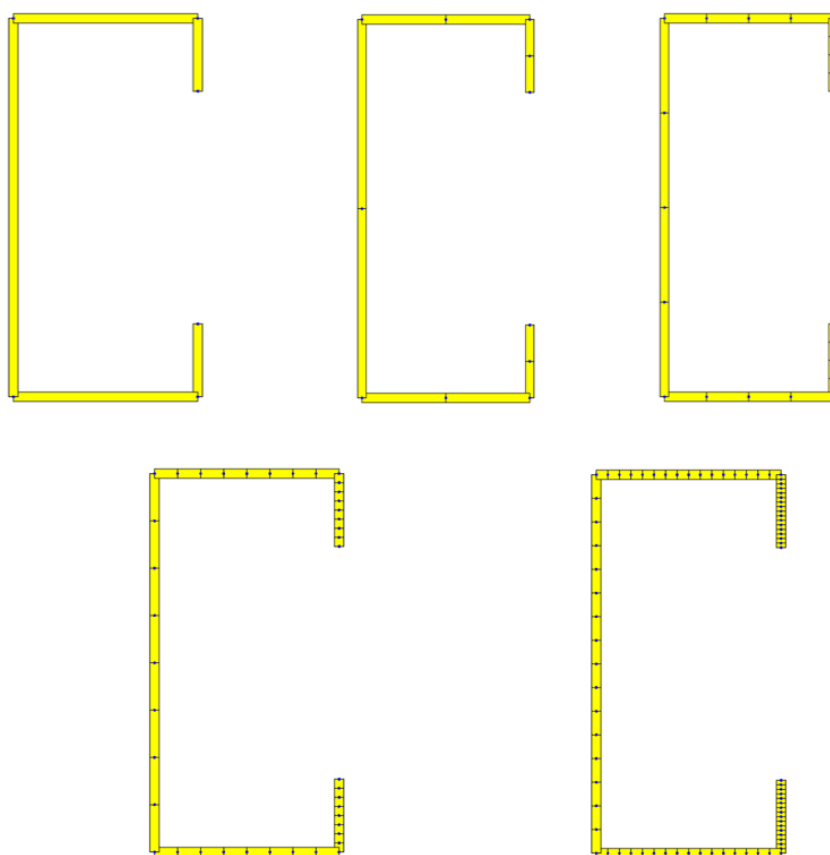
Tabela 4 – Perfis avaliados

Perfis
50 x 25 x 10 x 1,20
50 x 25 x 10 x 3,00
300 x 85 x 25 x 2,00
300 x 85 x 25 x 6,30
300 x 100 x 25 x 2,65
300 x 100 x 25 x 4,75

Fonte: Elaboração Própria

Para analisar a convergência, foram consideradas discretizações com 1, 2, 4, 8 e 16 faixas por elemento. As discretizações para o perfil Ue 50 x 25 x 10 x 1,2 são apresentadas na Figura 6. Os resultados obtidos permitiram verificar a influência do número de faixas na convergência das forças axiais de flambagem e dos momentos fletores correspondentes. A Tabela 5 apresenta os valores normalizados das forças axiais e momentos fletores de flambagem para os diferentes números de faixas por elemento. Para simplificar, são apresentados apenas os resultados mais discrepantes entre os perfis avaliados.

Figura 6 – Discretização da seção transversal com diferentes números de elementos: (a) 1 elemento; (b) 2 elementos; (c) 4 elementos; (d) 8 elementos; (e) 16 elementos.



Fonte: Elaboração Própria

Tabela 5 – Convergência de forças e momentos fletores de flambagem.

Número de faixas por elementos	P_1	P_{dist}	M_1	M_{dist}
1	1,305	1,040	1,120	1,028
2	1,012	1,010	1,007	1,008
4	1,000	1,005	1,000	1,002
8	1,00	1,000	1,000	1,000
16	1,00	1,000	1,000	1,000

Fonte: Elaboração Própria

Em que: P_1 é força axial de flambagem local normalizada, P_{dist} é força axial de flambagem distorcional normalizada, M_1 é momento fletor de flambagem local, normalizado e M_{dist} é o momento fletor de flambagem distorcional, normalizada.

Observa-se que, a partir de 4 faixas por elemento, os valores das forças axiais e dos momentos fletores de flambagem se estabilizam, indicando convergência nos resultados. Valores acima de 4 faixas não resultam em alterações significativas, conforme evidenciado pela aproximação dos valores normalizados a 1,00. Dessa forma, adotou-se a discretização com 4 faixas por elemento.

4.3 Cálculo dos Esforços Resistentes – NBR 14762 (ABNT, 2010)

Como abordado anteriormente, o trabalho tem como foco a avaliação de perfis U enrijecidos submetidas a flexão composta. A avaliação das barras será realizada seguindo o método da resistência direta, de acordo com a NBR 14762 (ABNT, 2010).

Para a obtenção da força axial de compressão e momentos fletores associadas à flambagem global elástica serão utilizados os cálculos analíticos apresentados nos itens 9.7.2 e 9.8.2.2 (N_e e M_e). Já para os estados limites de flambagem elástica local e distorcional, os momentos fletores e força axial de compressão são obtidos por meio do CUFSM pelo método cFSM.

4.3.1 Força axial

As barras submetidas à força axial estarão sujeitas a diferentes estados limites dependendo da natureza da força. Para forças axiais de tração, a norma NBR 14762:2010 (ABNT, 2010) apresenta três estados limites últimos, sendo eles: escoamento da seção bruta, ruptura da seção líquida fora de regiões de ligação e ruptura da seção líquida nas regiões de ligação. Neste trabalho será avaliada apenas o escoamento da seção bruta.

Já para a força axial de compressão, a barra estará sujeita a flambagem elástica global, distorcional e local.

4.3.1.1 Escoamento da seção bruta

A força de tração resistente de cálculo para escoamento da seção bruta é dada pela Equação (1), em que A é a área bruta e f_y é a tensão de escoamento do material e γ é 1,1.

$$N_{t,RD} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma} \quad (1)$$

4.3.1.2 Flambagem global elástica

Os perfis monossimétricos são sujeitos a flambagem por flexão em torno do eixo perpendicular ao de simetria (eixo Y) e flambagem por flexo-torção, cujos valores são calculados conforme Equações (2) e (3), respectivamente.

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{yy}}{(k_y \cdot L_y)^2} \quad (2)$$

$$N_{exz} = \frac{(N_{ex} + N_{ez})}{2 \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{ex}N_{ez} \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})}} \right] \quad (3)$$

Em que N_{ex} e N_{ez} são as forças axiais de flambagem por flexão em torno do eixo de simetria e de flambagem por torção, calculados pelas Equações (4) e (5) respectivamente.

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{xx}}{(k_x \cdot L_x)^2} \quad (4)$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(k_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right) \quad (5)$$

Em que r_0 é o raio de giração polar, em relação ao centro de torção, dado pela Equação (6).

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + (x_0)^2 + (y_0)^2} \quad (6)$$

Em que r_x e r_y são os raios de giração da seção em relação aos eixos X e Y, e x_0 e y_0 são as distâncias do centroide ao centro de torção, na direção dos eixos X e Y.

Com os valores das forças axiais de flambagem global elástica em torno do eixo perpendicular ao de simetria (N_{ey}) e por flexo-torção (N_{exz}) calculados, considera-se nos cálculos a menor força axial de flambagem global elástica, como indicado na Equação (7):

$$N_e = \min(N_{ey}, N_{exz}) \quad (7)$$

O valor característico da força axial de compressão resistente, associado a flambagem global ($N_{c,Re}$) é dado pela Equação (8).

$$N_{c,Re} = \begin{cases} Af_y(0,658\lambda_0^2) & \text{se } \lambda_0 \leq 1,5 \\ Af_y(0,877/\lambda_0^2) & \text{se } \lambda_0 > 1,5 \end{cases} \quad (8)$$

Em que λ_0 é o índice de esbeltez reduzido associado a flambagem global, calculado conforme Equação (9).

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} \quad (9)$$

4.3.1.3 Flambagem elástica distorcional

Com a força axial de flambagem distorcional elástica N_{dist} obtida por meio do cFSM como apresentado no Item 3.2, é calculado o valor característico da força axial de compressão resistente, associado a flambagem distorcional, pela Equação (10).

$$N_{c,Rdist} = \begin{cases} Af_y & \text{se } \lambda_{dist} \leq 0,561 \\ \left(1 - \frac{0,25}{\lambda_{dist}^{1,2}}\right) \frac{Af_y}{\lambda_{dist}^{1,2}} & \text{se } \lambda_{dist} > 0,561 \end{cases} \quad (10)$$

Em que λ_{dist} é o índice de esbeltez reduzido associado a flambagem local, calculado como indicado na Equação (11).

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{dist}}} \quad (11)$$

4.3.1.4 Flambagem elástica local

A força axial resistente associada a flambagem local elástica é dada de forma análoga ao cálculo da força resistente associada à flambagem distorcional.

Com a força axial de flambagem local elástica N_l obtida por meio do cFSM como apresentado no Item 4.2, calcula-se então a o valor característico da força axial de compressão resistente, associado a flambagem local, pela Equação (12).

$$N_{c,Rl} = \begin{cases} N_{c,Re} & \text{se } \lambda_l \leq 0,776 \\ \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_l^{0,8}}\right) \frac{N_{c,Re}}{\lambda_l^{0,8}} & \text{se } \lambda_l > 0,776 \end{cases} \quad (12)$$

Em que λ_l é o índice de esbeltez reduzido associado a flambagem local, dado pela Equação (13).

$$\lambda_l = \sqrt{\frac{N_{c,Re}}{N_l}} \quad (13)$$

4.3.1.5 Força axial resistente de cálculo

Como será avaliado apenas um estado limite último associado a tração, a força de tração resistente de cálculo é dada pela Equação (1) e refere-se ao estado limite de escoamento da seção bruta.

Já para compressão, a força de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ é calculada como apresentado na Equação (14).

$$N_{c,Rd} = \frac{N_{c,Rk}}{\lambda} \quad (14)$$

Em que $N_{c,Rk}$ é o valor característico da força axial de compressão resistente, tomado como apresentado na Equação (15) e λ é igual a 1,20.

$$N_{c,Rk} = \min(N_{c,Re}, N_{c,Rdist}, N_{c,Rl}) \quad (15)$$

4.3.2 Momento fletor em torno do eixo de simetria

Para as barras fletidas em relação ao eixo de simetria, são avaliados os estados limites últimos de flambagem global elástica (lateral com torção) e flambagem elástica local e distorcional.

Para isso, calcula-se o valor do momento fletor relativo a cada estado limite último conforme metodologia adequada (para flambagem global utilizam-se as equações apresentadas no Item

9.7.2 da norma, e para flambagem local e distorcional os valores são obtidos por meio do método das faixas finitas). Os momentos fletores característicos resistentes são calculados, então, para cada estado limite, com as equações apresentadas no Anexo C da norma. Por fim, o momento fletor resistente de cálculo é tomado como sendo o menor dos valores característicos divididos por γ_1 igual a 1,1.

O cálculo do momento resistente para cada estado limite são apresentados nos itens a seguir.

4.3.2.1 Flambagem global

O momento fletor de flambagem lateral com torção em regime elástico, M_e , para perfil monossimétrico fletido em torno do eixo de simetria, é dado de acordo com a Equação (16). Ressalta-se que as formulações são para o carregamento aplicado na posição do centro de torção, podendo ser aplicado também para casos de carregamento estabilizante (ABNT, 2010).

$$M_e = C_b \cdot r_0 \cdot (N_{ey} \cdot N_{ez})^{0.5} \quad (16)$$

Em que N_{ey} e N_{ez} já foram definidos nas Equações (2) e (3), respectivamente.

O fator de modificação para momento fletor não uniforme, C_b , deve ser calculado antes da execução do programa para cada trecho contido lateralmente. Ele pode ser obtido pela Equação (17) ou, a favor da segurança, assumido como 1,0. A exceção são os trechos em balanço sem contenção lateral, em que o C_b deve ser 1,0.

$$C_b = \frac{12.5 \cdot M_{max}}{2.5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \quad (17)$$

Nesta equação, M_{max} é o máximo momento fletor solicitante no trecho avaliado, M_A é o valor no primeiro quarto do trecho, M_B no centro e M_C no terceiro quarto. Todos os momentos devem ser considerados em módulo.

Em que r_0 é o raio de giração polar, em relação ao centro de torção, e é dado pela Equação (6).

Com o momento fletor de flambagem global elástica obtido, calcula-se então o valor característico do momento fletor resistente, associado a flambagem global M_{Re} de acordo com o item C.4 da norma, conforme Equação (18):

$$M_{Re} = \begin{cases} W \cdot f_y & \text{se } \lambda_0 \leq 0,6 \\ 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_0^2) \cdot W \cdot f_y & \text{se } 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \\ \frac{W \cdot f_y}{\lambda_0^2} & \text{se } \lambda_0 \geq 1,336 \end{cases} \quad (18)$$

Em que, o índice de esbeltez reduzido, λ_0 , é dado na Equação (19):

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W \cdot f_y}{M_e}} \quad (19)$$

4.3.2.2 Flambagem local

Com o momento fletor de flambagem local elástica obtido por meio do cFSM, como apresentado no item 4.2, calcula-se então o valor característico do momento fletor resistente associado à flambagem local M_{Rl} , conforme Equação (20).

$$M_{Rl} = \begin{cases} M_{Re} & \text{se } \lambda_l \leq 0,776 \\ \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_l^{0,8}}\right) \frac{M_{Re}}{\lambda_l^{0,8}} & \text{se } \lambda_l > 0,776 \end{cases} \quad (20)$$

O índice de esbeltez reduzido associado à flambagem local λ_l é dado pela Equação (21).

$$\lambda_l = \sqrt{\frac{M_{Re}}{M_l}} \quad (21)$$

4.3.2.3 Flambagem distorcional

De forma análoga, o momento fletor característico associado à flambagem distorcional é dado pela Equação (22).

$$M_{Rdist} = \begin{cases} W \cdot f_y & \text{se } \lambda_{dist} \leq 0,673 \\ \left(1 - \frac{0,25}{\lambda_{dist}}\right) \frac{W \cdot f_y}{\lambda_{dist}} & \text{se } \lambda_{dist} > 0,673 \end{cases} \quad (22)$$

O índice de esbeltez reduzido associado a flambagem distorcional é dado pela Equação (23).

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{W \cdot f_y}{M_{dist}}} \quad (23)$$

4.3.2.4 Momento fletor resistente de cálculo

O valor característico do momento fletor resistente é obtido a partir da Equação (24).

$$M_{Rk} = \min(M_{Re}, M_{Rl}, M_{Rdist}) \quad (24)$$

O momento fletor resistente de cálculo é obtido, então, pela Equação (25).

$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{\lambda} = \frac{M_{Rk}}{1,1} \quad (25)$$

4.3.3 Momento fletor perpendicular ao eixo de simetria

Para as barras fletidas em relação ao eixo perpendicular ao de simetria, são avaliados os estados limites últimos de flambagem global elástica (lateral com torção) e flambagem elástica local.

O cálculo do momento fletor de flambagem global elástica (lateral com torção) para este caso difere-se do apresentado no item 4.3.2.1 e o cálculo é apresentado no item 4.3.3.1. Já para o momento fletor de flambagem local, a metodologia é a mesma da apresentada para o caso de flexão em torno do eixo de simetria (item 4.3.2.2) portanto as equações serão suprimidas.

Os momentos fletores característicos resistentes são calculados para cada estado limite com as equações apresentadas no Anexo C da norma. O momento fletor resistente de cálculo é tomado como sendo o menor dos valores característicos divididos por γ_1 , em que γ_1 é igual a 1,10 de forma análoga ao apresentado no item 4.3.2.4, mas sem o termo relacionado a flambagem distorcional.

O cálculo do momento fletor de flambagem global elástica é apresentado no item a seguir:

4.3.3.1 Flambagem global

O momento fletor de flambagem global elástica para as seções monossimétricas fletidas em torno do eixo perpendicular ao de simetria é calculado segundo o Anexo E da norma, segundo a Equação (26).

$$M_e = \frac{C_s N_{ex}}{C_m} \left[j + C_s \sqrt{j^2 + r_0^2 \left(\frac{N_{ez}}{N_{ex}} \right)} \right] \quad (26)$$

O coeficiente C_s tem valor igual a +1 caso o momento fletor causar compressão na alma, e valor igual a -1 no caso contrário.

C_m é definido na Equação (27), como:

$$C_m = 0,6 - 0,4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (27)$$

Em que M_1 é o menor e M_2 o maior dos momentos fletores solicitantes de cálculo nas extremidades do trecho lateralmente travado. No entanto, para simplificação e visando a segurança, o valor foi considerado fixo como 1,00.

O parâmetro j , para o perfil U enrijecido, pode ser calculado conforme Equação (28):

$$j = \frac{1}{2I_y} (\beta_w + \beta_f + \beta_l) + x_0 \quad (28)$$

β_w , β_f e β_l são calculados como se segue nas Equações (29), (30) e (31):

$$\beta_w = \frac{tx_m a_m^3}{12} + tx_m^3 a_m \quad (29)$$

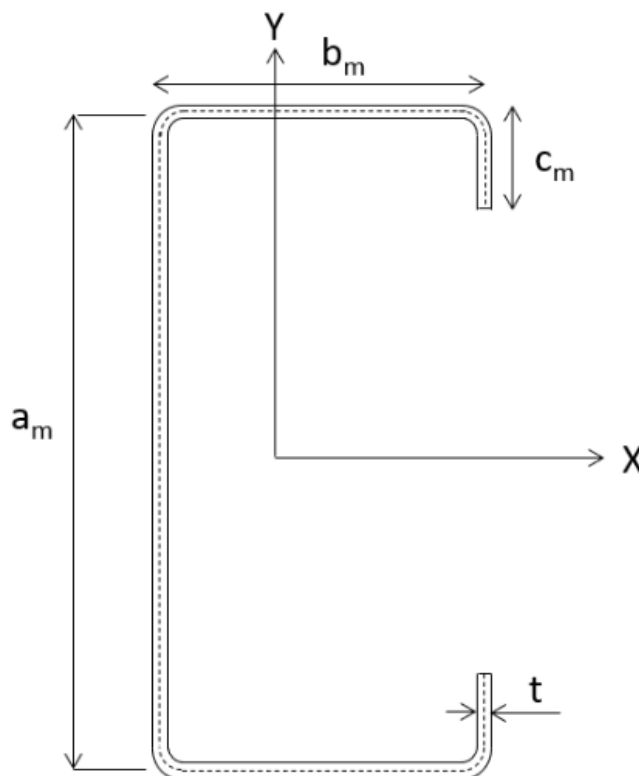
$$\beta_f = \frac{t}{2} [(b_m - x_m)^4 - x_m^4] + \frac{ta_m^2}{4} [(b_m - x_m)^2 - x_m^2] \quad (30)$$

$$\beta_l = 2c_m t (b_m - x_m)^3 + \frac{2}{3} t (b_m - x_m) \left[\left(\frac{a_m}{2} \right)^3 - \left(\frac{a_m}{2} \right)^3 - \left(\frac{a_m}{2} - c_m \right)^3 \right] \quad (31)$$

Os parâmetros a_m , b_m e c_m são larguras em relação à linha média do perfil, conforme ilustrado na Figura 7. O parâmetro t é a espessura da seção. Já o parâmetro x_m é a distância do centroide em relação à linha média da alma e é calculado como na Equação (32).

$$x_m = \frac{b_m(b_m + 2c_m)}{a_m + 2b_m + 2c_m} \quad (32)$$

Figura 7 – Parâmetros auxiliares



Fonte: Elaboração Própria

Por fim, o parâmetro x_0 é calculado como na Equação (33).

$$x_0 = b_m \left[\frac{3a_m^2 b_m + c_m(6a_m^2 - 8c_m^2)}{a_m^3 + 6a_m^2 b_m + c_m(8c_m^2 - 12a_m c_m + 6a_m^2)} \right] + x_m \quad (33)$$

4.4 Avaliação da Barra - NBR 14762 (ABNT, 2010)

Com os esforços solicitantes de cálculo informados (ver item 4.1.3) e os esforços resistentes de cálculo previamente obtidos (ver item 4.3), a barra então é avaliada de acordo com o item 9.9 da norma. Ressalta-se, novamente, que não faz parte do escopo do trabalho a avaliação da barra quanto aos esforços cortantes.

A barra é avaliada conforme a Equação (34).

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0 \quad (34)$$

Em que:

- N_{Sd} é a força axial solicitante de cálculo, fornecida como dado de entrada conforme apresentado no Item 4.1.3;
- N_{Rd} é a força axial resistente de cálculo, obtida como apresentado no Item 4.3.1.5;
- $M_{x,Sd}$ e $M_{y,Sd}$ são os momentos fletores solicitantes de cálculo, em torno do eixo X e Y, respectivamente, considerados como parâmetros de entrada conforme Item 4.1.3;
- $M_{x,Rd}$ e $M_{y,Rd}$ são os momentos fletores resistentes de cálculo, em torno do eixo X e Y, respectivamente, o primeiro calculado conforme Item 4.3.2.4 e o segundo conforme Item 4.3.3.

4.5 Validação dos Resultados

Nesta seção, é descrita a metodologia utilizada para a validação do presente trabalho. Para essa finalidade, os valores obtidos foram comparados com dados disponíveis na literatura. Os aspectos avaliados incluem: as propriedades geométricas obtidas, a flambagem global para um comprimento específico, e os esforços críticos associados à flambagem local e distorcional. Por fim, um exemplo prático é resolvido e confrontado com os resultados disponíveis na bibliografia.

4.5.1 Validação das propriedades geométricas e flambagem global

Serão avaliadas seis seções, conforme listadas na Tabela 4. Para cada uma, os parâmetros geométricos — como área, momentos de inércia, módulos elásticos e constante de torção — serão calculados considerando a ausência dos raios de dobra (ou seja, seções com cantos retos). Esses valores serão comparados com os parâmetros normatizados da NBR 6355 (ABNT, 2012), que considera seções com cantos arredondados. Essa comparação será efetuada por meio do cálculo das razões entre os valores obtidos pelo método computacional e os indicados na

bibliografia. Tais comparações permitirão verificar se a simplificação adotada (desconsideração dos raios de dobras) produz resultados coerentes com a bibliografia.

As mesmas seções também serão avaliadas quanto à flambagem global. Com base nas propriedades geométricas obtidas, serão aplicadas as equações do item 4.3 para calcular, para um comprimento efetivo de flambagem de 1,00 metro, as forças e os momentos fletores de flambagem global. De forma análoga à etapa anterior, serão calculadas as razões entre os resultados obtidos pelo programa computacional e aqueles baseados nas propriedades normalizadas, visando facilitar a comparação.

4.5.2 Validação da flambagem local e distorcional

Para a flambagem local e distorcional, os esforços (forças e momentos) de flambagem obtidos pelo programa, para as mesmas seções avaliadas anteriormente, serão confrontados com os resultados apresentados por Pierin, Silva, Rovere, (2013), os quais também foram obtidos por meio de análise por faixas finitas. As condições de flambagem local e distorcional serão avaliadas e comparadas, e a razão entre os valores calculados e os valores da bibliografia será determinada para facilitar a análise comparativa, como apresentado na Tabela 15.

4.5.3 Resolução de exemplo prático

Como etapa final da validação, pretende-se resolver um exemplo prático extraído do manual Estruturas compostas por perfis formados a frio (Silva, Pierin e Silva, 2014), especificamente o Exemplo 4.12 do Anexo D. Nele, o elemento S13, uma longarina de fechamento com a seção Ue 300 x 85 x 25 x 3,00, é avaliada. Os dados gerais necessários para a resolução estarão organizados na Tabela 16, e os resultados obtidos pelo programa computacional desenvolvido serão comparados com os dados fornecidos na literatura.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da execução do trabalho descrito no Capítulo 4. No item 5.1, são apresentados os resultados do cálculo das propriedades

geométricas. Já os momentos fletores e forças axiais associadas à flambagem global são apresentados no item 5.2, enquanto os resultados de momentos fletores e forças axiais associadas à flambagem local e distorcional serão expostos no item 5.3. Em seguida, no item 5.4, é apresentada a resolução de um exemplo prático com a aplicação dos métodos desenvolvidos. Por fim, os resultados obtidos são resumidos e discutidos de forma global.

5.1 Propriedades Geométricas

Como abordado no item 3.1.2, as propriedades geométricas dos perfis foram avaliadas considerando as suas seções transversais sem os raios de dobra. Essa metodologia foi adotada para manter a coerência com o método de cálculo por faixas finitas (cFSM) utilizado ao longo do trabalho. Visando identificar a influência dessa simplificação, calculou-se as principais propriedades geométricas de perfis listados na Tabela 4. Esses resultados foram comparados com os valores normalizados, apresentados na NBR 6355 (ABNT, 2012), os quais consideram os raios de dobra da seção. Os perfis são novamente listados na Tabela 6.

Tabela 6 – Perfis avaliados.

Perfis
50 x 25 x 10 x 1,20
50 x 25 x 10 x 3,00
300 x 85 x 25 x 2,00
300 x 85 x 25 x 6,30
300 x 100 x 25 x 2,65
300 x 100 x 25 x 4,75

Fonte: Elaboração Própria

As principais propriedades geométricas – área (A), momentos de inércia (I_x e I_y), módulos elásticos (W_x e W_y) e constante de torção (J) – estão apresentadas na Tabela 7, na qual são exibidos os valores referentes às seções com cantos arredondados (obtidos a partir da norma) e às seções com cantos retos (calculados).

Tabela 7 – Propriedades geométricas – Seções de cantos arredondados (NBR 6355:2012) e de cantos retos (calculados).

Ue	A [cm ²]	I _x [cm ⁴]	W _x [cm ³]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	J [cm ⁴]
Cantos arredondados (NBR 6355:2012)						
50 x 25 x 10 x 1,20	1,35	5,24	2,09	1,23	0,78	0,01
50 x 25 x 10 x 3,00	3,01	10,46	4,18	2,21	1,40	0,09
300 x 85 x 25 x 2,00	10,14	1339,09	89,27	93,89	14,91	0,14
300 x 85 x 25 x 6,30	30,15	3762,03	250,80	235,82	37,40	3,98
300 x 100 x 25 x 2,65	14,11	1920,58	128,04	178,97	24,57	0,33
300 x 100 x 25 x 4,75	24,64	3269,56	217,97	291,49	39,96	1,85
Cantos retos (calculados)						
50 x 25 x 10 x 1,20	1,38	5,45	2,18	1,29	0,79	0,01
50 x 25 x 10 x 3,00	3,24	11,80	4,72	2,55	1,50	0,10
300 x 85 x 25 x 2,00	10,24	1358,78	90,59	96,19	15,09	0,14
300 x 85 x 25 x 6,30	31,17	3978,23	265,22	257,10	39,23	4,12
300 x 100 x 25 x 2,65	14,29	1956,60	130,44	184,42	24,96	0,33
300 x 100 x 25 x 4,75	25,22	3391,08	226,07	308,45	41,24	1,89

Fonte: Elaboração Própria

Para facilitar a visualização dos resultados e identificar a influência da consideração dos raios de dobra, as Tabela 8 e Tabela 9 apresentam as razões entre as propriedades geométricas das seções de cantos retos e aquelas das seções arredondadas. Para essa comparação, os resultados foram separados em dois grupos: a Tabela 8 apresenta as razões para os perfis com menor espessura, enquanto a Tabela 9 mostra os valores para os perfis com maior espessura. Nessa comparação, o subíndice “r” indica as seções de cantos retos e “a” os valores normatizados para as seções arredondadas.

Tabela 8 – Razão entre as propriedades geométricas das seções de cantos retos e arredondados – menores espessuras.

Ue	A _r /A _a	I _{x,r} /I _{x,a}	W _{x,r} /W _{x,a}	I _{y,r} /I _{y,a}	W _{y,r} /W _{y,a}	J _r /J _a
50 x 25 x 10 x 1,20	1,02	1,04	1,04	1,05	1,01	1,00
300 x 85 x 25 x 2,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,01	0,98
300 x 100 x 25 x 2,65	1,01	1,02	1,02	1,03	1,02	1,01

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 9 – Razão entre as propriedades geométricas das seções de cantos retos e arredondados – maiores espessuras.

Ue	A_r/A_a	$I_{x,r}/I_{x,a}$	$W_{x,r}/W_{x,a}$	$I_{y,r}/I_{y,a}$	$W_{y,r}/W_{y,a}$	J_r/J_a
50 x 25 x 10 x 3,00	1,08	1,13	1,13	1,16	1,07	1,11
300 x 85 x 25 x 6,30	1,03	1,06	1,06	1,09	1,05	1,04
300 x 100 x 25 x 4,75	1,02	1,04	1,04	1,06	1,03	1,02

Fonte: Elaboração Própria

A análise indicou que a maior discrepância entre os valores tabelados e os calculados ocorre para perfis com menor altura e maior espessura. A desconsideração dos raios de dobra gera resultados com maiores valores de área e momento de inércia, efeito que se torna mais evidente em perfis com maiores espessuras e menores alturas.

5.2 Flambagem Global

As forças e os momentos de flambagem global foram calculados considerando um comprimento efetivo de 1 metro, tanto para seções de cantos arredondados quanto para seções de cantos retos. Em ambos os casos, foram utilizadas as equações descritas no item 4.3, diferenciando-se unicamente pelas propriedades geométricas, conforme Tabela 7. A Tabela 10 apresenta os valores de N_{ey} , N_{exz} , M_{ex} e M_{ey} para cada perfil avaliado.

Tabela 10 – Esforços e momentos de flambagem global – Seções de cantos arredondados e de cantos retos.

Ue	N_{ey} [kN]	N_{exz} [kN]	M_{ex} [kN·m]	M_{ey} [kN·m]
Cantos Arredondados				
50 x 25 x 10 x 1,20	24,28	22,06	0,76	6,49
50 x 25 x 10 x 3,00	43,62	89,52	2,07	13,02
300 x 85 x 25 x 2,00	1853,31	1922,41	250,18	8554,65
300 x 85 x 25 x 6,30	4654,9	5550,53	645,8	23929,68
300 x 100 x 25 x 2,65	3532,73	3196,34	474,18	12318,53
300 x 100 x 25 x 4,75	5753,78	5506,23	778,72	20837,91
Cantos Retos				
50 x 25 x 10 x 1,20	25,46	21,93	0,78	6,74
50 x 25 x 10 x 3,00	50,33	95,82	2,30	14,63
300 x 85 x 25 x 2,00	1898,71	1911,24	253,23	8679,12
300 x 85 x 25 x 6,30	5074,95	5449,61	674,71	25289,42
300 x 100 x 25 x 2,65	3640,3	3179,63	481,35	12545,95
300 x 100 x 25 x 4,75	6088,56	5433,83	801,17	21600,54

Fonte: Elaboração Própria

Para facilitar a comparação, as Tabela 11 e Tabela 12 apresentam as razões entre os esforços e os momentos das seções de cantos retos e os das seções de cantos arredondados. Nessas razões, o subíndice “r” indica os valores para as seções de cantos retos e “a” os valores normalizados para as seções arredondadas. A Tabela 11 refere-se aos perfis com menor espessura e a Tabela 12, apresenta os resultados para os perfis de maiores espessuras.

Tabela 11 – Razão dos esforços e momentos de flambagem global para seções de cantos retos e arredondados – menores espessuras.

Ue	$N_{ey,r}/N_{ey,a}$	$N_{exz,r}/N_{exz,a}$	$M_{ex,r}/M_{ex,a}$	$M_{ey,r}/M_{ey,a}$
50 x 25 x 10 x 1,20	1,05	0,99	1,03	1,04
300 x 85 x 25 x 2,00	1,02	0,99	1,01	1,01
300 x 100 x 25 x 2,65	1,03	0,99	1,02	1,02

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 12 – Razão dos esforços e momentos de flambagem global para seções de cantos retos e arredondados maiores espessuras.

Ue	$N_{ey,r}/N_{ey,a}$	$N_{exz,r}/N_{exz,a}$	$M_{ex,r}/M_{ex,a}$	$M_{ey,r}/M_{ey,a}$
50 x 25 x 10 x 3,00	1,15	1,07	1,11	1,12
300 x 85 x 25 x 6,30	1,09	0,98	1,04	1,06
300 x 100 x 25 x 4,75	1,06	0,99	1,03	1,04

Fonte: Elaboração Própria

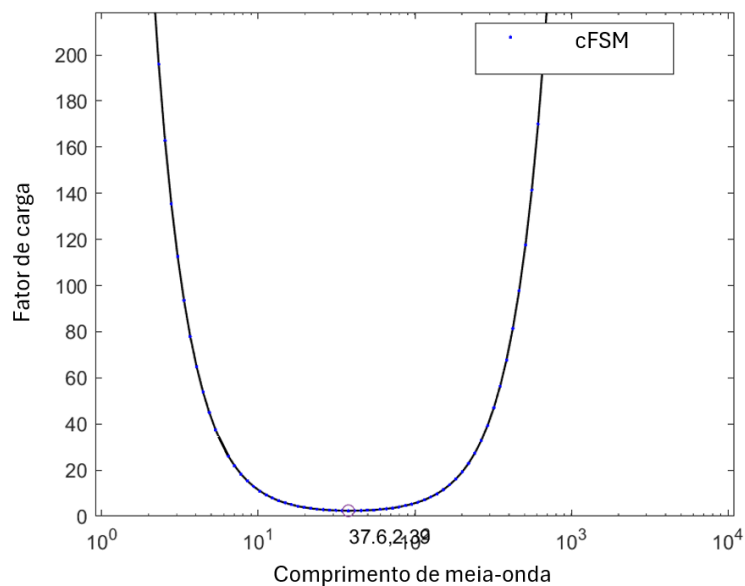
Os resultados indicam que as razões dos esforços críticos associados à flambagem global seguem o mesmo comportamento observado nas propriedades geométricas: há maior diferença nos perfis de menores alturas e maiores espessuras.

5.3 Flambagem Local e Distorcional

Para validar os esforços críticos de flambagem local e distorcional calculados pela ferramenta computacional desenvolvida, os resultados serão comparados com aqueles apresentados por Pierin, Silva e Rovere (2013) para as mesmas seções apresentadas em 5.3. No trabalho de Pierin, também foram utilizadas seções de cantos retos, visto que os resultados obtidos tendem a ser mais conservadores. Os valores das forças e dos momentos críticos devido à flambagem local e distorcional foram obtidos por meio do método das faixas finitas utilizando o programa computacional INSTAB (Pierin, 2011).

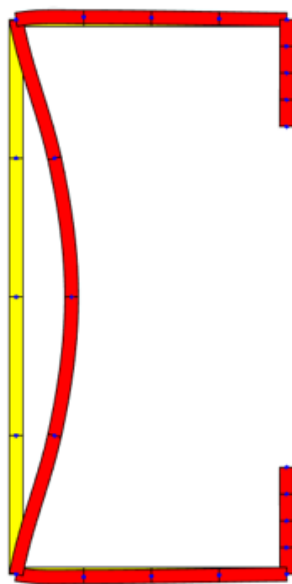
Para ilustrar os resultados obtidos, apresentam-se a curva de assinatura e deformação modal associadas à flambagem local do perfil Ue 50 x 25 x 10 x 1,2 submetidos a força de compressão, nas Figura 8 e Figura 9, respectivamente. Ressalta-se que, como apresentado no item 4.2, o fator de carga é a razão entre a força de flambagem e a força de escoamento.

Figura 8 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 9 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.



Fonte: Elaboração Própria.

Para os demais perfis e carregamentos avaliados, as curvas de assinatura e as formas de deformação estão apresentadas no APÊNDICE A.

A Tabela 13 apresenta os valores de forças e dos momentos de flambagem fornecidos pela bibliografia, enquanto a Tabela 14 exhibe os valores calculados pelo programa computacional desenvolvido neste trabalho. Nos casos em que a bibliografia apresenta “-”, isso indica que determinados valores não foram calculados na referência consultada, por não serem considerados críticos segundo os critérios adotados.

Tabela 13 – Forças e momentos de flambagem – bibliografia.

Ue	N_e (kN)	N_{dist} (kN)	M_{e,x} [kN·m]	M_{dist,x} [kN·m]	M_{e,y} [kN·m]
50 x 25 x 10 x 1,20	86,96	95,51	4,51	2,81	0,91
50 x 25 x 10 x 3,00	1187,74	726,23	-	20,60	13,72
300 x 85 x 25 x 2,00	47,88	-	23,06	28,30	2,17
300 x 85 x 25 x 6,30	1471,93	1639,62	-	397,82	67,46
300 x 100 x 25 x 2,65	115,74	-	56,14	47,04	5,89
300 x 100 x 25 x 4,75	657,05	818,06	312,46	169,28	33,57

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 14 – Forças e momentos de flambagem – Resultados deste trabalho.

Ue	N_e (kN)	N_{dist} (kN)	M_{e,x} [kN·m]	M_{dist,x} [kN·m]	M_{e,y} [kN·m]
50 x 25 x 10 x 1,20	82,59	106,37	4,71	3,08	0,89
50 x 25 x 10 x 3,00	1309,94	848,09	76,89	22,33	13,27
300 x 85 x 25 x 2,00	48,12	140,44	23,13	29,84	2,14
300 x 85 x 25 x 6,30	1501,23	1846,65	707,61	370,74	63,94
300 x 100 x 25 x 2,65	116,67	263,86	56,52	48,92	5,82
300 x 100 x 25 x 4,75	671,65	964,58	323,10	172,72	32,87

Fonte: Elaboração Própria

A Tabela 15 apresenta as razões entre os valores calculados, facilitando a análise comparativa dos esforços e momentos (Resultados deste trabalho / Bibliografia). Nessa tabela, o subíndice "b", representa os valores obtidos pela bibliografia, enquanto o "c" representa os valores obtidos neste trabalho.

Tabela 15 – Razão dos esforços e momentos (Resultados deste trabalho / Bibliografia)

Ue	$N_{e,c}/N_{e,b}$	$N_{dist,c}/N_{dist,b}$	$M_{e,x,c}/M_{e,x,b}$	$M_{dist,x,c}/M_{dist,x,b}$	$M_{e,y,c}/M_{e,y,b}$
50 x 25 x 10 x 1,20	0,95	1,11	1,04	1,10	0,98
50 x 25 x 10 x 3,00	1,10	1,17	-	1,08	0,97
300 x 85 x 25 x 2,00	1,00	-	1,00	1,05	0,99
300 x 85 x 25 x 6,30	1,02	1,13	-	0,93	0,95
300 x 100 x 25 x 2,65	1,01	-	1,01	1,04	0,99
300 x 100 x 25 x 4,75	1,02	1,18	1,03	1,02	0,99

Fonte: Elaboração Própria

A análise dos dados evidencia que os resultados obtidos pelo programa computacional convergem em relação aos valores da bibliografia. As maiores divergências ocorrem na força e nos momentos associados à flambagem distorcional, enquanto os esforços e momentos associados à flambagem local apresentam valores mais próximos dos tabelados. De forma geral, os resultados deste trabalho tendem a ser menos conservadores quando comparados aos apresentados na bibliografia.

5.4 Resolução de Exemplo

Nesta seção, será resolvido um exemplo extraído da bibliografia, com o objetivo de comparar os resultados obtidos pelo programa computacional com os resultados da literatura. Embora a resolução de um exemplo não esgote todas as comparações necessárias, ele serve como um parâmetro de referência, pois trata-se de uma aplicação padrão e recorrente para perfil de seção U enrijecida.

O manual Estruturas compostas por perfis formados a frio (Silva; Pierin; Silva, 2014) apresenta, no Anexo D, o memorial de cálculo de um galpão de pequeno porte dimensionado conforme as normas brasileiras. O Exemplo 4.12 aborda o elemento S13, uma longarina de fechamento com a seção Ue 300 x 85 x 25 x 3,00. Os dados gerais para a resolução deste exemplo estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Dados para resolução do exemplo

Dados		
Perfil	Ue 300 x 85 x 25 x 3,00	
Dados do material	f_y [kN/cm ²]	24
	E [kN/cm ²]	20000
	G [kN/cm ²]	7700
Esforços solicitantes	Força axial de compressão [tf]	0,18
	Força cortante eixo X [tf]	0,18
	Força cortante eixo Y [tf]	0,14
	Momento fletor em X [tf.m]	1,02
	Momento fletor em Y [tf.m]	-0,26
	Momento de torção [tf.m]	0
Dados de travamento	L_x [cm]	1029
	L_y [cm]	257,25
	L_z [cm]	257,25
	C_b	1,45

Fonte: Elaboração Própria

Nos itens seguintes, serão apresentados a solução conforme o manual e o resultado obtido pelo programa computacional, seguidos da comparação e discussão dos resultados.

5.4.1 Compressão centrada

As forças axiais de flambagem global calculadas estão apresentadas na Tabela 17. Para o caso de perfis monossimétricos em torno do eixo X, a força axial de flambagem global elástica N_e é o menor valor entre a força axial de flambagem global elástica em torno de Y (N_{ey}) e a força de flambagem global elástica por flexo-torção (N_{exz}).

Tabela 17 – Comparação das forças axiais de flambagem conforme a bibliografia e os resultados deste trabalho.

Força axial de flambagem	Bibliografia [kN]	Resultados deste trabalho [kN]
N_{ex}	364,02	373,63
N_{ey}	399,95	414,61
N_{exz}	276,48	283,68
N_e	276,48	283,68

Fonte: Elaboração Própria

Como a bibliografia utiliza o MLE, a flambagem local é considerada por meio da redução da resistência utilizando a área efetiva (calculada pelo DimPerfil 4.0 como 11,78 cm²), resultando

em uma força resistente de cálculo de 136,59 kN. Segundo Pierin, Silva e Rovere (2013), a flambagem distorcional não é crítica para a seção, motivo pelo qual não foi considerada nesta análise.

No programa computacional deste trabalho, os valores de força axial de flambagem global, distorcional e local são calculados separadamente (denotados por $N_{C,Re}$, $N_{C,Rdist}$ e $N_{C,RI}$) respectivamente). A força axial resistente de cálculo é definida como o menor desses valores, dividido por γ igual a 1,20. Considerando os valores obtidos – 265,36 kN para flambagem distorcional, 213,22 kN para flambagem global e 165,47 kN para flambagem local – a força axial resistente de cálculo resulta em 137,89 kN.

A Tabela 18 apresenta a força axial resistente de cálculo para os dois casos:

Tabela 18 – Comparação da força axial resistente de cálculo

Força axial resistente de cálculo	Bibliografia [kN]	Resultados deste trabalho [kN]
N_{Rd}	136,59	137,89

Fonte: Elaboração Própria

5.4.2 Flexão simples - em relação ao eixo de simetria

Pelo método da Largura Efetiva, o momento fletor resistente de cálculo (M_{Rd}) é definido como o menor entre o momento fletor de início do escoamento da seção efetiva ($M_{Rd,esc}$), o momento fletor relativo à flambagem global ($M_{Rd,FLT}$) e o momento fletor relativo à flambagem distorcional ($M_{Rd,dist}$). A flambagem local é considerada por meio do uso do momento de inércia efetivo. Segundo a bibliografia, o momento de inércia efetivo foi calculado pelo DimPerfil 4.0 como 1845,89 cm⁴, resultando em $M_{Rd,esc}$ igual a 2551,45 kN·cm. O momento fletor relativo à flambagem global, considerando as propriedades efetivas, foi calculado como $M_{Rd,FLT}$ igual a 2523,42 kN.cm, e o momento relativo à flambagem distorcional, com base nos valores pré-cadastrados do DimPerfil 4.0, foi obtido como $M_{Rd,dist}$ igual a 2827,83 kN.cm.

Utilizando a ferramenta deste trabalho – que calcula os momentos fletores característicos (M_{Re} , M_{RI} e M_{Rdist}) conforme o item 4.3 – e dividindo os valores obtidos por γ igual a 1,10, tem-se os resultados apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Momentos fletores resistentes de cálculo – em relação ao eixo de simetria.

Momento fletor de flambagem	Bibliografia	Resultados deste trabalho
$M_{Rd,esc}$ [kN.cm]	2551,45	-
$M_{Rd,FLT}$ [kN.cm]	2523,42	2850,06
$M_{Rd,dist}$ [kN.cm]	2827,83	2915,27
$M_{Rd,l}$ [kN.cm]	-	2850,06
M_{Rd} [kN.cm]	2523,42	2850,06

Fonte: Elaboração Própria

5.4.3 Flexão simples - em relação ao eixo perpendicular ao de simetria

Utilizando o MLE, o momento resistente de cálculo em torno do eixo perpendicular é calculado como o menor entre o início do escoamento da seção efetiva ($M_{Rd,esc}$) e o momento fletor relativo à flambagem global ($M_{Rd,FLT}$). Conforme os dados calculados pelo DimPerfil 4.0, o momento de inércia efetivo para essa configuração foi de 134,09 cm⁴, resultando em $M_{Rd,esc}$ igual a 464,45 kN.cm, o mesmo valor obtido para $M_{Rd,FLT}$. Seguindo o procedimento análogo ao utilizado para o eixo de simetria, os valores dos momentos fletores característicos (M_{Re} e M_{Rl}) foram calculados e divididos por $\gamma=1,10$, conforme apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Momentos fletores resistentes de cálculo – em relação ao eixo perpendicular ao de simetria.

Momento fletor de flambagem	Bibliografia [kN]	Resultados deste trabalho [kN]
$M_{Rd,esc}$ [kN.cm]	464,45	-
$M_{Rd,FLT}$ [kN.cm]	464,45	472,56
$M_{Rd,l}$ [kN.cm]	-	472,56
M_{Rd} [kN.cm]	464,45	472,56

Fonte: Elaboração Própria

5.4.4 Avaliação da barra submetida a flexão composta

Com as forças e momentos solicitantes de cálculo apresentadas na Tabela 16, e os esforços resistentes obtidos nos itens 5.4.1 a 5.4.3, calculou-se a razão entre os esforços solicitantes e os resistentes. Esses resultados estão resumidos na Tabela 21.

Tabela 21 – Razões das forças e momentos solicitantes de cálculo em relação aos esforços resistentes de cálculo.

Razões entre esforços solicitantes e resistentes	N_{Sd}/N_{Rd}	$M_{x,Sd}/M_{x,Rd}$	$M_{y,Sd}/M_{y,Rd}$	Soma das razões
Resultados deste trabalho	0,01	0,35	0,54	0,90
Bibliografia	0,01	0,40	0,56	0,98

Fonte: Elaboração Própria

Em relação à compressão centrada, os índices de aproveitamento são semelhantes, pois o mesmo estado limite último crítico foi identificado, resultando em razão (N_{Sd}/N_{Rd}) idêntica em ambos os casos. Quanto à flexão, os resultados convergem no modo de flambagem crítica, embora haja uma diferença de 14,4% na razão $M_{x,Sd}/M_{x,Rd}$, indicando uma maior margem de segurança nos resultados deste trabalho. Essa diferença se deve principalmente pela redução do momento fletor resistente de cálculo devido a consideração de flambagem local. Em ambos os casos, como a razão entre os esforços solicitantes e os resistentes é inferior a 1,00, a barra é aprovada. Vale destacar ainda que os índices da bibliografia estão mais próximos do limite admissível, enquanto os resultados deste trabalho são, em média, 8,9% inferiores, indicando uma abordagem menos conservadora.

6 CONCLUSÃO

Neste estudo desenvolve-se uma ferramenta computacional voltada à automatização do dimensionamento de perfis, com foco na determinação das forças de compressão e dos momentos fletores críticos de flambagem — global, local e distorcional — conforme os critérios estabelecidos na norma NBR 14762:2010, utilizando o Método da Resistência Direta (MRD).

Para a obtenção dos esforços críticos de flambagem local e distorcional, foi empregado o Método das Faixas Finitas, por meio do CUFMS. A validação da abordagem proposta foi realizada através da comparação dos resultados obtidos (propriedades geométricas e esforços críticos) com dados disponíveis na literatura, além da aplicação em um exemplo prático retirado de um manual de dimensionamento.

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o desenvolvimento da ferramenta computacional para o dimensionamento de perfis formados a frio demonstrou, de modo geral, viabilidade e

eficácia na determinação dos esforços críticos de flambagem global, local e distorcional. A comparação dos valores obtidos com os disponíveis na bibliografia revelou diferenças de até 18% nas forças e momentos fletores de flambagem. Embora tais discrepâncias sejam observadas, os métodos empregados apresentam uma convergência satisfatória de resultados.

Destaca-se, entretanto, que a avaliação criteriosa do engenheiro é fundamental em qualquer análise, bem como a confirmação dos resultados obtidos por meio de ferramentas ou metodologias complementares, a fim de garantir projetos estruturais seguros.

Por fim, recomenda-se que trabalhos futuros explorem as seguintes linhas de investigação:

- Integrar propriedades geométricas calculadas com e sem os raios de dobra.
- Expandir o trabalho para avaliar também outras seções;
- Adotar uma definição adaptativa e baseada nas dimensões do perfil para os comprimentos de meia onda da curva de assinatura, em substituição à faixa fixa atualmente utilizada;
- Implementar o fluxo FSM@cFSM-Lcr no qual o cFSM é acionado condicionalmente para identificar comprimentos de onda críticos quando a curva de assinatura do FSM tradicional não apresentar mínimos bem definidos, assegurando maior robustez e confiabilidade na análise.

Com base nesses pontos, pode-se afirmar que o presente trabalho aborda de forma relevante dimensionamento de estruturas em perfis formados a frio, oferecendo uma metodologia e possibilitando a adoção de métodos mais precisos e menos onerosos nos projetos estruturais.

7 REFERÊNCIAS

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. *Direct Strength Method (DSM) Design Guide: DESIGN GUIDE CFX-X*. [S.l.], Jan. 2006. Committee on Specifications for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – procedimento. Rio de Janeiro: 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio – padronização. Rio de Janeiro: 2012.

BATHE, K. J. *Finite Element Procedures*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1996.

CEN. Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. Brussels: European Committee for Standardization, 2005.

LI, Z.; SCHAFER, B. W. Application of the finite strip method in cold-formed steel member design. *Journal of Constructional Steel Research*, v. 66, n. 8–9, p. 971–980, 2010.

LI, Z. Advanced computational tools for elastic buckling analysis of cold-formed steel structures. In: *Recent Trends in Cold-Formed Steel Construction*. [S.l.]: Elsevier, 2016. p. 109–128.

PIERIN, I.; SILVA, V. P.; ROVERE, H. L. Forças normais e momentos fletores críticos de perfis formados a frio. *Revista da estrutura de aço, Centro Brasileiro da Construção em Aço*, v. 2, n. 1, 2013.

PIERIN, I. A instabilidade de perfis formados a frio em situação de incêndio. 2011. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SCHAFER, B.W., Ádány, S. Buckling analysis of cold-formed steel members using CUFSM: conventional and constrained finite strip methods. In: *Eighteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, Orlando, FL. October 2006.

SILVA, E. L.; PIERIN, I.; SILVA, V. P. Estruturas compostas por perfis formados a frio: dimensionamento pelo método das larguras efetivas e aplicação conforme ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 6355:2012. Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

YU, C.; SCHAFER, B. W. Local buckling tests on cold-formed steel beams. *Journal of Structural Engineering*, v. 129, n. 12, p. 1596–1606, 2003.

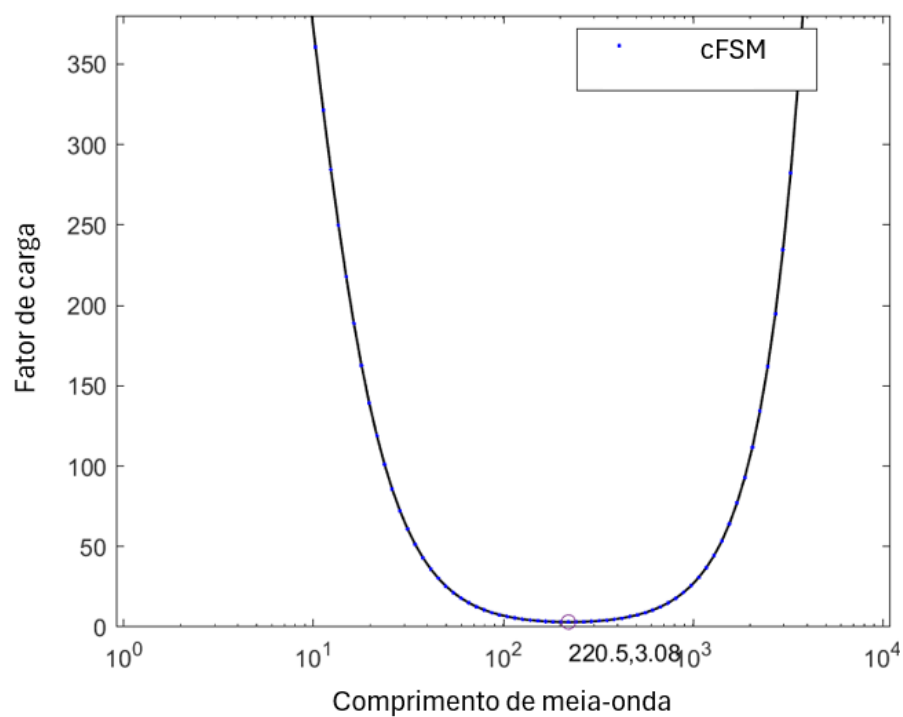
YU, C.; LAI, Y. K. Simulation of cold-formed steel beams in local and distortional buckling with applications to the direct strength method. [S.l.], 2012.

APÊNDICE A – EXEMPLOS RESOLVIDOS NO TRABALHO

Neste apêndice são apresentadas as curvas de assinatura e os modos de flambagem das seções avaliadas ao longo do trabalho. Como apresentado no item 4.2, o fator de carga representa a razão entre a força de compressão (ou momento fletor) de flambagem e a força de compressão (ou momento fletor) relativa ao escoamento (ou início do escoamento).

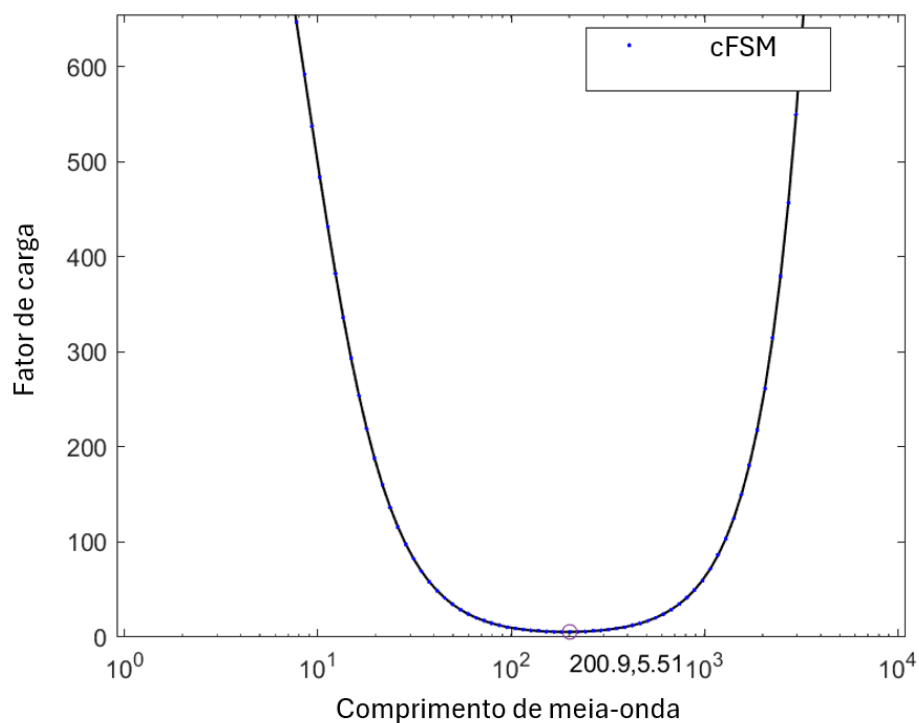
Perfil Ue 50 x 25 x 10 x 1,20

Figura 10 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.



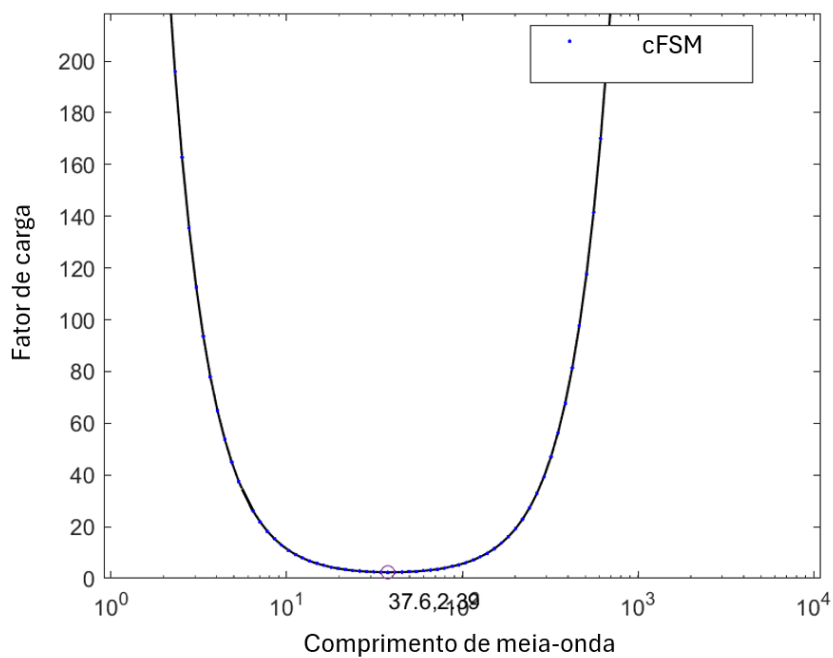
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 11 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 12 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 13 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.

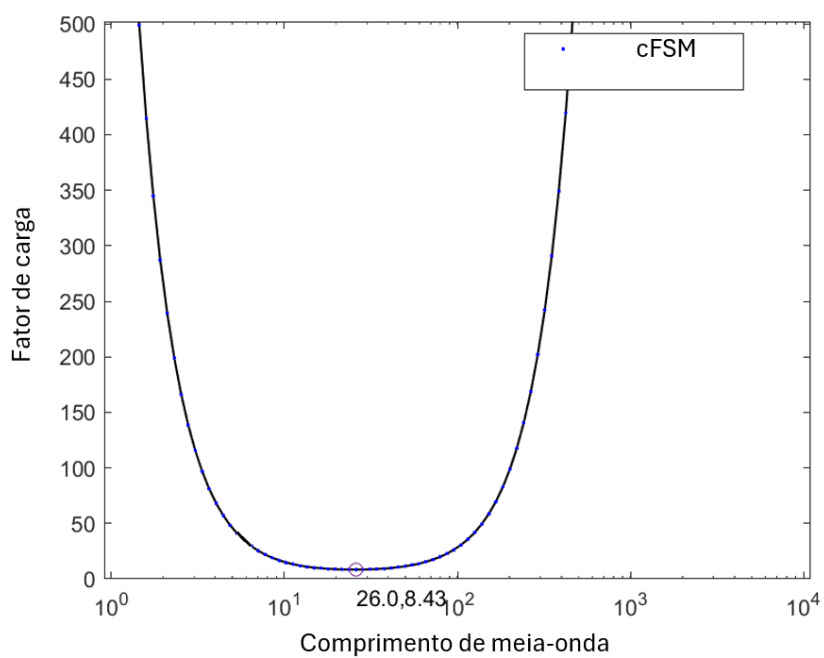


Figura 14 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.

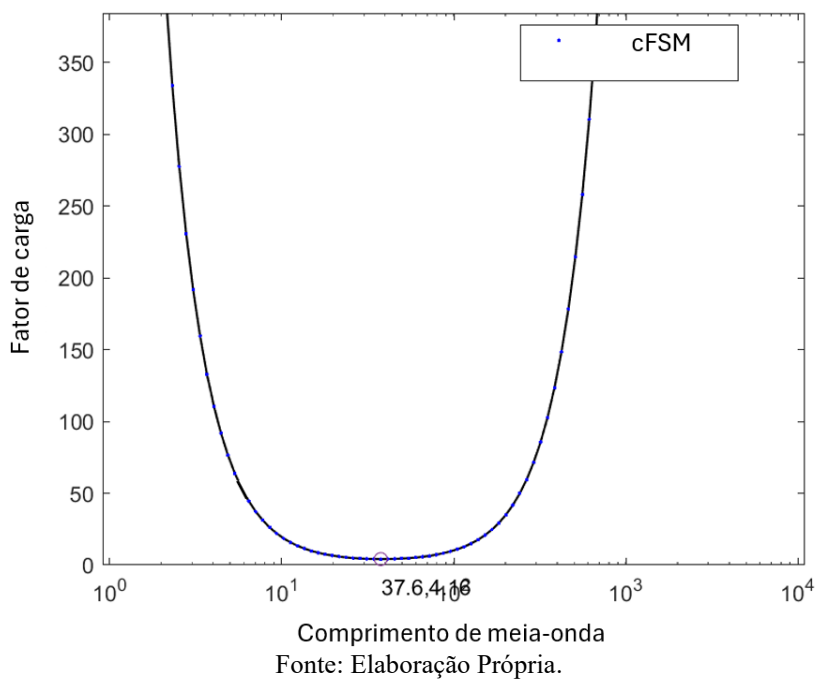
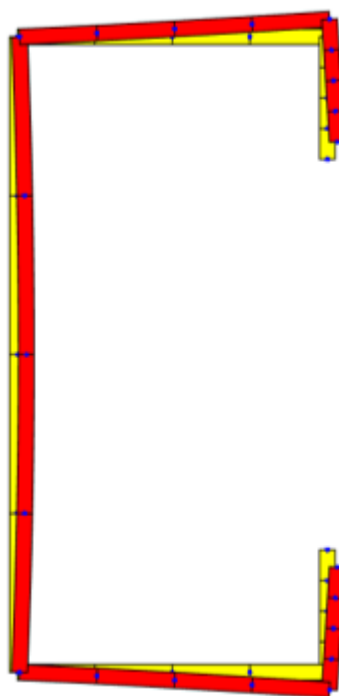
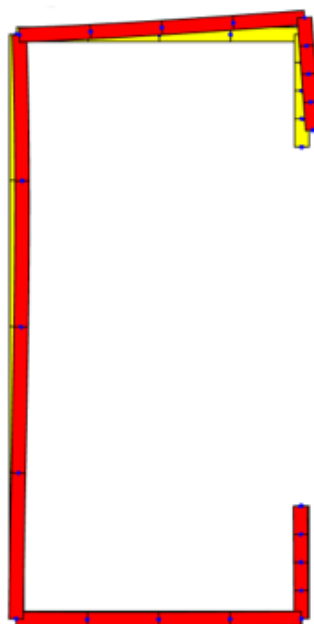


Figura 15 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.



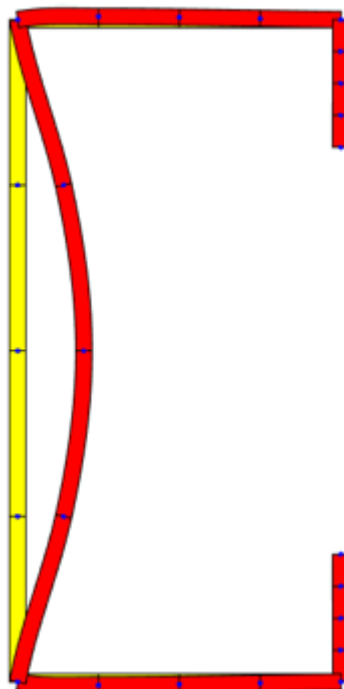
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 16 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.



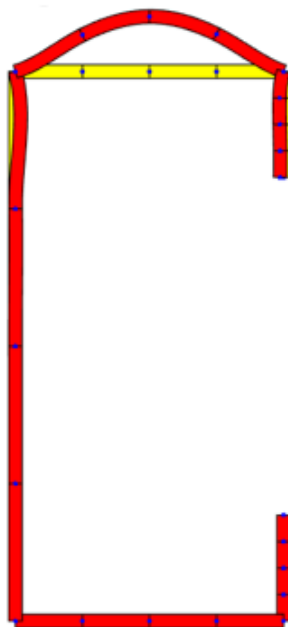
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 17 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.



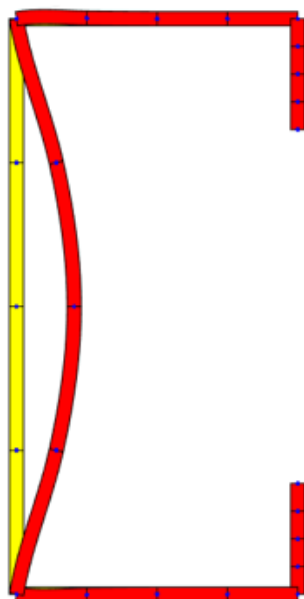
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 18 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.



Fonte: Elaboração Própria.

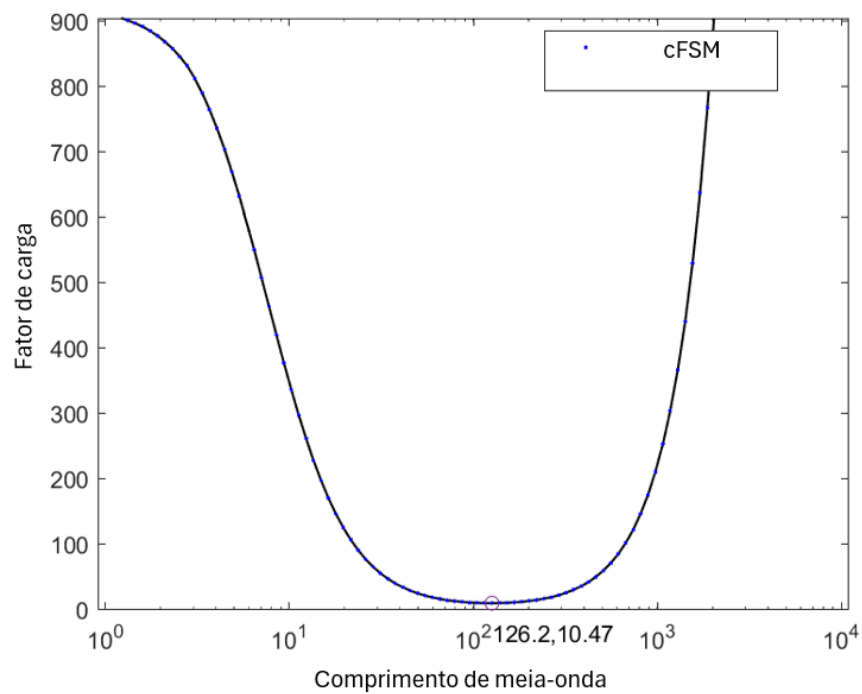
Figura 19 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 1,20.



Fonte: Elaboração Própria.

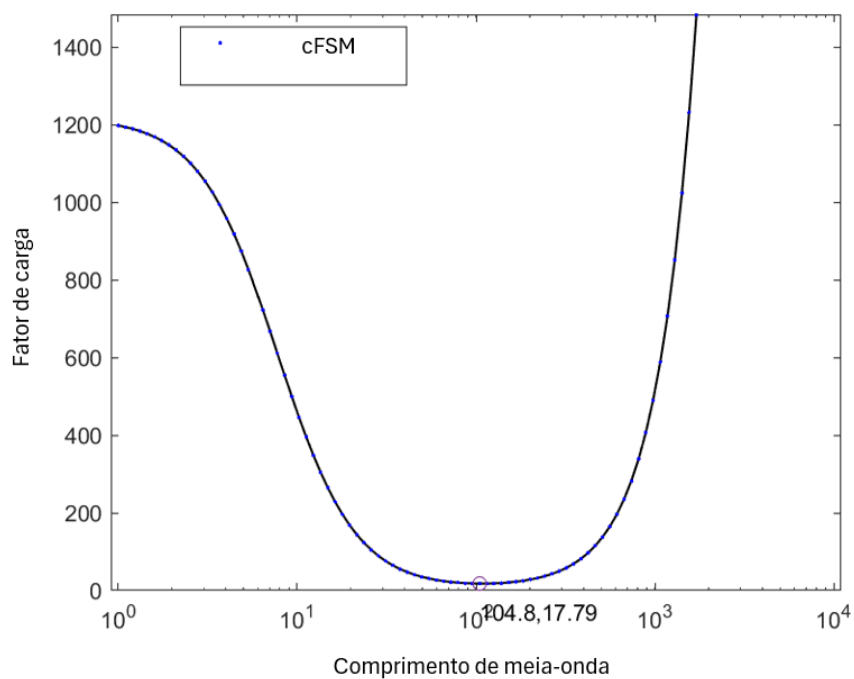
Perfil Ue 50 x 25 x 10 x 3,00

Figura 20 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.



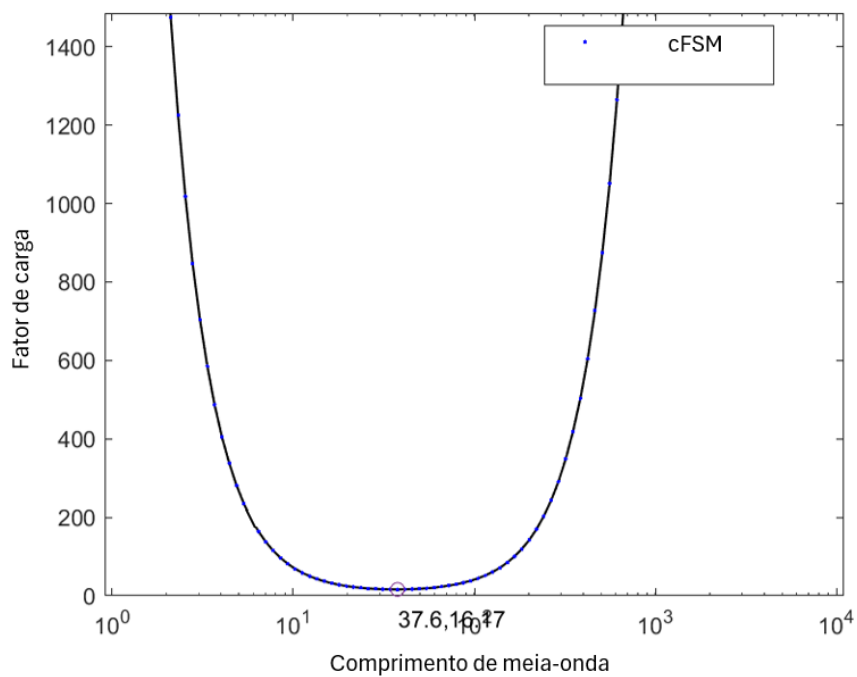
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 21 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 22 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 23 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.

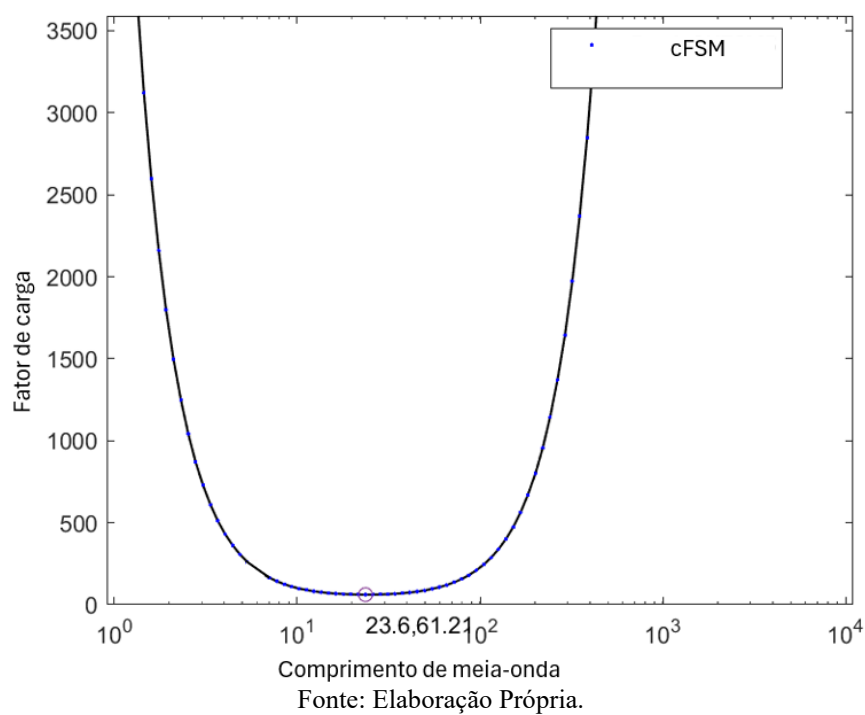


Figura 24 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.

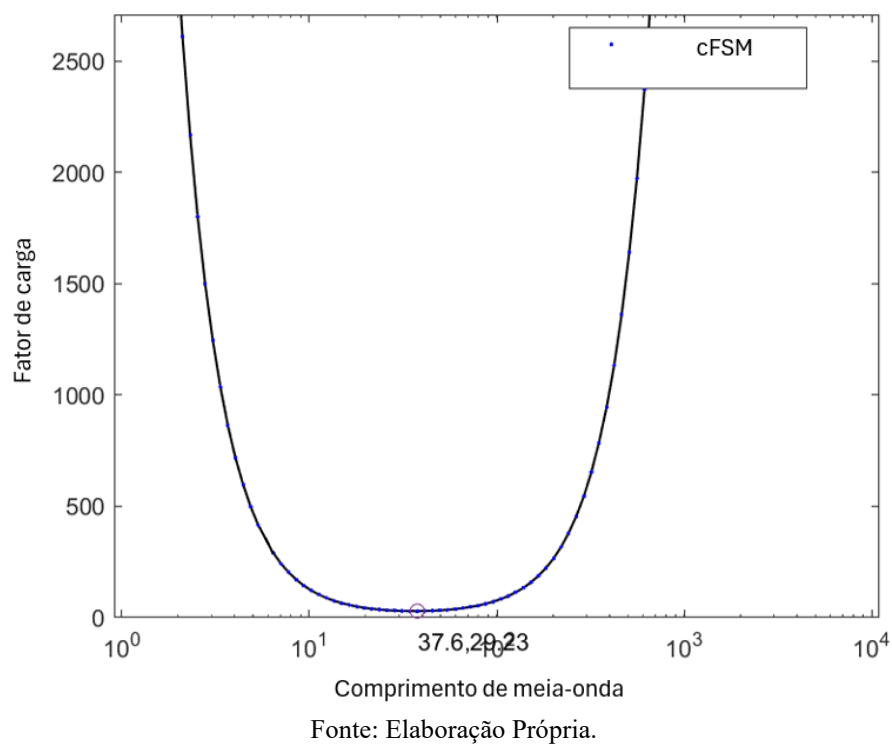
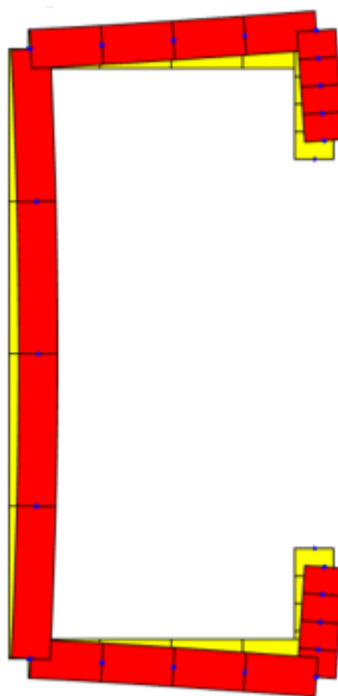
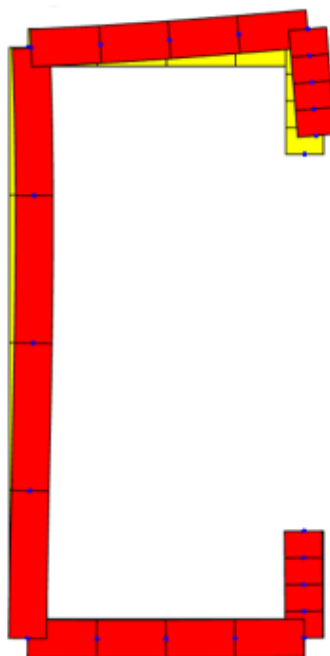


Figura 25 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.



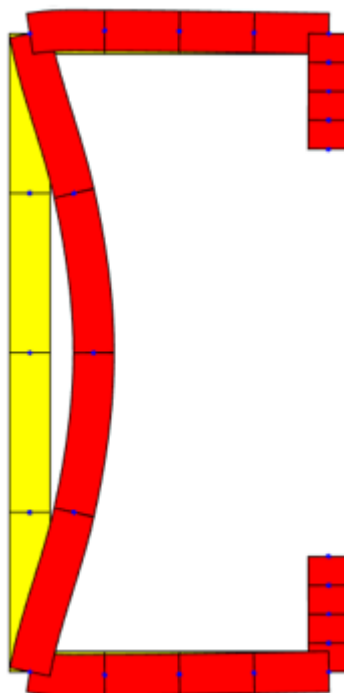
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 26 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.



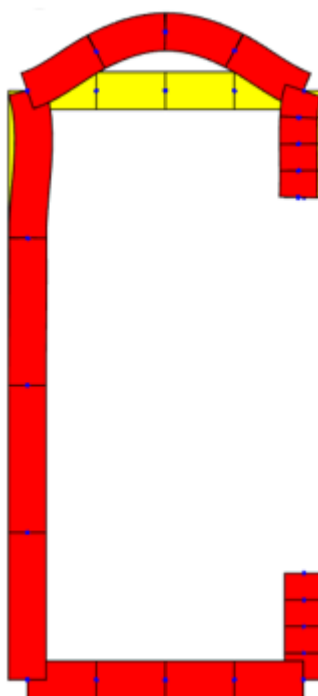
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 27 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.



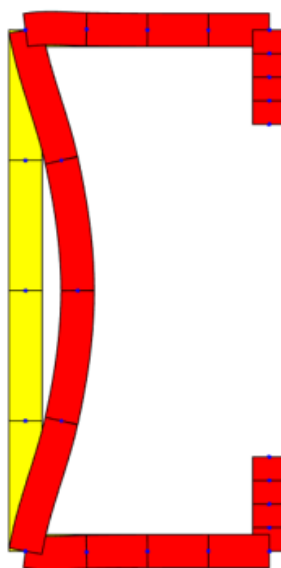
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 28 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.



Fonte: Elaboração Própria.

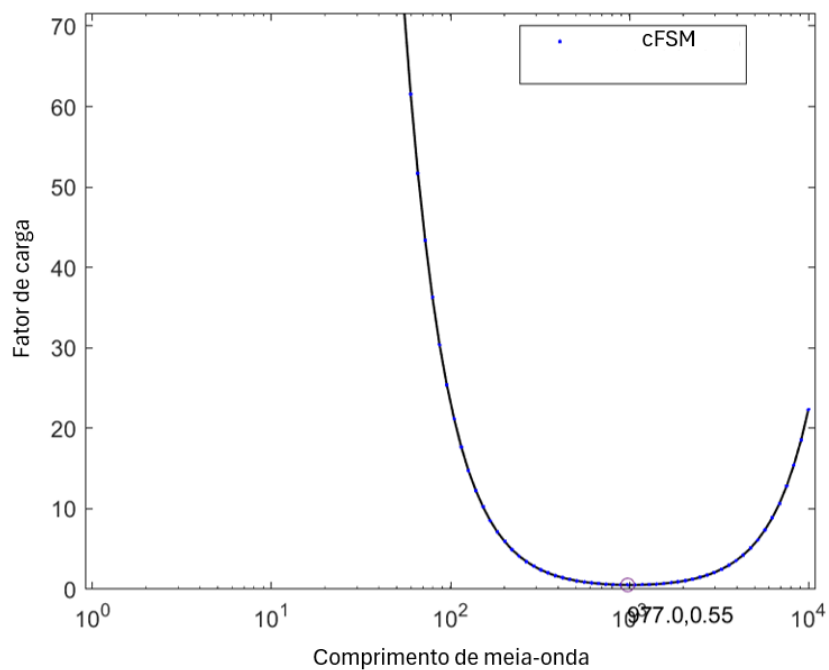
Figura 29 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 50 x 25 x 10 x 3,00.



Fonte: Elaboração Própria.

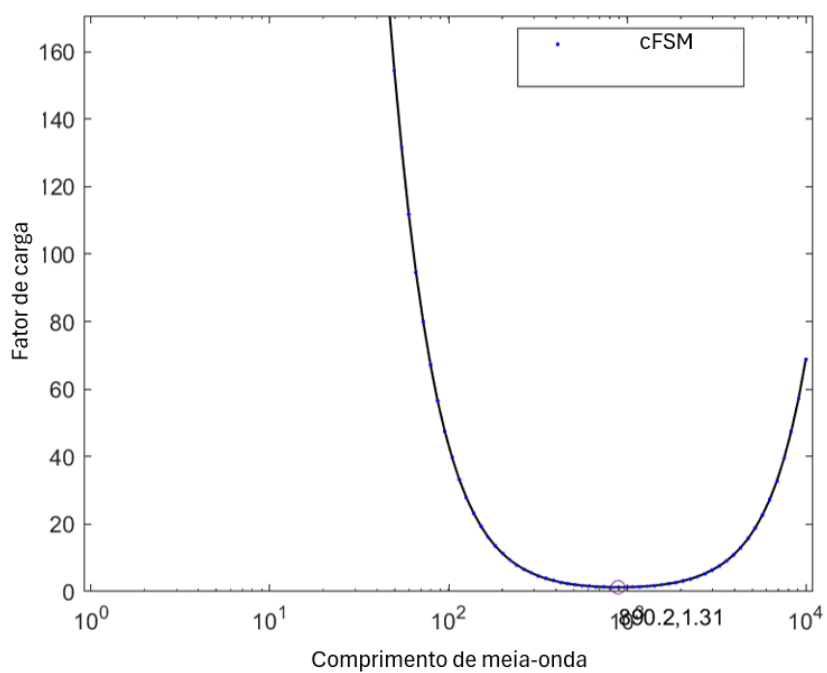
Perfil Ue 300 x 85 x 25 x 2,00

Figura 30 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.



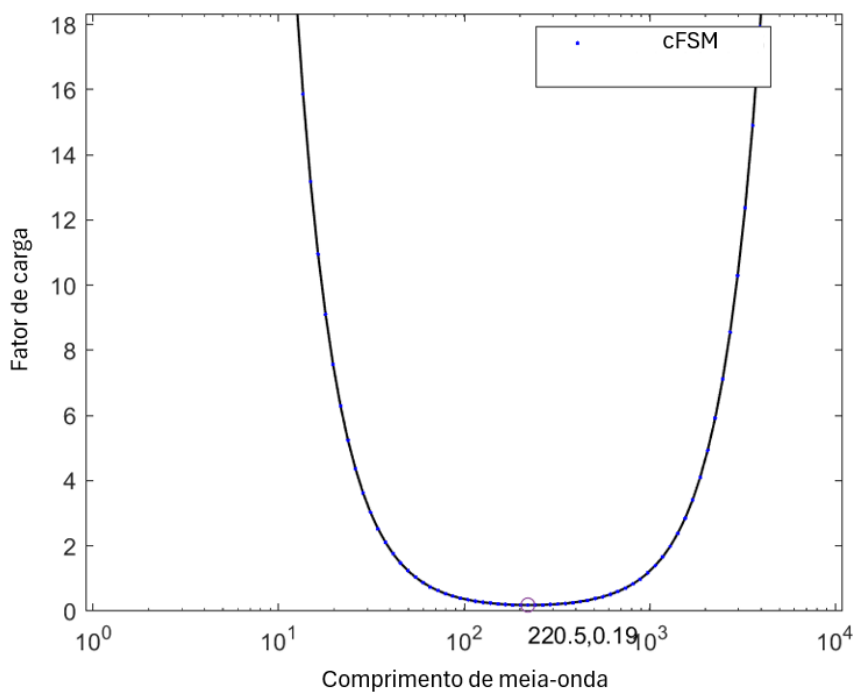
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 31 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.



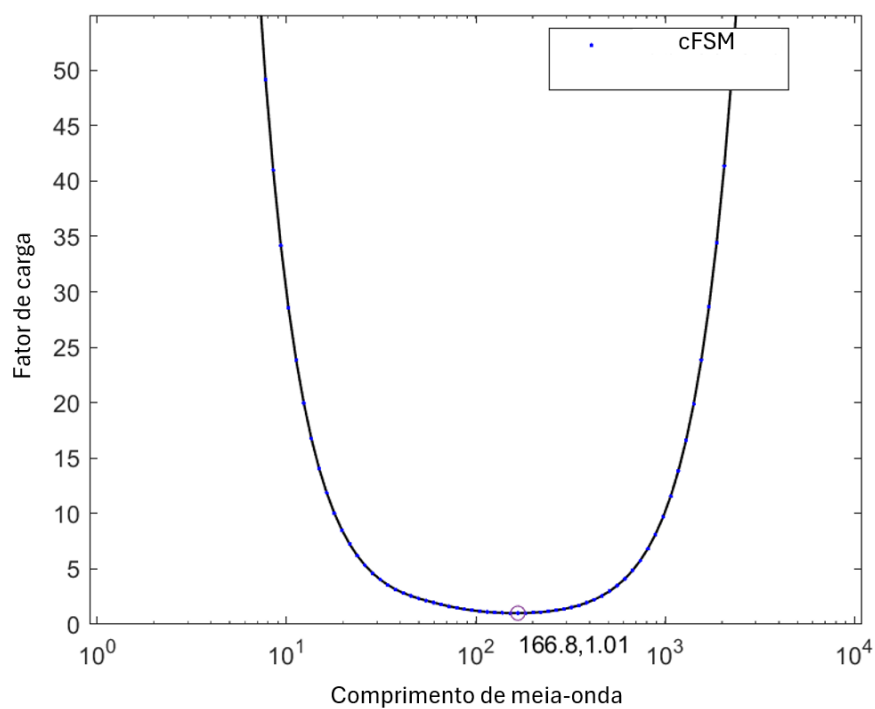
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 32 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.



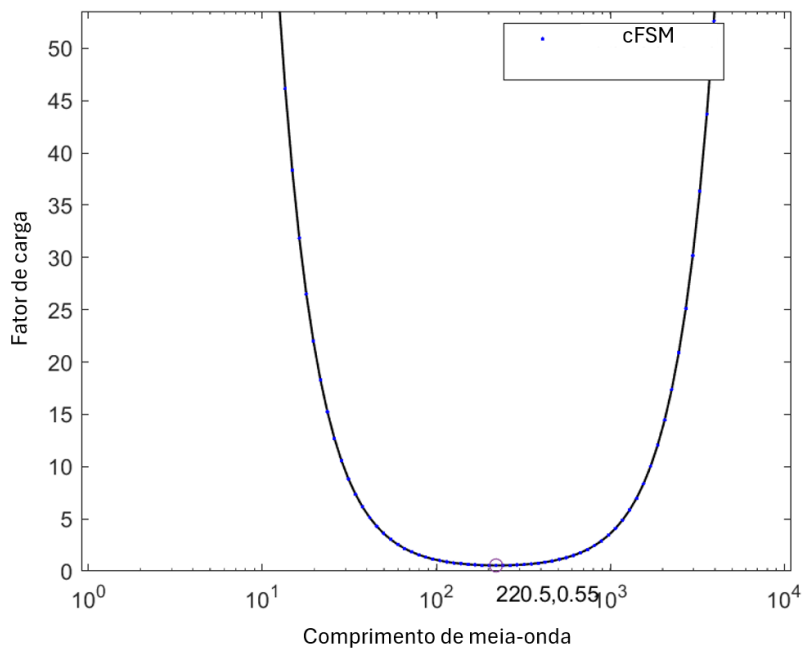
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 33 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.



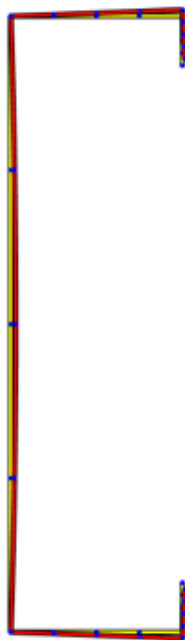
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 34 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.



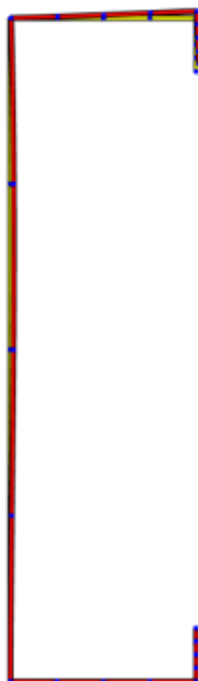
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 35 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 36 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.



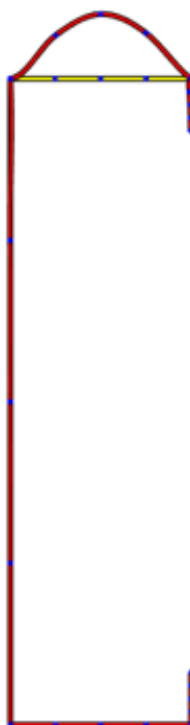
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 37 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 38 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.



Fonte: Elaboração Própria.

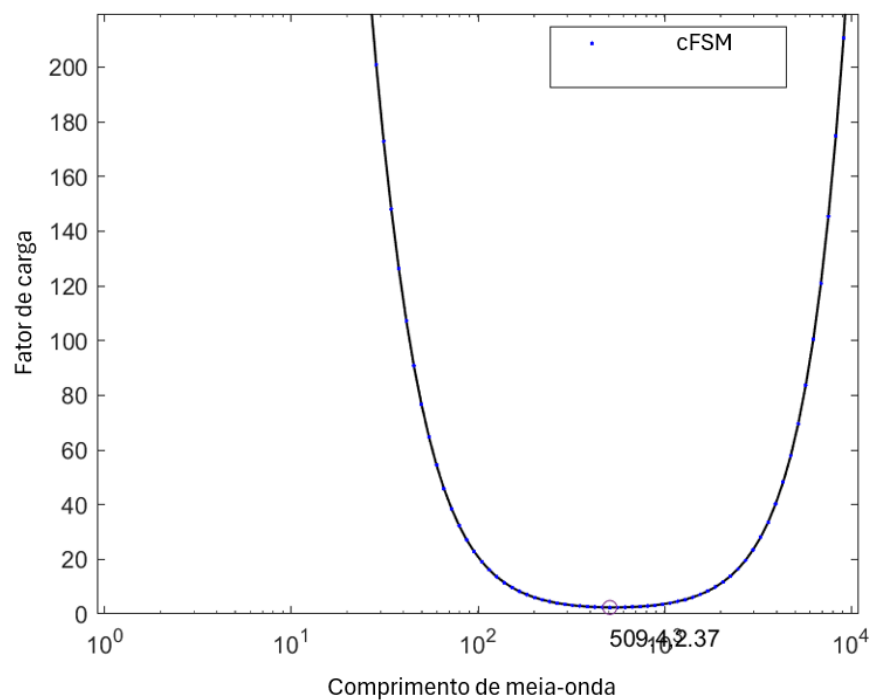
Figura 39 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 2,00.



Fonte: Elaboração Própria.

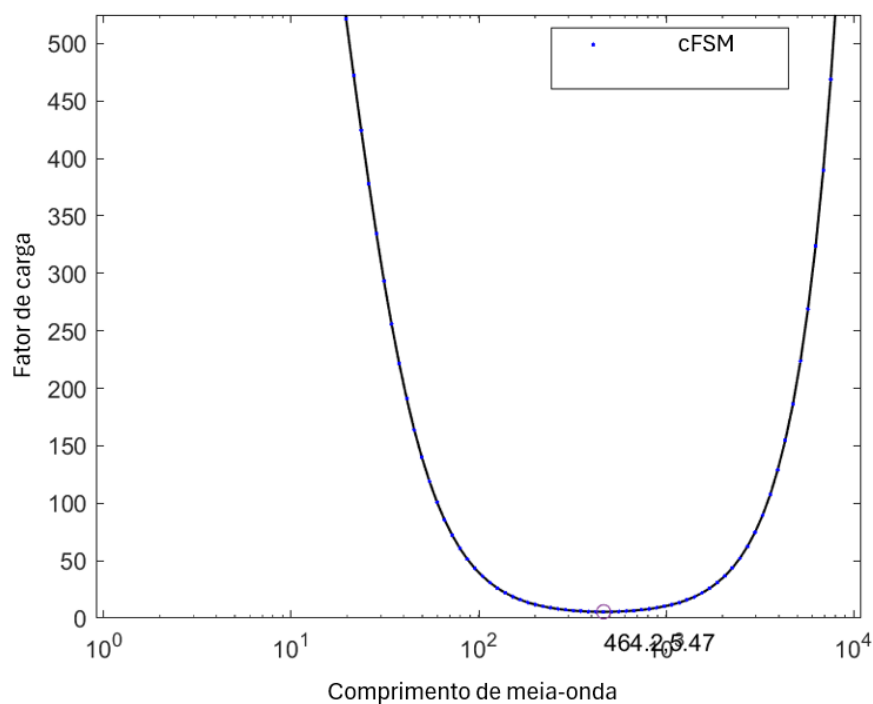
Perfil Ue 300 x 85 x 25 x 6,30

Figura 40 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.



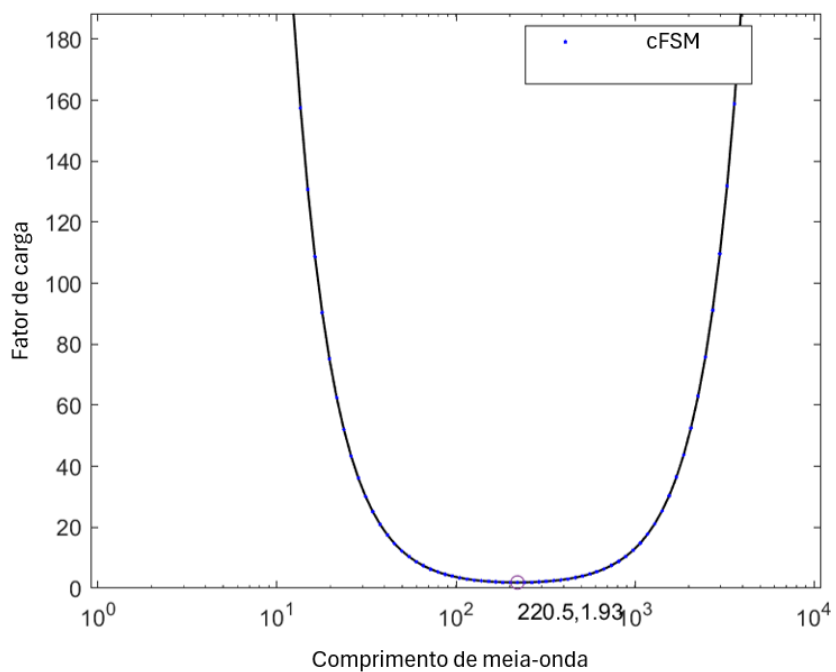
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 41 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 42 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 43 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.

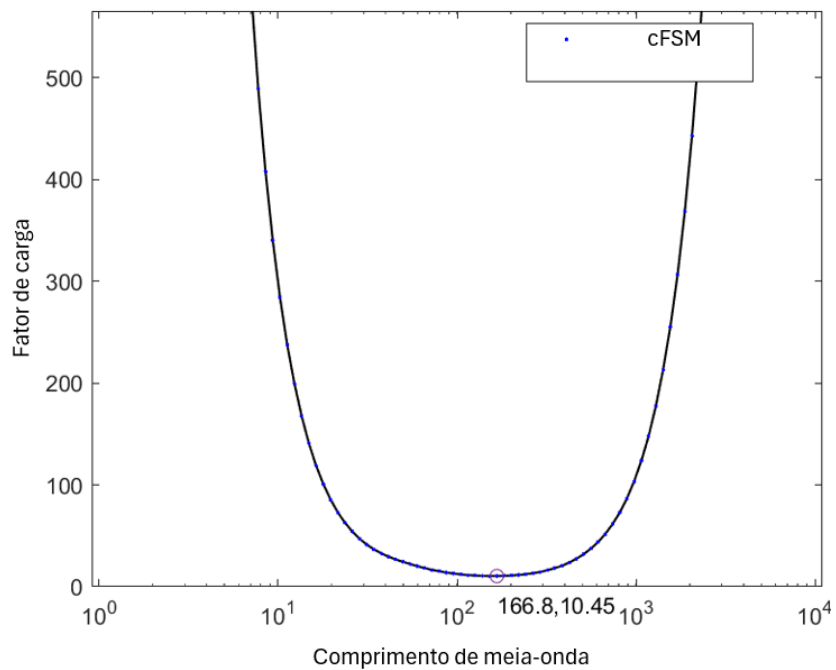


Figura 44 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.

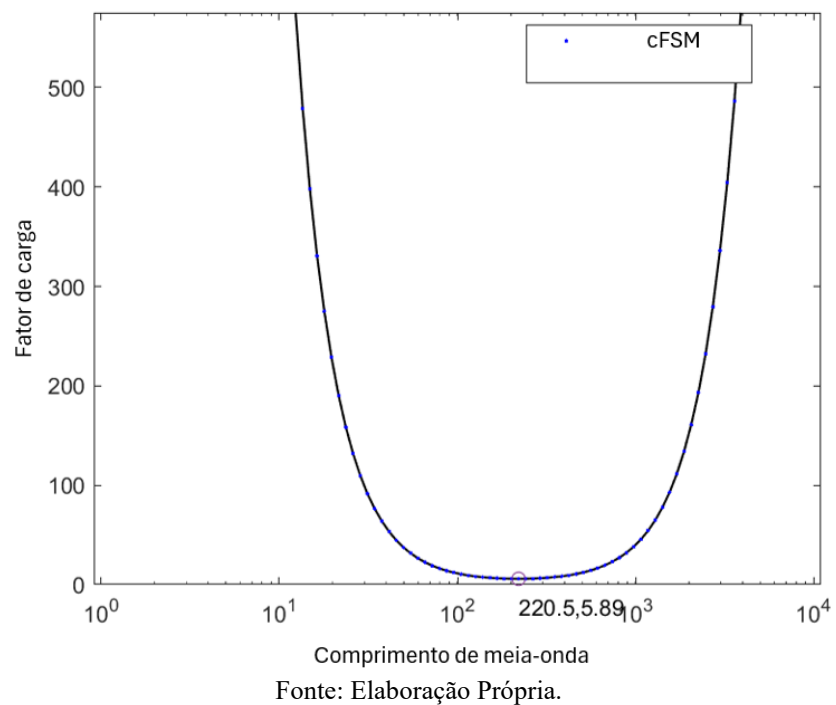
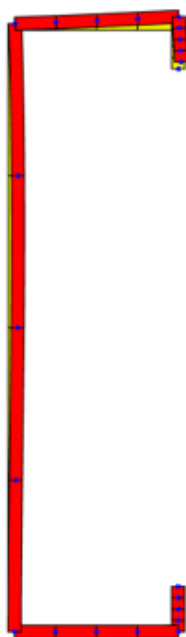


Figura 45 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.



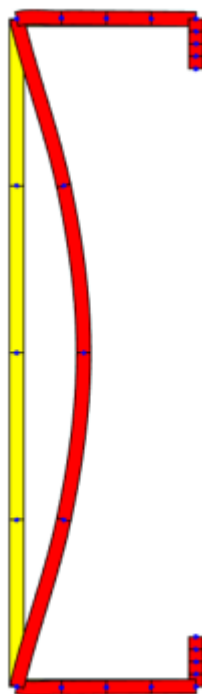
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 46 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 47 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.



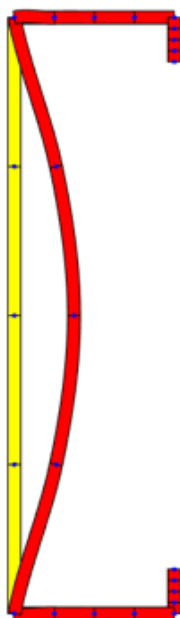
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 48 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.



Fonte: Elaboração Própria.

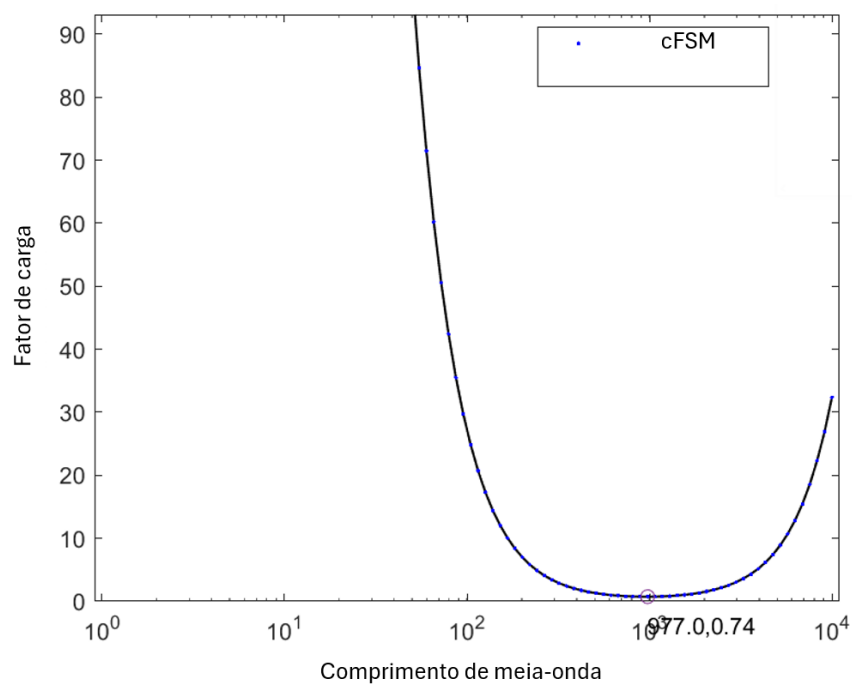
Figura 49 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 6,30.



Fonte: Elaboração Própria.

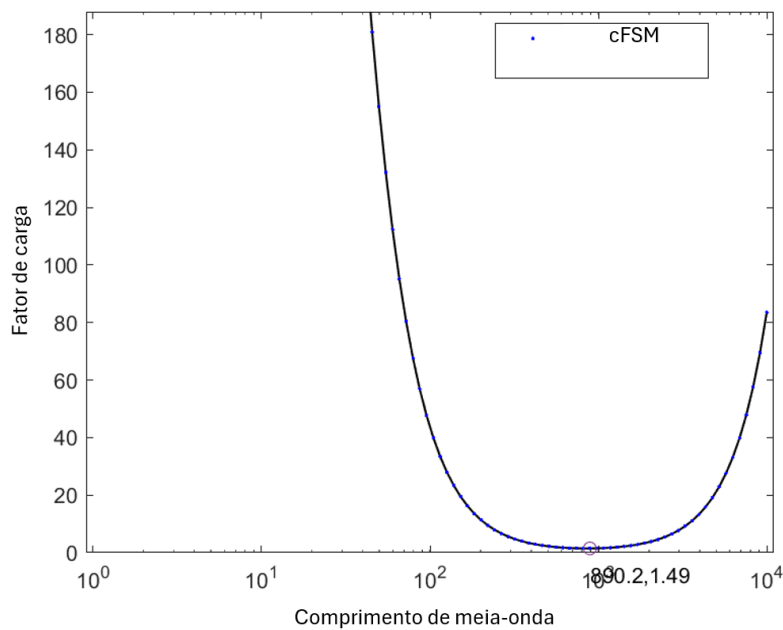
Perfil Ue 300 x 85 x 25 x 2,65

Figura 50 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.



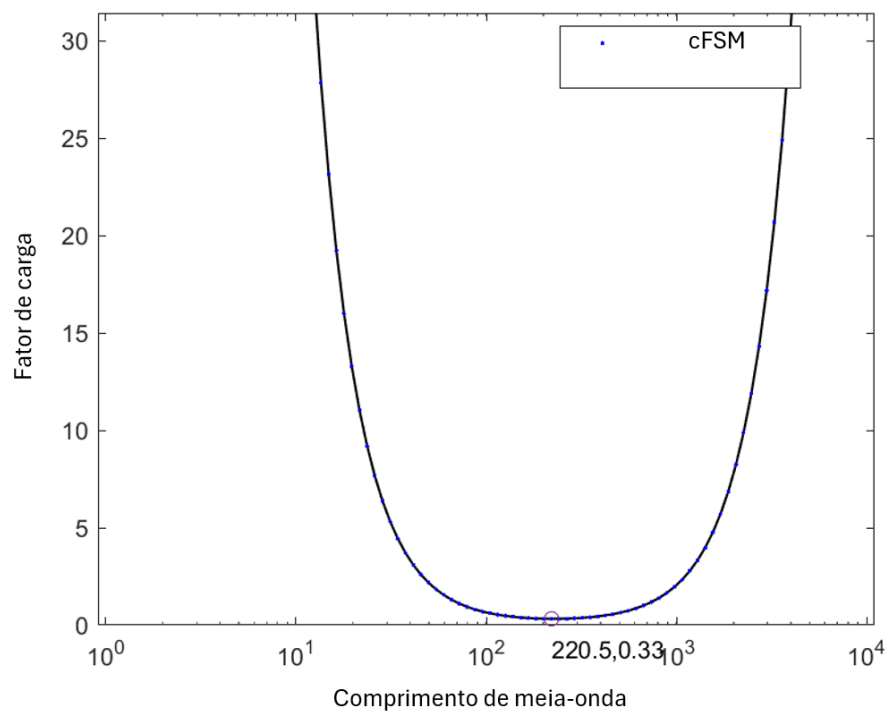
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 51 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 52 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 53 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.

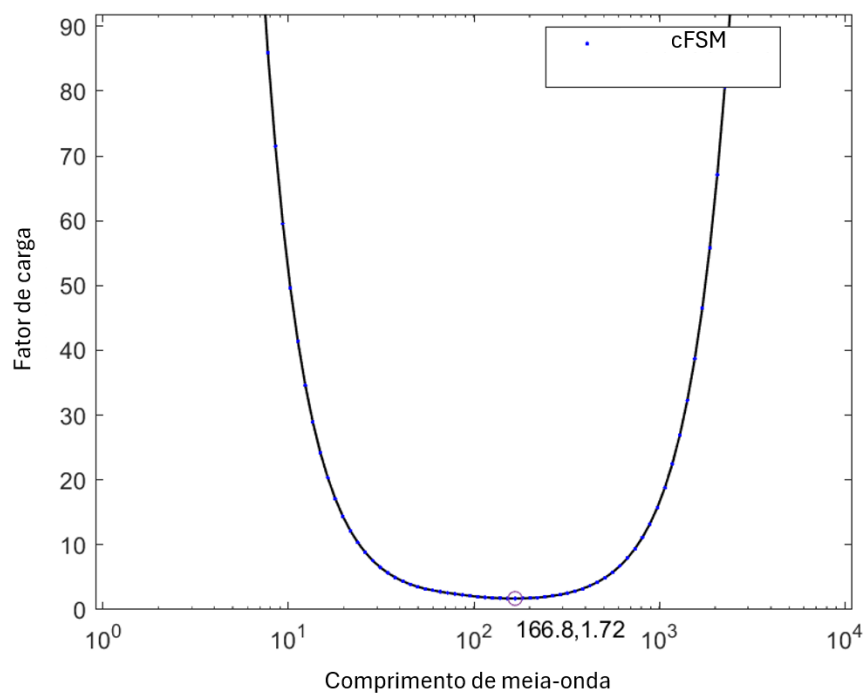


Figura 54 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.

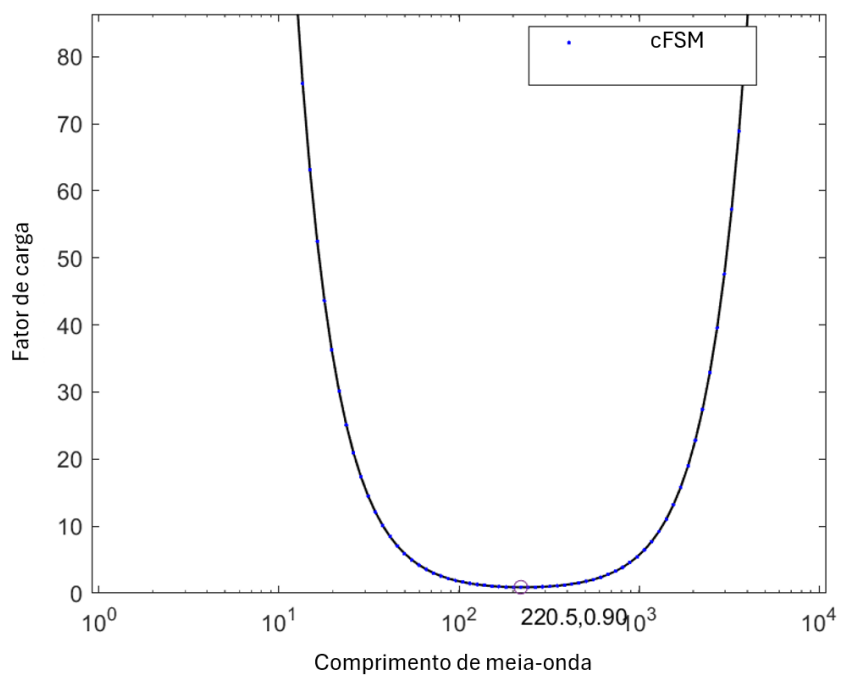
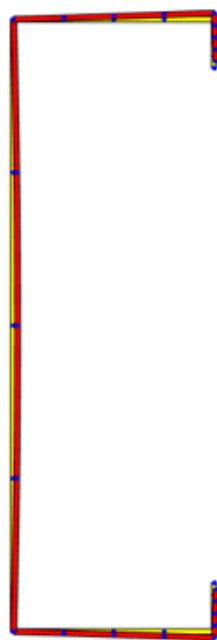
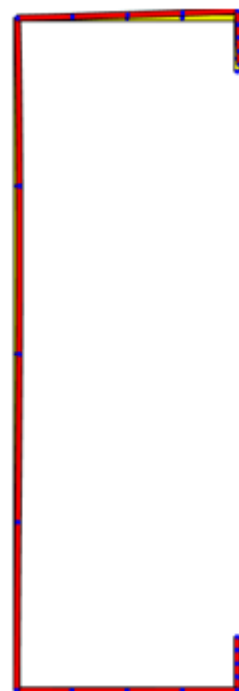


Figura 55 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.



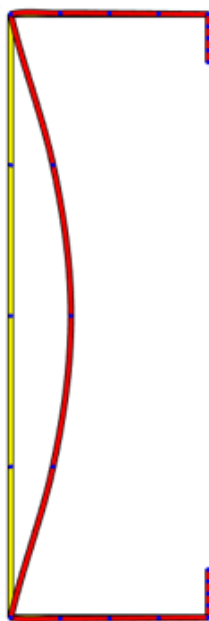
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 56 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.



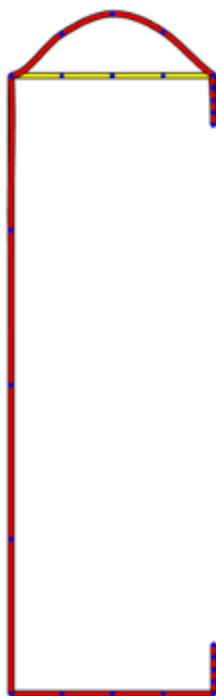
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 57 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65



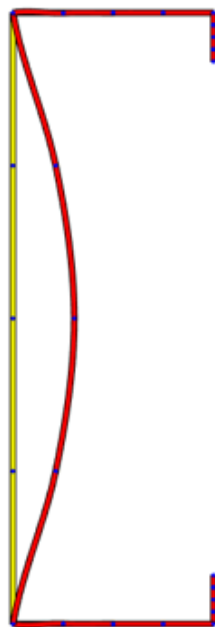
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 58 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.



Fonte: Elaboração Própria.

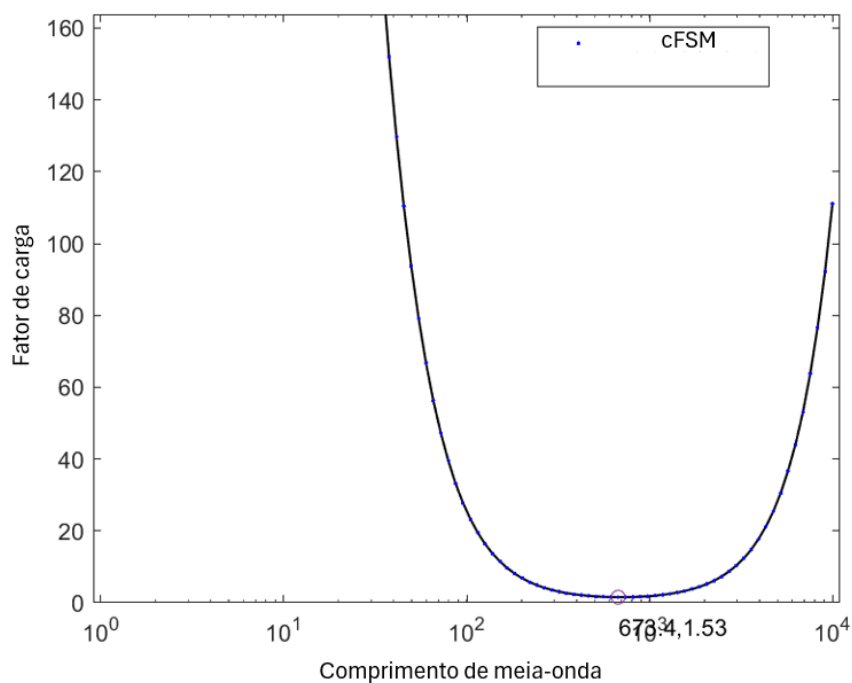
Figura 59 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 2,65.



Fonte: Elaboração Própria.

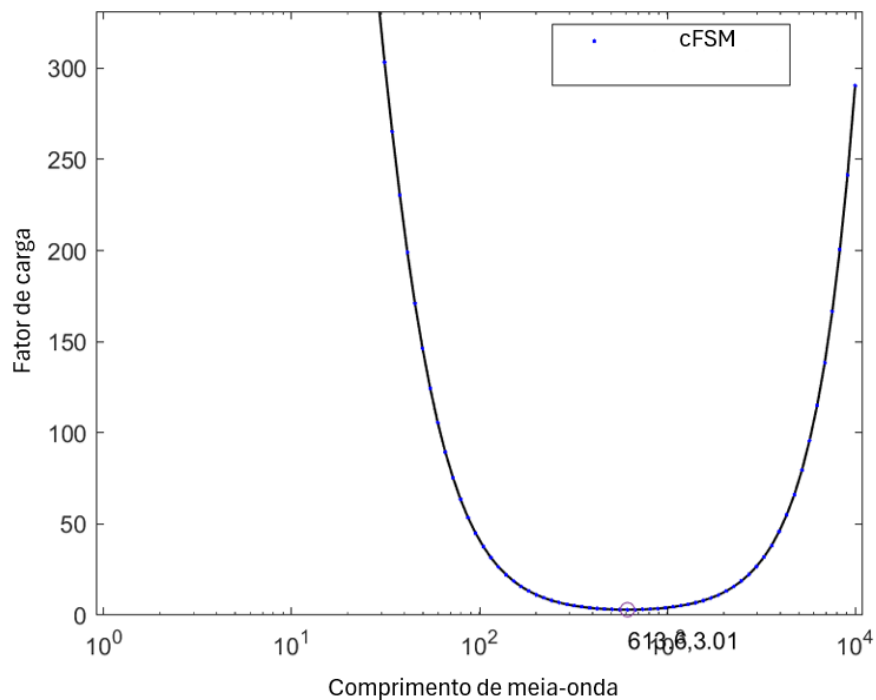
Perfil Ue 300 x 85 x 25 x 4,75

Figura 60 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.



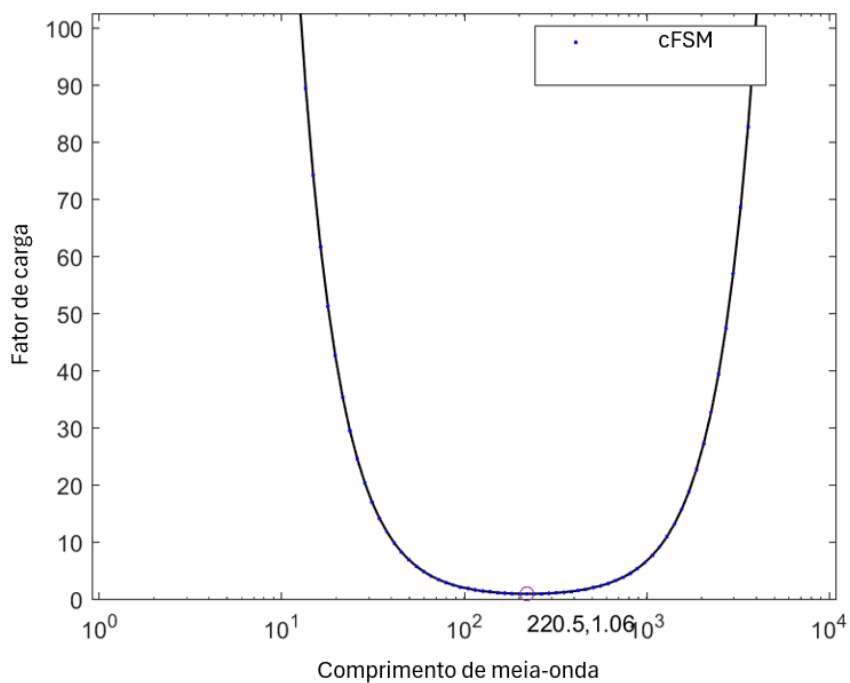
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 61 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.



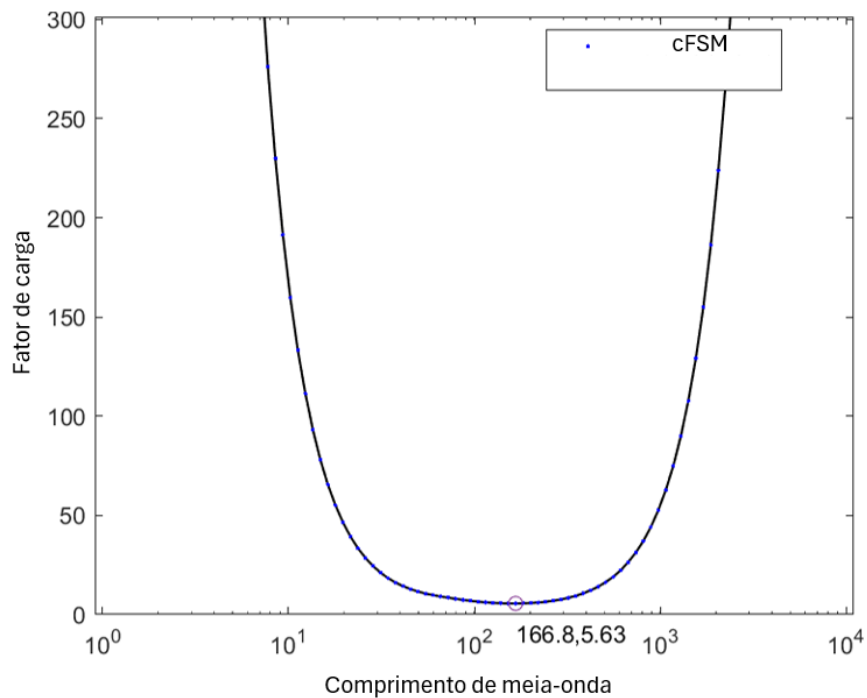
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 62 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.



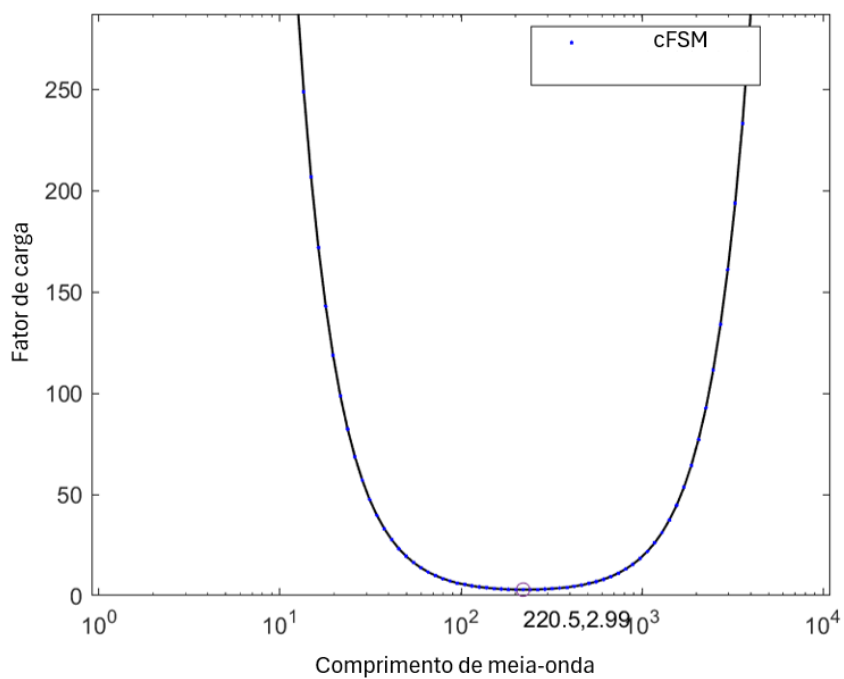
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 63 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.



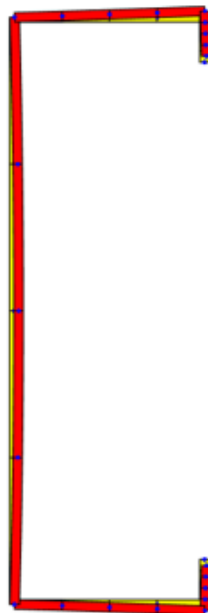
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 64 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.



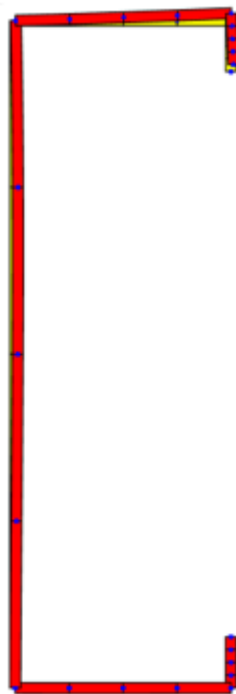
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 65 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.



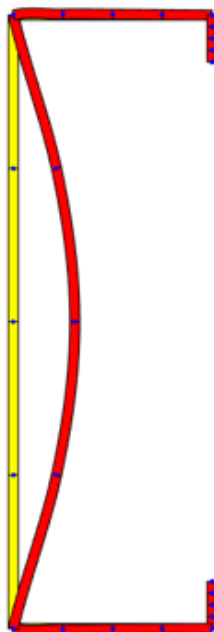
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 66 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.



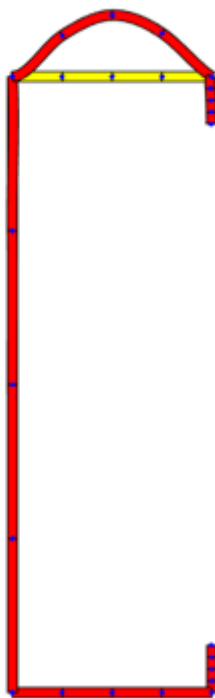
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 67 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75



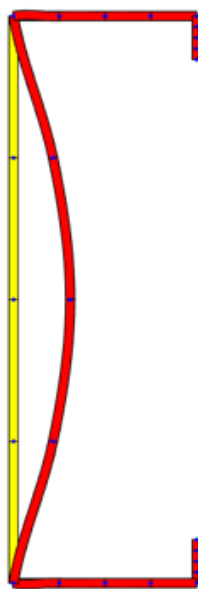
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 68 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.



Fonte: Elaboração Própria.

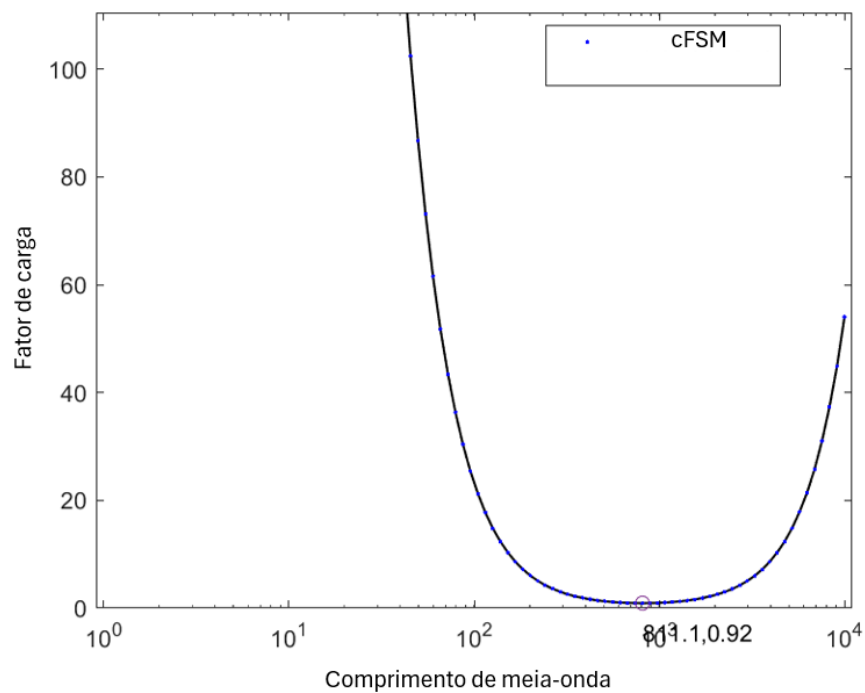
Figura 69 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 100 x 25 x 4,75.



Fonte: Elaboração Própria.

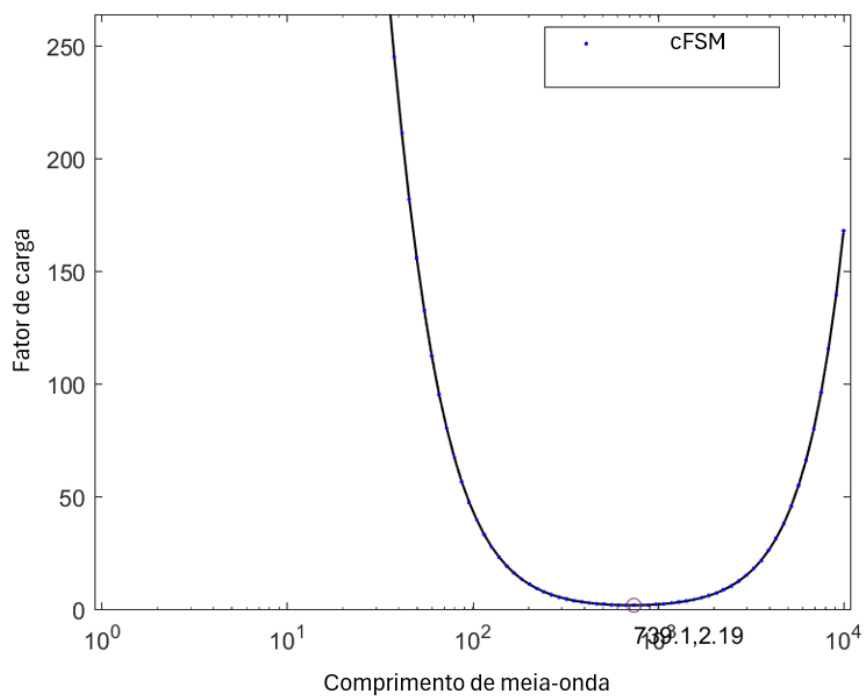
Perfil Ue 300 x 85 x 25 x 3,00

Figura 70 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.



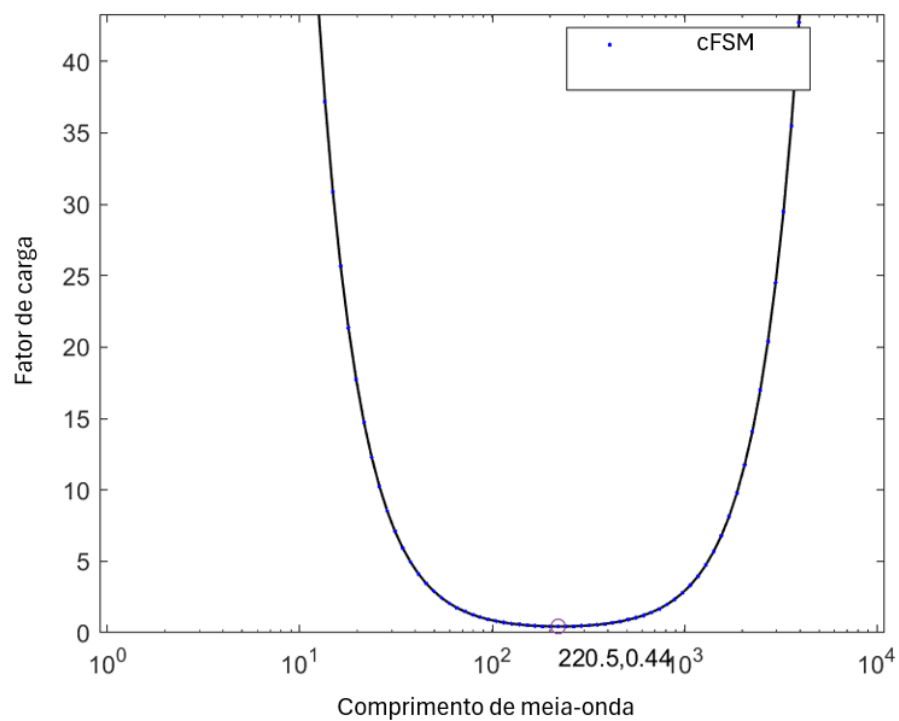
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 71 – Curva de assinatura – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.



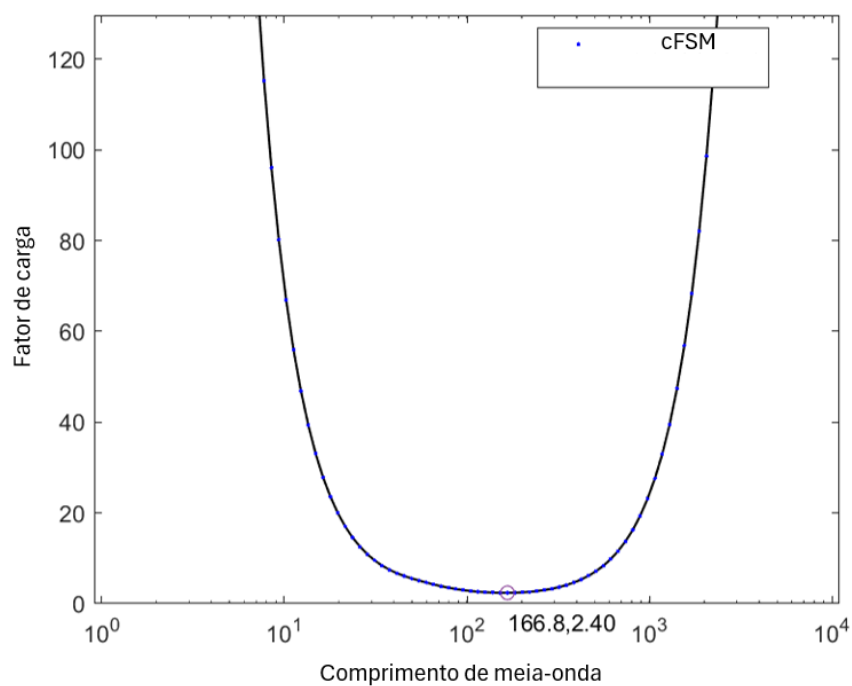
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 72 – Curva de assinatura – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.



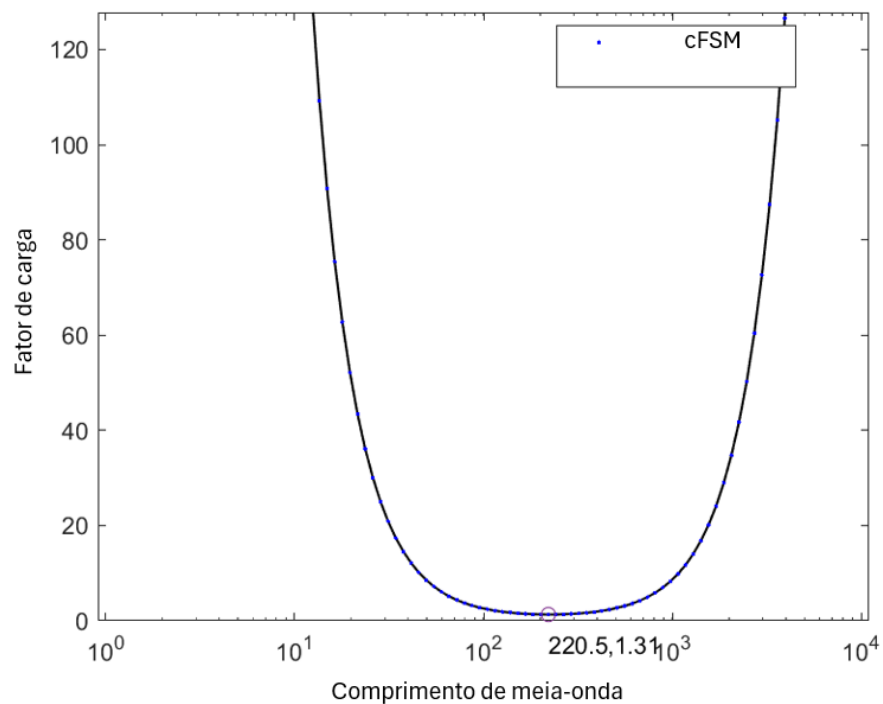
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 73 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.



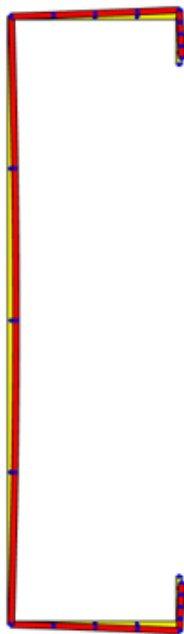
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 74 – Curva de assinatura – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.



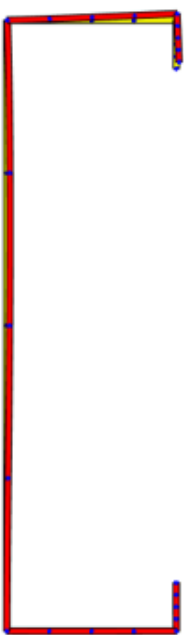
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 75 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.



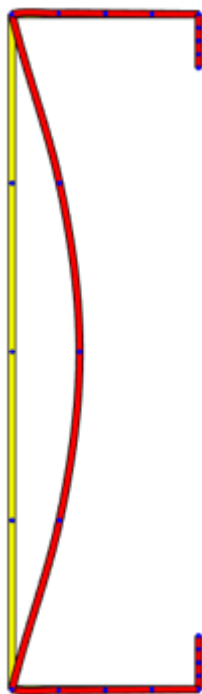
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 76 – Modo de flambagem – flambagem distorcional – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.



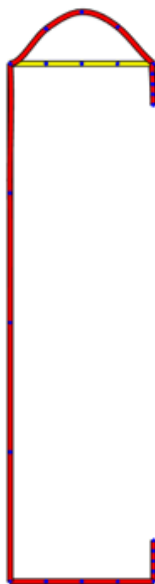
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 77 – Modo de flambagem – flambagem local – força axial de compressão – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 78 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 79 – Modo de flambagem – flambagem local – momento fletor em torno do eixo perpendicular ao de simetria – Ue 300 x 85 x 25 x 3,00.

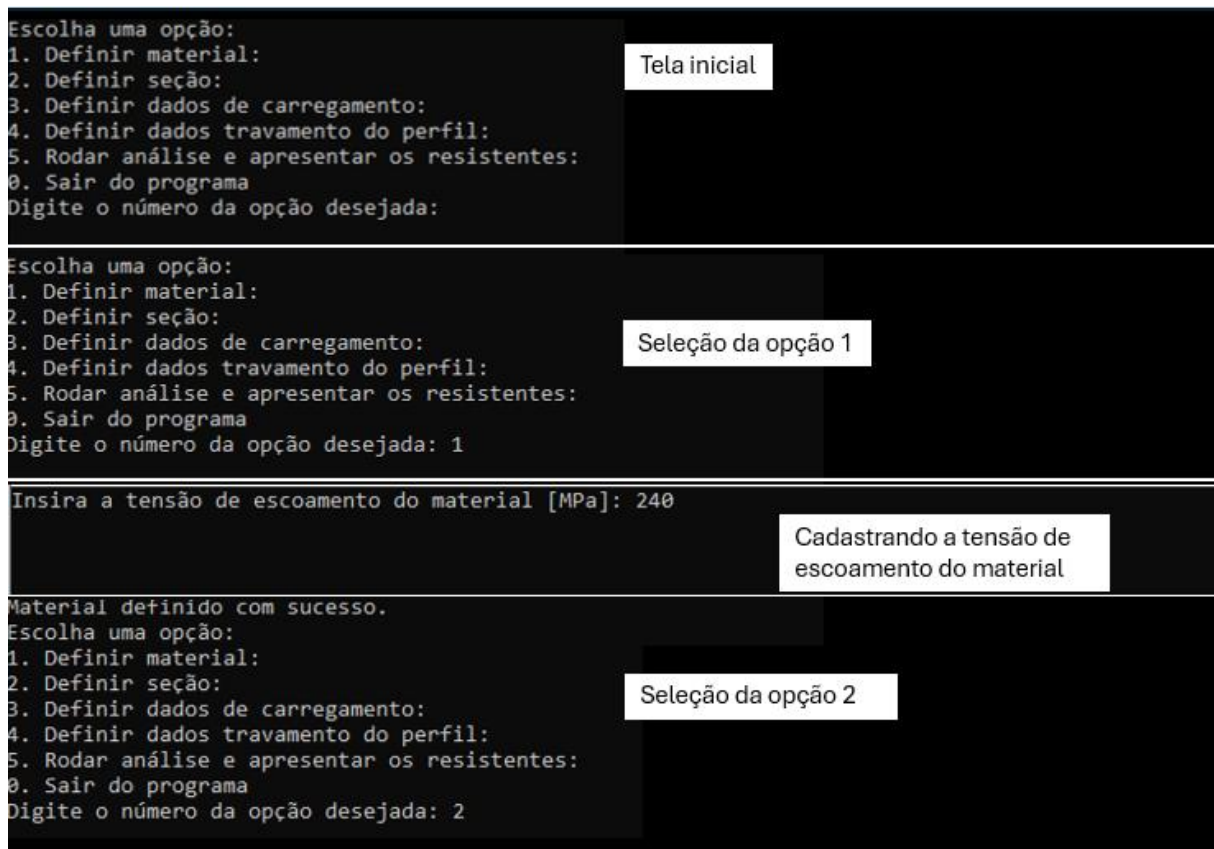


Fonte: Elaboração Própria.

APÊNDICE B – EXEMPLO DE PREENCHIMENTO

Abaixo é apresentado um exemplo de preenchimento da ferramenta elaborada neste trabalho, bem como os arquivos de saída. Para isso, resolveu-se o exemplo apresentado no item 5.4. Da Figura 80 até a Figura 83 são apresentadas as entradas de dados na ferramenta.

Figura 80 – Uso da ferramenta computacional (1/4).



```
Escolha uma opção:  
1. Definir material:  
2. Definir seção:  
3. Definir dados de carregamento:  
4. Definir dados travamento do perfil:  
5. Rodar análise e apresentar os resistentes:  
0. Sair do programa  
Digite o número da opção desejada:
```

Tela inicial

```
Escolha uma opção:  
1. Definir material:  
2. Definir seção:  
3. Definir dados de carregamento:  
4. Definir dados travamento do perfil:  
5. Rodar análise e apresentar os resistentes:  
0. Sair do programa  
Digite o número da opção desejada: 1
```

Seleção da opção 1

```
Insira a tensão de escoamento do material [MPa]: 240
```

Cadastrando a tensão de escoamento do material

```
Material definido com sucesso.  
Escolha uma opção:  
1. Definir material:  
2. Definir seção:  
3. Definir dados de carregamento:  
4. Definir dados travamento do perfil:  
5. Rodar análise e apresentar os resistentes:  
0. Sair do programa  
Digite o número da opção desejada: 2
```

Seleção da opção 2

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 81 – Uso da ferramenta computacional (2/4).

```

Insira a altura do perfil [mm]:300
Insira a largura da mesa do perfil [mm]:85
Insira o comprimento do enrijecedor de borda [mm]:25
Insira a espessura do perfil [mm]:3
Cadastrando as propriedades
da seção

Escolha uma opção:
1. Definir material:
2. Definir seção:
3. Definir dados de carregamento:
4. Definir dados travamento do perfil:
5. Rodar análise e apresentar os resistentes:
0. Sair do programa
Digite o número da opção desejada: 3
Seleção da opção 3
Cadastrando as forças e momentos
solicitantes de cálculo

Entre com o momento solicitante de calculo em relação ao eixo X [N.mm]:10002783
Entre com o momento solicitante de calculo em relação ao eixo Y [N.mm] - positivo comprime a alma, negativo a traciona:2549729
Entre com a axial solicitante de calculo [N] - Positivo tração, negativo compressão:-1765.197

Escolha uma opção:
1. Definir material:
2. Definir seção:
3. Definir dados de carregamento:
4. Definir dados travamento do perfil:
5. Rodar análise e apresentar os resiste
0. Sair do programa
Digite o número da opção desejada: 4
Seleção da opção 4

Entre com o comprimento efetivo de flambagem em X (KxLx) [mm]:10290
Entre com o comprimento efetivo de flambagem em Y (KyLy) [mm]:2572.5
Entre com o comprimento efetivo de flambagem em relação a torção (KzLz) [mm]:2572.5
Entre com o Cb:1.45
Cadastrando os
comprimentos de cálculo

```

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 82 – Uso da ferramenta computacional (3/4).

```

Escolha uma opção:
1. Definir material:
2. Definir seção:
3. Definir dados de carregamento:
4. Definir dados travamento do perfil:
5. Rodar análise e apresentar os resistentes:
0. Sair do programa
Digite o número da opção desejada: 5
Seleção da opção 5

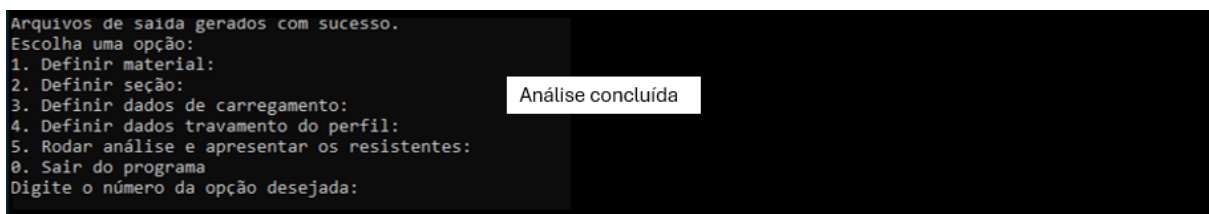
In normal_L (line 81)
In menu (line 57)
Warning: Ignoring issym field in the options structure since the first input is not a function handle.
> In eigs>checkIsSym (line 527)
In eigs>checkInputs (line 397)
In eigs (line 90)
In strip (line 286)
In normal_L (line 81)
In menu (line 57)
Warning: Ignoring issym field in the options structure since the first input is not a function handle.
> In eigs>checkIsSym (line 527)
In eigs>checkInputs (line 397)
In eigs (line 90)
In strip (line 286)
In normal_L (line 81)
In menu (line 57)
Warning: Ignoring issym field in the options structure since the first input is not a function handle.
> In eigs>checkIsSym (line 527)
In eigs>checkInputs (line 397)
In eigs (line 90)
In strip (line 286)
In normal_L (line 81)
In menu (line 57)

ymax =
43.3139

```

Fonte: Elaboração Própria.

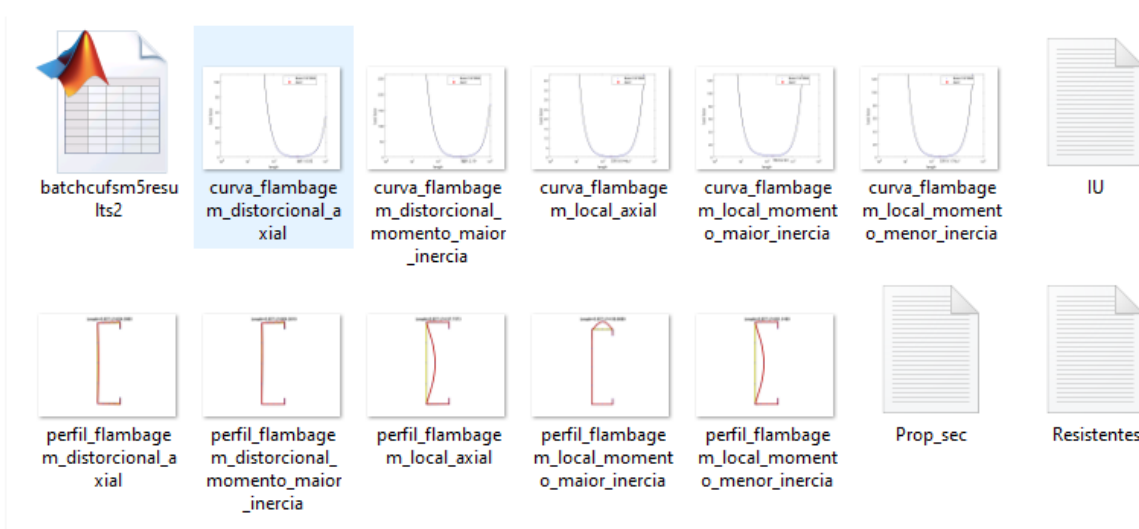
Figura 83 – Uso da ferramenta computacional (4/4).



Fonte: Elaboração Própria.

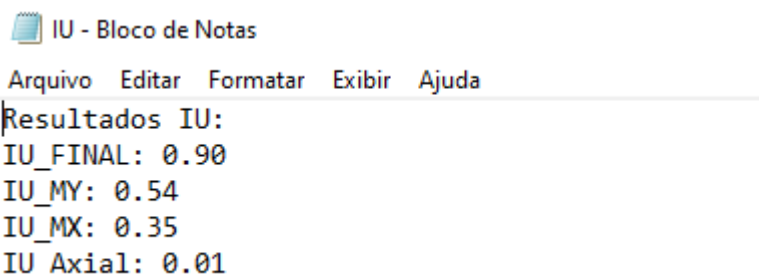
Com o uso da ferramenta, há a geração dos arquivos de saída. Os arquivos gerados estão apresentados na Figura 84. As curvas e modos de flambagem gerados já foram apresentadas da Figura 70 até a Figura 79 no APÊNDICE A. Os arquivos de texto gerados são apresentados da Figura 85 até a Figura 87.

Figura 84 – Arquivos de saída.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 85 – Arquivo de saída com Índice de Utilização (IU).



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 86 – Arquivo de saída com propriedades geométricas.

Prop_sec - Bloco de Notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

Propriedades das Seções:

Area bruta da seção transversal [mm²]: 1524.00
 Coordenada em X do centroide (a partir da origem) [mm]: 20.82
 Coordenada em Y do centroide (a partir da origem) [mm]: 148.50
 Momento de inércia na maior inércia [mm⁴]: 20042493.50
 Momento de inércia na menor inércia [mm⁴]: 1390028.17
 Momento principal de inércia na maior inércia [mm⁴]: 20042493.50
 Momento de inércia na menor inércia [mm⁴]: 1390028.17
 Constante de torção: 4572.00
 Coordenada X do centro de torção, (a partir da origem) [mm]: -34.81
 Coordenada Y do centro de torção, (a partir da origem) [mm]: 148.50
 Constante de empenamento [mm⁶]: 24422187292.26
 Raio de giração em X [mm]: 114.68
 Raio de giração em Y [mm]: 30.20
 Raio de giração polar [mm]: 130.99
 Centro de torção em relação ao centroide [mm]: 55.63
 Módulo elástico no eixo X [mm³]: 133616.62
 Módulo elástico no eixo Y [mm³]: 21659.23

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 87 – Arquivo de saída com os esforços resistentes.

Resistentes - Bloco de Notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

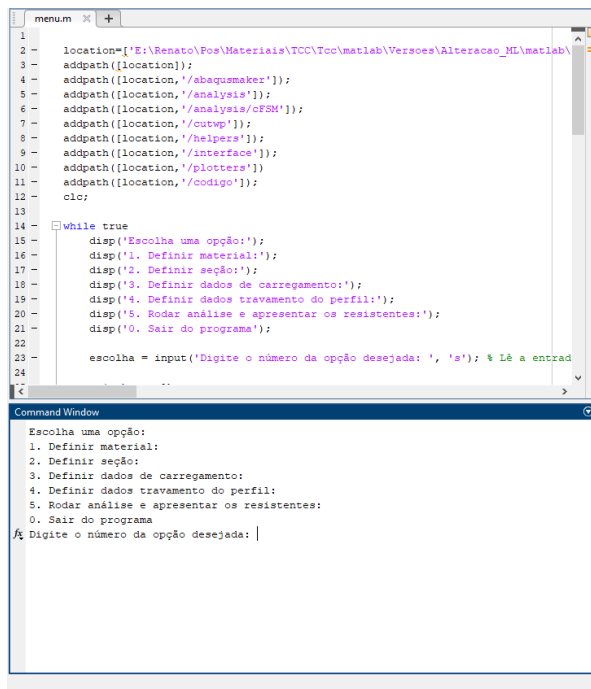
Resistentes:

Força axial de flambagem global elástica - menor inercia [N]: 414612.67
 Força axial de flambagem global elástica - maior inercia [N]: 373637.75
 Força axial de flambagem global elástica - torcao [N]: 445046.34
 Força axial de flambagem global elástica - flexo-torção[N]: 283680.76
 Força axial de flambagem global elástica [N]: 283680.76
 Valor característico da força axial de compressão resistente, associado a flambagem global [N]: 213220.13
 Força axial de flambagem local elástica [N]: 162318.54
 Força axial de flambagem distorcional elástica [N]: 337072.33
 Força axial tração de escoamento [N]: 365760.00
 Momento fletor de flambagem global elástica na maior inércia (flambagem lateral com torção) [N.mm]: 74757071.02
 Valor característico do momento fletor resistente, associado a flambagem global (maior inércia) [N.mm]: 31350651.52
 Momento fletor de flambagem local elástica na maior inércia [N.mm]: 77675616.98
 Momento fletor de flambagem distorcional elástica na maior inércia [N.mm]: 70821959.66
 Momento fletor de flambagem global elástica na menor inércia (flambagem lateral com torção) [N.mm]: 139732115.84
 Valor característico do momento fletor resistente, associado a flambagem global (menor inércia) [N.mm]: 5198215.87
 Momento fletor de flambagem local elástica na menor inércia [N.mm]: 7151484.55
 força axial compressiva resistente de calculo [N]: 137889.86
 força axial compressiva de flambagem global [N]: 213220.13
 força axial compressiva de flambagem local [N]: 165467.83
 força axial compressiva de flambagem distorcional [N]: 265364.35
 Mrex/1.1; MRlx/1.1; MRdistx/1.1:
 28500592.29
 28500592.29
 29152717.82
 Mrey; MRly:
 5198215.87
 5198215.87

Fonte: Elaboração Própria.

O mesmo exemplo é apresentado preenchido na interface gráfica MATLAB, da Figura 88 até a Figura 92.

Figura 88 – Preenchimento do exemplo (1/5).



```

1 location='E:\Renato\Pos\Materiais\TCC\Tcc\matlab\Versoes\Alteracao_ML\matlab\
2
3 addpath(location);
4 addpath(location,'abaquemaker');
5 addpath(location,'analysis');
6 addpath(location,'analysis/cfsm');
7 addpath(location,'cutwp');
8 addpath(location,'helpers');
9 addpath(location,'interface');
10 addpath(location,'plotters');
11 addpath(location,'codigo');
12
13
14 while true
15     disp('Escolha uma opção:');
16     disp('1. Definir material:');
17     disp('2. Definir seção:');
18     disp('3. Definir dados de carregamento:');
19     disp('4. Definir dados travamento do perfil:');
20     disp('5. Rodar análise e apresentar os resistentes:');
21     disp('0. Sair do programa:');
22
23     escolha = input('Digite o número da opção desejada: ', 's'); % Lê a entrad
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```

Command Window

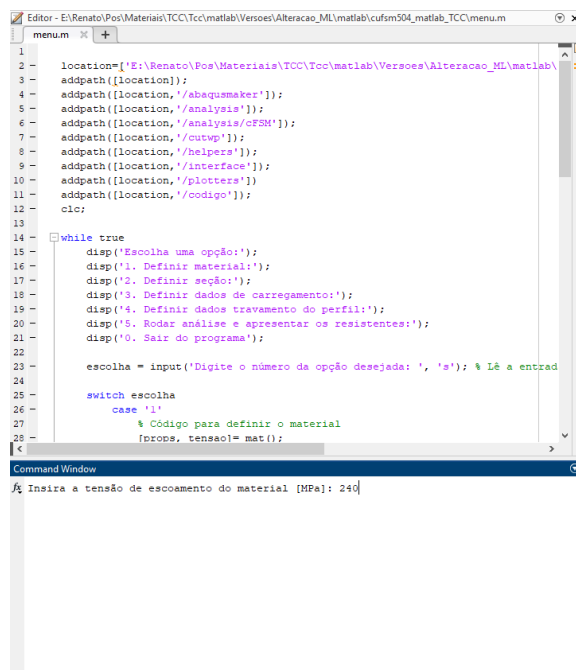
```

Escolha uma opção:
1. Definir material:
2. Definir seção:
3. Definir dados de carregamento:
4. Definir dados travamento do perfil:
5. Rodar análise e apresentar os resistentes:
0. Sair do programa
Digite o número da opção desejada: |

```

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 89 – Preenchimento do exemplo (2/5).



```

1 location='E:\Renato\Pos\Materiais\TCC\Tcc\matlab\Versoes\Alteracao_ML\matlab\
2
3 addpath(location);
4 addpath(location,'abaquemaker');
5 addpath(location,'analysis');
6 addpath(location,'analysis/cfsm');
7 addpath(location,'cutwp');
8 addpath(location,'helpers');
9 addpath(location,'interface');
10 addpath(location,'plotters');
11 addpath(location,'codigo');
12
13
14 while true
15     disp('Escolha uma opção:');
16     disp('1. Definir material:');
17     disp('2. Definir seção:');
18     disp('3. Definir dados de carregamento:');
19     disp('4. Definir dados travamento do perfil:');
20     disp('5. Rodar análise e apresentar os resistentes:');
21     disp('0. Sair do programa:');
22
23     escolha = input('Digite o número da opção desejada: ', 's'); % Lê a entrad
24
25     switch escolha
26     case '1'
27         % Código para definir o material
28         [props, tensao] = mat();
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```

Command Window

```

Inserir a tensão de escoamento do material [MPa]: 240

```

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 90 – Preenchimento do exemplo (3/5).

The screenshot shows a MATLAB script in the editor window titled 'menu.m'. The script defines a location path, adds several subdirectories to the path, and enters a 'while true' loop. Inside the loop, it displays a menu of options (1-5) and an option to exit (0). It prompts the user to enter a choice. A 'switch' statement handles the input, with a 'case 1' that calls a function 'proprio_tensao' with a material code. The Command Window below shows the execution output: 'Insira a altura do perfil [mm]:300', 'Insira a largura da mesa do perfil [mm]:85', 'Insira o comprimento do enrijecedor de borda [mm]:25', and 'Insira a espessura do perfil [mm]:3'.

```

1 location='E:\Renato\Pos\Materiais\TCC\Tcc\matlab\Versoes\Alteracao_ML\matlab\
2 addpath(location);
3 addpath(location,'/abaquasmaker');
4 addpath(location,'/analysis');
5 addpath(location,'/analysis/cFSM');
6 addpath(location,'/cutwp');
7 addpath(location,'/helpers');
8 addpath(location,'/interface');
9 addpath(location,'/plotters');
10 addpath(location,'/codigo');
11
12 clc;
13
14 while true
15     disp('Escolha uma opção:');
16     disp('1. Definir material:');
17     disp('2. Definir seção:');
18     disp('3. Definir dados de carregamento:');
19     disp('4. Definir dados travamento do perfil:');
20     disp('5. Rodar análise e apresentar os resultados:');
21     disp('0. Sair do programa:');
22
23     escolha = input('Digite o número da opção desejada: ', 's'); % Lê a entrada
24
25     switch escolha
26     case '1'
27         % Código para definir o material
28         [props, tensao] = mat();

```

Command Window

```

Insira a altura do perfil [mm]:300
Insira a largura da mesa do perfil [mm]:85
Insira o comprimento do enrijecedor de borda [mm]:25
Insira a espessura do perfil [mm]:3

```

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 91 – Preenchimento do exemplo (4/5).

The screenshot shows the same MATLAB script as in Figure 90. The Command Window now shows the output of the 'mat()' function: 'M o momento solicitante de calculo em relação ao eixo X [N.mm]:10002783', 'M o momento solicitante de calculo em relação ao eixo Y [N.mm] - positivo comprime e al', and 'M a axial solicitante de calculo [N] - Positivo tração, negativo compressão:-1765.197'.

```

1 location='E:\Renato\Pos\Materiais\TCC\Tcc\matlab\Versoes\Alteracao_ML\matlab\
2 addpath(location);
3 addpath(location,'/abaquasmaker');
4 addpath(location,'/analysis');
5 addpath(location,'/analysis/cFSM');
6 addpath(location,'/cutwp');
7 addpath(location,'/helpers');
8 addpath(location,'/interface');
9 addpath(location,'/plotters');
10 addpath(location,'/codigo');
11
12 clc;
13
14 while true
15     disp('Escolha uma opção:');
16     disp('1. Definir material:');
17     disp('2. Definir seção:');
18     disp('3. Definir dados de carregamento:');
19     disp('4. Definir dados travamento do perfil:');
20     disp('5. Rodar análise e apresentar os resultados:');
21     disp('0. Sair do programa:');
22
23     escolha = input('Digite o número da opção desejada: ', 's'); % Lê a entrada
24
25     switch escolha
26     case '1'
27         % Código para definir o material
28         [props, tensao] = mat();

```

Command Window

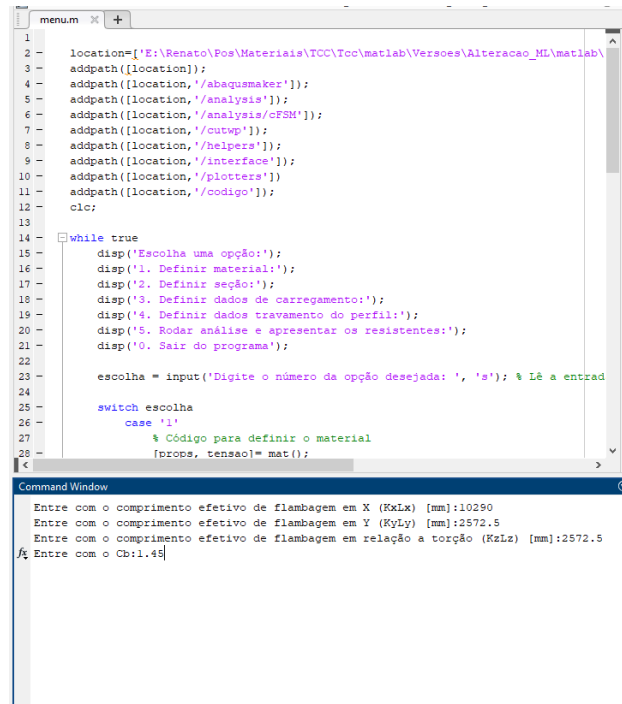
```

M o momento solicitante de calculo em relação ao eixo X [N.mm]:10002783
M o momento solicitante de calculo em relação ao eixo Y [N.mm] - positivo comprime e al
M a axial solicitante de calculo [N] - Positivo tração, negativo compressão:-1765.197

```

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 92 – Preenchimento do exemplo (5/5).



```
1 location=['E:\Renato\Pes\Materiais\TCC\Tcc\matlab\Versoes\Alteracao_ML\matlab\
2
3 addpath([location]);
4 addpath([location, '/abaqusmaker']);
5 addpath([location, '/analysis']);
6 addpath([location, '/analysis/cFSM']);
7 addpath([location, '/cutwp']);
8 addpath([location, '/helpers']);
9 addpath([location, '/interface']);
10 addpath([location, '/plotters']);
11 addpath([location, '/codigo']);
12
13
14 while true
15     disp('Escolha uma opção:');
16     disp('1. Definir material:');
17     disp('2. Definir seção:');
18     disp('3. Definir dados de carregamento:');
19     disp('4. Definir dados travamento do perfil:');
20     disp('5. Rodar análise e apresentar os resultados:');
21     disp('0. Sair do programa:');
22
23     escolha = input('Digite o número da opção desejada: ', 's'); % Lê a entrada
24
25     switch escolha
26     case '1'
27         % Código para definir o material
28         [props, tensao]= mat();
```

Command Window

```
Entre com o comprimento efetivo de flambagem em X (KxLx) [mm]:10290
Entre com o comprimento efetivo de flambagem em Y (KyLy) [mm]:2572.5
Entre com o comprimento efetivo de flambagem em relação a torção (KzLz) [mm]:2572.5
f Entre com o Cb:1.45
```

Fonte: Elaboração Própria.