



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



GUILHERME HENRIQUE DOS SANTOS RAMOS

**ANÁLISE NUMÉRICA DA INTERAÇÃO DISTORCIONAL-
GLOBAL EM VIGAS DE PERFIS FORMADOS A FRIO DO
TIPO CARTOLA SUBMETIDOS A FLEXÃO NÃO-
UNIFORME**

Uberlândia, (2023)

GUILHERME HENRIQUE DOS SANTOS RAMOS

**ANÁLISE NUMÉRICA DA INTERAÇÃO DISTORCIONAL-
GLOBAL EM VIGAS DE PERFIS FORMADOS A FRIO DO
TIPO CARTOLA SUBMETIDOS A FLEXÃO NÃO-
UNIFORME**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil,
Estruturas e Geotecnia

Orientador: Prof. Dr. Gregório Sandro Vieira

Uberlândia, (2023)

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

R175 Ramos, Guilherme Henrique dos Santos, 1996-
2024 Análise numérica da interação distorcional-global em
vigas de perfis formados a frio do tipo cartola
submetidos a flexão não-uniforme [recurso eletrônico] /
Guilherme Henrique dos Santos Ramos. - 2024.

Orientador: Gregório Sandro Vieira.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia Civil.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.106>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Engenharia civil. I. Vieira, Gregório Sandro, 1981-
, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 624

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Civil				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 300, PPGEC				
Data:	02 de fevereiro de 2024	Hora de início:	14:02 h	Hora de encerramento:	15:28 h
Matrícula do Discente:	12212ECV002				
Nome do Discente:	Guilherme Henrique dos Santos Ramos				
Título do Trabalho:	Análise numérica da interação distorcional-global em vigas de perfis formados a frio do tipo cartola submetidos a flexão não-uniforme				
Área de concentração:	Construção Civil, Estruturas e Geotecnia				
Linha de pesquisa:	Estruturas				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Estudo do comportamento de elementos estruturais em aço e mistos aço-concreto				

Reuniu-se, em sessão pública por webconferência no endereço <https://conferenciaweb.rnp.br/sala/guilherme-henrique-dos-santos-ramos>, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, assim composta pelos Professores Doutores: Guilherme Santana Alencar - UnB, Ramon Saleno Yure Rubim Costa Silva - UnB e Gregório Sandro Vieira, orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Gregório Sandro Vieira, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Gregorio Sandro Vieira, Presidente**, em 02/02/2024, às 15:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **RAMON SALENO YURE RUBIM COSTA SILVA, Usuário Externo**, em 02/02/2024, às 16:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Santana Alencar, Usuário Externo**, em 09/02/2024, às 16:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5097334** e o código CRC **9E5F2FD6**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar saúde, sabedoria e força para enfrentar todas as dificuldades durante o caminho.

Aos meus pais, irmão e namorada por ter me dado todo amor, incentivo e suporte incondicional.

A minha tia, prima e avó por ter me acolhido e dado todo suporte nesta jornada.

Ao meu orientador Gregório pela atenção e orientações que contribuíram bastante na minha evolução durante todo o processo.

Aos meus colegas acadêmicos Carla e Lucas por todo auxílio.

A Universidade Federal de Uberlândia e aos professores que proporcionaram esse momento.

A banca examinadora que se dispuseram a leitura este trabalho.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.”

(Robert Collier)

RESUMO

Os perfis formados a frio são elementos muito esbeltos que possuem seções de paredes finas. Isso faz com que estejam sujeitos a atuação do fenômeno de flambagem podendo ser local, distorcional, global e/ou suas interações, que ocorre quando a estrutura demonstra que está tendo falha antes que o material atinja sua resistência última. Deste modo, surge a necessidade de compreender estes fenômenos, a fim de serem previstos no dimensionamento e incorporados às normas mais atuais. Portanto, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo numérico em vigas submetidas à flexão não-uniforme, tendo como seção transversal o perfil cartola, visando a interação distorcional-global em seus eixos de maior e menor inércia. Por meio do programa computacional GBTUL, foram identificadas as geometrias de modo que ocorresse a interação distorcional-global, tendo participação modal maior que 95% momento crítico local distante do momento crítico distorcional e global. No programa computacional ABAQUS, que utiliza o método dos elementos finitos, foram realizadas as análises de flambagem e pós-flambagem. Nestas análises, obtiveram-se valores, que incluem as trajetórias de equilíbrio dos elementos, momentos resistentes, configuração da deformação e mecanismos de colapso, e estes valores apresentaram que a curva de dimensionamento do Método da Resistência direta não prevê de forma adequada a resistência das estruturas. Deste modo, foram feitos ajustes nas equações para prever de forma adequada a capacidade resistentes dos elementos.

Palavras-chave: Perfil formado a frio - Interação distorcional-global - Flambagem - Análise numérica - flexão não-uniforme.

ABSTRACT

Cold-formed sections are very slender elements with thin-walled sections. This makes them subject to the phenomenon of buckling, which can be local, distortional, global and/or their interactions, which occurs when the structure shows that it is failing before the material reaches its ultimate strength. Thus, there is a need to understand these events to predict them in design and incorporate them into the latest standards. Therefore, the aim of this work is to conduct a numerical study of beams subjected to non-uniform bending, with a top hat profile as the cross-section, with a view to distortional-global interaction in their axes of greatest and least inertia. Using the GBTUL computer program, the geometries were identified so that the distortional-global interaction occurred, with modal participation greater than 95% local critical moment far from the distortional and global critical moment. In the ABAQUS computer program, which uses the finite element method, the buckling and post-buckling analyses were conducted. In these analyses, values were obtained which include the equilibrium trajectories of the elements, resisting moments, deformation configuration and collapse mechanisms, and these values showed that the design curve of the Direct Resistance Method does not adequately predict the resistance of the structures. Adjustments were therefore made to the equations to adequately predict the resistance capacity of the elements.

Keywords: Cold-formed steel - Distortional-global interaction - Buckling - Numerical analysis - non-uniform bending.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Construção de uma edificação utilizando perfis formados a frio.	14
Figura 2 - Bobina utilizada para confeccionar os perfis formados a frio.	15
Figura 3 - Equipamentos usados para fabricar os PFF: (a) prensa dobradeira e (b) perfiladeira.	15
Figura 4 - Bobina utilizada para confeccionar os perfis formados a frio.	16
Figura 5 - Bobina utilizada para confeccionar os perfis formados a frio.	19
Figura 6 - Curva de assinatura do perfil cartola 127x60x10x3(mm) submetido a flexão uniforme em seu eixo de maior inércia, com flexão e empenamento livres e torção impedida.	21
Figura 7 - Discretização da malha com diferentes refinamentos no software ABAQUS. (a) malha 2,5x2,5 mm, (b) malha 5,0x5,0 mm e (c) malha 7,5x7,5 mm.	22
Figura 8 - Gradientes de momentos (Ψ) e seus respectivos diagramas.	27
Figura 9 - Gradientes de momentos (Ψ) e seus respectivos diagramas.	28
Figura 10 - Componentes da seção transversal do perfil cartola.	29
Figura 11 - Curva de assinatura ($M_{cr} \times L$) com diferentes valores de gradientes (Ψ) para seção V_{M1} na condição de apoio SCA.	36
Figura 12 - Curva de assinatura ($M_{cr} \times L$) com diferentes valores de gradientes (Ψ) para seção V_{M1} na condição de apoio SCB.	36
Figura 13 - Curva de assinatura ($M_{cr} \times L$) com diferentes valores de gradientes (Ψ) para seção V_{m1} na condição de apoio SCA.	37
Figura 14 - Curva de assinatura ($M_{cr} \times L$) com diferentes valores de gradientes (Ψ) para seção V_{m1} na condição de apoio SCB.	37
Figura 15 – $M_u/M_{u(2,5)} \times DME$	40
Figura 16 - Condições de apoio: (a) SCA e (b) SCB.	42
Figura 17 - Força produzida por equivalência de momento em carga concentrada ($\Psi = 1$). ...	42
Figura 18 - Força produzida por aplicação de momentos sobre as placas rígidas ($\Psi = 1$).	43
Figura 19 - Força produzida por aplicação de momentos sobre as placas rígidas ($\Psi = 1$).	48
Figura 20 – Comparativo das trajetórias de equilíbrio de pós-flambagem para viga V1 e condição de apoio SCA.	49
Figura 21 – Comparativo das trajetórias de equilíbrio de pós-flambagem para viga V1 e condição de apoio SCB.	50
Figura 22 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{crD} \times \lambda_{dist}$	52

Figura 23 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_y \times \lambda_{dist}$	53
Figura 24 - Comparação de momentos resistentes do MRD e de modelos numéricos ($\Psi = 1$).	54
Figura 25 - Comparação de momentos resistentes do MRD e de modelos numéricos ($\Psi = 0$).	55
Figura 26 - Comparação de momentos resistentes do MRD e de modelos numéricos ($\Psi = -1$).	55
Figura 27 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{Rdist-Martins} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = 1$).	56
Figura 28 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{Rdist-Martins} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = 0$).	57
Figura 29 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{Rdist-Martins} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = -1$).	57
Figura 30 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{nd-AISI} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = 1$).	58
Figura 31 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{nd-AISI} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = 0$).	59
Figura 32 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{nd-AISI} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = -1$).	59
Figura 33 – Comparativo da nuvem de pontos para a relação M_u/M_{Rdist} ajustada ($\Psi = 1$).	61
Figura 34 – Comparativo da nuvem de pontos para a relação M_u/M_{Rdist} ajustada ($\Psi = 0$).	62
Figura 35 – Comparativo da nuvem de pontos para a relação M_u/M_{Rdist} ajustada ($\Psi = -1$).	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características geométricas das vigas selecionadas.	29
Tabela 2. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = 1$ para condição de apoio SCA.	30
Tabela 3. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = 0$ para condição de apoio SCA.	31
Tabela 4. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = -1$ para condição de apoio SCA.	32
Tabela 5. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = 1$ para condição de apoio SCB.	33
Tabela 6. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = 0$ para condição de apoio SCB.	34
Tabela 7. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = -1$ para condição de apoio SCB.	35
Tabela 8. Valores dos momentos resistentes para diferentes dimensões de malhas.	40
Tabela 9. Índices de esbeltez adotados.	41
Tabela 10. Relação M_{crDG} e M_{Abq} para a condição de apoio SCA.	45
Tabela 11. Relação M_{crDG} e M_{Abq} para a condição de apoio SCB.	46
Tabela 12. Comparação dos resultados reportados de Depolli (2018) com os obtidos pelo MEF – viga C2 (SCA).	47
Tabela 13. Comparação dos resultados reportados de Depolli (2018) com os obtidos pelo MEF – viga C2 (SCB).	47
Tabela 14. Valores dos parâmetros “m”, “n” e “o” utilizados para calcular as constantes “a”, “b” e “c”.	61

LISTA DE SÍMBOLOS

A	- Área bruta da seção transversal
b_f	- Comprimento da mesa
b_l	- Comprimento do enrijecedor
b_w	- Comprimento da alma
E	- Módulo de elasticidade do aço
f_y	- Tensão de escoamento do aço
V_M	- Viga do tipo cartola submetida à flexão em torno do eixo de maior inércia
V_m	- Viga do tipo cartola submetida à flexão em torno do eixo de menor inércia
L	- Comprimento
L_{DG}	- Comprimento crítico de flambagem distorcional-global
M_{Abq}	- Momento de flambagem elástico obtido pelo ABAQUS
M_{cr}	- Momento crítico de flambagem
M_{crD}	- Momento crítico de flambagem distorcional
M_{crG}	- Momento crítico de flambagem global
M_{crL}	- Momento crítico de flambagem local
$M_{cr,max}$	- Momento crítico máximo entre a flambagem distorcional e global
M_{dist}	- Momento fletor de flambagem distorcional elástica
M_e	- Momento fletor de flambagem global elástica
M_l	- Momento fletor de flambagem local elástica
M_{Re}	- Momento fletor resistente associado a flambagem global
M_{Rl}	- Momento fletor resistente associado a flambagem local
M_{Rdist}	- Momento fletor resistente associado a flambagem distorcional
$M_1; M_2$	- Momentos de extremidade
P_D	- Participação modal distorcional
P_G	- Participação modal global
P_L	- Participação modal local
R_{GD}	- Relação resistência pós-crítica entre M_{crG}/M_{crD}
R_{LD}	- Relação resistência pós-crítica entre M_{crL}/M_{crD}
R_{LG}	- Relação resistência pós-crítica entre M_{crL}/M_{crG}
R_y	- Momento de escoamento para flambagem não crítica (distorcional ou global)
t	- Espessura

S/W - *Módulo de resistência elástico*
 Z - *Módulo de resistência plástico*

Letras Gregas

λ_{dist} - *Índice de esbeltez distorcional reduzido*
 λ_0 - *Índice de esbeltez global reduzido*
 λ_1 - *Índice de esbeltez local reduzido*
 ν - *Coefficiente de Poisson do aço*
 Ψ - *Gradiente de Momento*
 σ_{vM} - *Tensão de Von Mises*

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	- American Iron and Steel Institute
AS/NZS	- Australian / New Zealand Standards
DG	- Distorcióna-global
GBT	- Teoria da Viga Generalizada / Generalized Beam Theory
MAE	- Método da Área Efetiva
MEF	- Método dos Elementos Finitos
MFF	- Método das Faixas Finitas
MLE	- Método da Largura Efetiva
MRD	- Método da Resistência Direta
MSE	- Método da Seção Efetiva
PPF	- Perfil Formado a Frio
SCA	- Condição de apoio A
SCB	- Condição de apoio B

SUMÁRIO

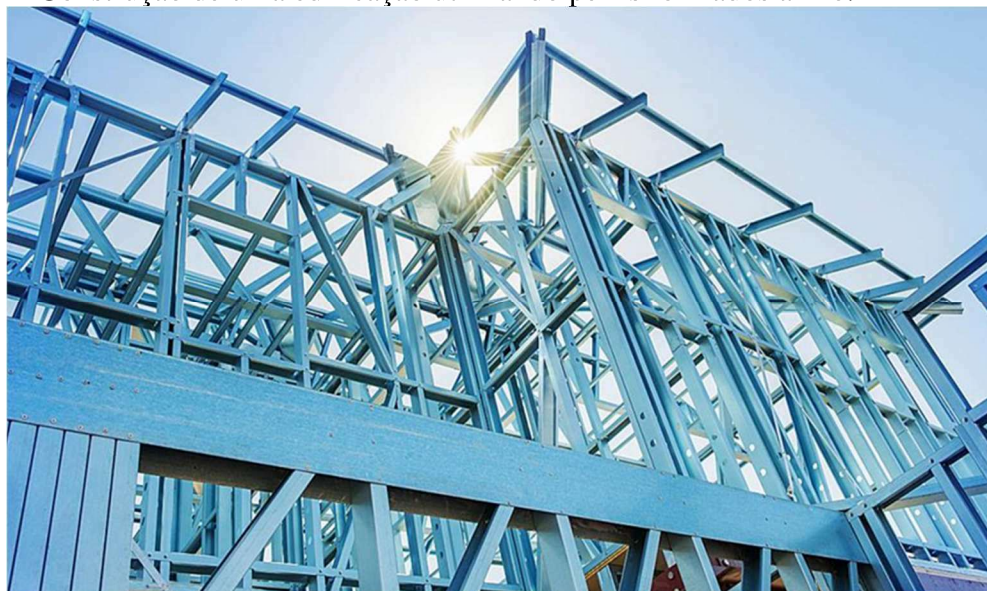
1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	17
1.2	JUSTIFICATIVA	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	CONTEXTO HISTÓRICO	18
2.2	MODOS DE FLAMBAGEM.....	19
2.3	TEORIA GENERALIZADA DE VIGAS (GBT)	20
2.4	MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)	21
2.5	MÉTODO DA RESISTÊNCIA DIRETA (MRD)	22
2.6	ESTUDOS FEITOS SOBRE INTERAÇÃO DISTORCIONAL-GLOBAL	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
4	ANÁLISE DE FLAMBAGEM ELÁSTICA	26
4.1	SELEÇÃO DE VIGAS E DADOS UTILIZADOS.....	26
5	ANÁLISE DE PÓS-FLAMBAGEM.....	40
5.1	MODELO NUMÉRICO EM ELEMENTOS FINITOS.....	40
5.1.1	<i>Validação do modelo numérico.....</i>	<i>44</i>
5.2	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PÓS-FLAMBAGEM ELASTO- PLÁSTICA	48
5.3	MOMENTO RESISTENTE	51
5.4	MOMENTO RESISTENTE POR MEIO DO MRD	53
5.5	AJUSTES NAS CURVAS DE DIMENSIONAMENTOS	60
6	CONCLUSÕES.....	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	APÊNDICE A - FÓRMULAS EMPÍRICAS DO CÁLCULO DAS TENSÕES.....	70

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a indústria da construção civil tem-se mantido em constante evolução. Isto tem impulsionado o desenvolvimento de novas tecnologias que procuram por materiais com menores custos, grande controle de qualidade e versatilidade. Desta forma, a utilização dos perfis formados a frio (PFF) surge da necessidade de buscar novos materiais e concepções estruturais, que proporcionem executar obras de forma rápida, com materiais mais leves, maior simplicidade em seu processo fabricação, manuseio, transporte e até em sua etapa de montagem.

Deste modo, o uso de elementos estruturais em perfis de aço formados a frio vem ganhando destaque nas construções, principalmente na área industrial por atender todos os critérios mencionados acima e ainda possuir a propriedade de ter alta eficiência estrutural. Sendo assim, os PFF podem ser empregados em estruturas de edificações, galpões, mezaninos, lajes, coberturas, formas para concreto, barreiras de proteção, estruturas de paredes de gesso (drywall), entre várias outras, devido a ser possível criar peças com diferentes geometrias em sua etapa de produção. A Figura 1 ilustra um exemplo do uso de perfis formados a frio na estrutura de uma edificação.

Figura 1 - Construção de uma edificação utilizando perfis formados a frio.



Fonte: Metallux¹.

Os perfis formados a frio (PFF) são obtidos por dobramentos em prensa dobradeira/viradeiras (a largura da prensa limita a largura máxima do perfil), que utilizam tiras cortadas de chapas/bobinas (as espessuras podem variar de 0,4 mm a 8 mm) ou por conformação contínua
¹Acessado em 03 de outubro de 2022 (<https://metalluxbelem.com.br/steel-frame-tudo-que-voce-precisa-saber/>)

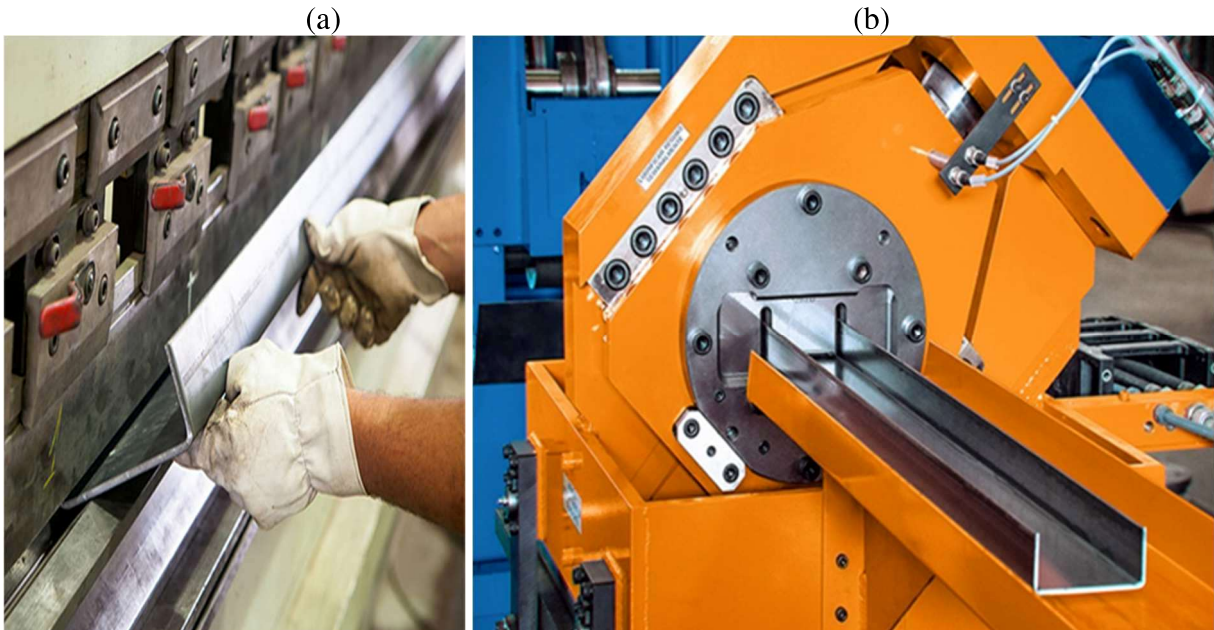
em conjunto de matrizes rotativas, a partir de bobinas laminadas a frio ou a quente, podendo serem revestidas ou não, sendo ambas as operações realizadas com o aço em temperatura ambiente, conforme ilustrados nas Figura 2 e Figura 3.

Figura 2 - Bobina utilizada para confeccionar os perfis formados a frio.



Fonte: Hyundai Steel².

Figura 3 - Equipamentos usados para fabricar os PFF: (a) prensa dobradeira e (b) perfiladeira.



Fonte: (a) Metafer³ e (b) Zikeli Indústria Mecânica⁴.

Quando a produção é feita por prensas dobradeiras/viradeiras, gera-se maior flexibilidade na produção de variados perfis, baixos custos, baixas tensões residuais, mas, faz com que a sua

²Acessado em 05 de outubro de 2022 (<https://hyundai-steel.com.br/slitter-line>)

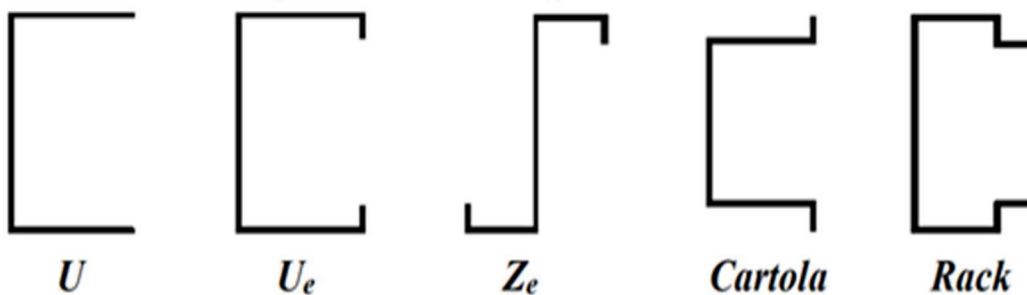
³Acessado em 06 de outubro de 2022 (<https://www.acosmetafer.com.br/corte-e-dobra-de-perfil>)

⁴Acessado em 06 de outubro de 2022 (<http://www.zikeli.com.br/portfolio/perfiladeira-perflex>)

produção seja reduzida, além de limitar o comprimento em 6 metros. Quando se trata de perfiladeiras, obtém-se maior produtividade, visto que o processo é industrializado, possibilitando criar perfis com comprimentos ilimitados. Porém, trata-se de um método com pouca flexibilidade em relação a criação de diferentes seções. Isso acontece porque cada perfil precisa de um conjunto de “trens” de perfilações diferentes, e, como esse processo é contínuo, a peça passa por vários “trens” de cilindros até chegar ao formato final, gerando também maiores tensões residuais.

Estes elementos possuem uma vasta gama de tipos de seções transversais, sendo necessário utilizar equipamentos adequados para sua confecção. Para isso, torna-se fundamental seguir as diretrizes contidas na ABNT NBR 6355:2012. A Figura 4 apresenta alguns tipos de seções transversais existentes que são utilizadas em estruturas de PFF seguido da sua nomenclatura, conforme norma.

Figura 4 - Bobina utilizada para confeccionar os perfis formados a frio.



Fonte: Lima (2018).

Como os PFF são fabricados a partir de chapas finas dobradas, faz com que estejam mais suscetíveis a ocorrência da flambagem Local (L), Distorcional (D) e Global (G). Para isso, é importante saber quais são os modos de atuação no elemento e sua força crítica. Estes valores podem ser determinados através do uso de programas computacionais ou procedimentos normativos contidos na norma brasileira ABNT NBR 14762:2010 e nas normas internacionais AISI S100-16 e AS/NZS 4600:2018. Os procedimentos computacionais se baseiam em métodos numéricos como o Método dos Elementos Finitos (MEF), Método das Faixas Finitas (MFF) e Teoria Generalizada de Vigas (GBT - Generalized Beam Theory). Já em relação aos procedimentos normativos, é previsto o Método da Resistência Direta (MRD), Método da Largura Efetiva (MLE) e Método da Seção Efetiva (MSE).

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo analisar a interação entre os modos de flambagem distorcional-global em vigas de perfis de aço formados a frio do tipo cartola, submetidas a flexão-não uniforme em seus eixos de maior e menor inércia. Mediante isto os objetivos específicos são:

- Realizar análises dos comportamentos das vigas em suas etapas de flambagem elástica como auxílio do programa computacional GBTUL, que utiliza a Teoria Generalizada de Vigas (BEBIANO et al., 2010);
- Realizar análises dos comportamentos das vigas em suas etapas de pós-flambagem, variando seus índices de esbeltez, com o auxílio do programa computacional ABAQUS (2020) que utiliza o Método dos Elementos Finitos;
- Verificar a eficiência do método da resistência direta (MRD) para a estimativa de esforços resistentes do perfil cartola e propor ajustes.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como os PFF estão suscetíveis a ocorrência de flambagens, devido a serem elementos dobrados de chapas finas, torna-se fundamental sempre ao realizar o dimensionamento, considerar estes fatores, uma vez que, toda e qualquer estrutura deve, ser projetada e executada a fim de ser resistente, segura e econômica.

Ao realizar pesquisas em outras bibliografias, observa-se que a maioria dos estudos já realizados tem foco em perfis Ue (U enrijecidos), e que os feitos em perfis cartola tratam sobre flambagem simples ou sobre estudos experimentais em vigas submetidas à flexão uniforme.

Em relação ao caso particular da análise da interação entres os modos de flambagens distorcional-global, em vigas de PFF do tipo cartola, tendo como consideração a flexão não-uniforme em seus eixos de maior e menor inércia, é visto que existe uma ausência de formulações nas normas a serem seguidas e existem poucos estudos que relacionam com este tema. Portanto, o motivo da presente pesquisa, surgiu com a necessidade estudar e entender de forma profunda o desempenho estrutural quando se trata da interação distorcional-global (DG), a fim de realizar o desenvolvimento, calibração, validação das metodologias, propor ajustes ou novas soluções, de tal modo que se consiga prever estes fenômenos com maiores precisões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO

O uso dos perfis formados a frio (PFF), inicialmente era direcionado à aeronáutica, ferrovia, indústrias de motores e outras, ou até mesmo quando se tratava de produtos que tinham alto rigor no controle de peso (LIMA, 2018). Estes perfis foram utilizados por muitos anos como elementos não estruturais e só passaram a ser de uso estrutural por volta do ano 1850 nos Estados Unidos e Grã-Bretanha (YU; LABOUBE, 2010). Mas, a indústria da construção tinha uma certa resistência e restringia a sua utilização visto que não existiam normas técnicas.

Na década de 1930, os Estados Unidos tiveram algumas dificuldades para a aceitação e desenvolvimento das construções que utilizavam o PFF devido à escassez de informações e normas que trouxessem parâmetros para sua utilização (CAMPOS, 2020). Mas, com a segunda Guerra Mundial, teve um elevado crescimento no uso do aço e gerou grandes melhorias em sua etapa de fabricação. Sendo assim, Yu e Laboube (2010) informam que em 1939 o engenheiro George Winter, da Universidade de Cornell, começou a desenvolver suas pesquisas, tendo como patrocinador a Instituto Americano de Ferro e Aço (AISI). Isso resultou na primeira edição das especificações para perfis leves em 1946 (LIMA, 2018) e em 1949 o primeiro manual para perfis leves em aço (VIEIRA, 2010).

O uso dos PFF no Brasil se iniciou na década de 1960. Com isto, surgiu a necessidade de ter especificações para estes perfis. Em 1967, ocorreu a edição da ABNT NB143:1967 – Cálculo de estruturas de aço constituídas por perfis leves, tendo como base a AISI:1956, pois antes disso não havia normas nacionais, sendo necessário recorrer as normas internacionais. Em 1980 foi publicada a ABNT NBR 6355:1980 – Perfis Estruturais em Aço Formados a Frio. Entretanto, com a falta de revisões, os projetistas recorriam ao AISI, visto que tinha atualizações e revisões periódicas. Porém, como se tratava de normas internacionais, geravam problemas de incompatibilidade com outras prescrições nacionais que eram necessárias aos projetos (VIEIRA, 2010).

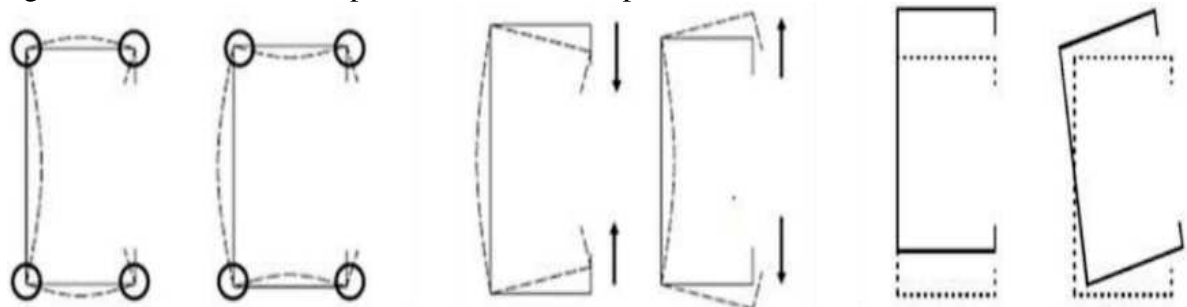
Em 2001 ocorreu a publicação da ABNT NBR 14762:2001 que teve como base o Método dos Estados Limites contidos no AISI, em procedimentos e recomendações da norma europeia Eurocode 3 (Comitê Europeu de Normalização) e australiana AS/NZS 4600:1996 (COSTA, 2012). Pouco depois teve a publicação da ABNT NBR 6355:2003 que definia os requisitos que eram exigidos para os PFF que possuíam seção transversal aberta (LIMA, 2018). Posteriormente, ocorreu a atualização em 2010 da ABNT NBR 14762:2010, que mantém os princípios incorporando os três métodos de dimensionamento: Método da Largura Efetiva (MLE), Método da Seção Efetiva (MSE) e Método da Resistência Direta (MRD).

2.2 MODOS DE FLAMBAGEM

Os modos de flambagem podem ser classificados em local (L), distorcional (D) ou global (G). Há também situações em que pode acontecer a interação entre elas, gerando a local-distorcional (LD), distorcional-global (DG), local-global (LG) e local-distorcional-global (LDG).

A forma que o elemento assume após a deformação devido a ocorrência da flambagem, indica qual foi o seu modo de flambagem. A flambagem local está diretamente ligada à deformação dos elementos transversais (alma, mesa ou enrijecedor), mantendo inalteradas as arestas de encontro e ângulos entre eles. Já o modo distorcional, engloba variação dos nós de origem da seção não deformada, ocorrendo a flexão de uma ou mais paredes associadas com o deslocamento das arestas e deformações por empenamento. E na flambagem global, não ocorrem deformações na seção transversal, mas há movimentação do elemento como um todo, gerando o fenômeno de flexão em seu eixo de menor inércia ou pela combinação de flexão e torção que é conhecido como flambagem lateral de vigas. Já em barras sob compressão axial, denomina-se flexo-torção. Estes modos de flambagem são ilustrados na Figura 5.

Figura 5 - Bobina utilizada para confeccionar os perfis formados a frio.



Fonte: Lima (2018).

É importante ressaltar que os parâmetros de material, condições de apoio, geometria e carregamentos influenciam diretamente nos valores da carga crítica, que é quando ocorre a falha do elemento estrutural, podendo ser por qualquer um dos modos de flambagem.

2.3 TEORIA GENERALIZADA DE VIGAS (GBT)

De acordo com Junior (2016), a teoria generalizada de vigas (GBT) foi criada pelo Professor Richard Schardt (1966) da Universidade Técnica de Darmstadt. Sua primeira publicação foi por volta da década de 60, em língua alemã, e sendo seguida por pesquisas do mesmo grupo durante a década de 80 (SCHARDT, 1983 e SCHARDT, 1989). Mas, segundo Silvestre (2005), esta teoria ficou despercebida até o início da década de 90, pois os trabalhos publicados eram em alemão, limitando o alcance a outros pesquisadores. Esta situação começou a mudar quando Davies e seus cooperadores (DAVIES e LEACH, 1994a, b e DAVIES, 1998), identificaram grandes potenciais deste método nos estudos de estabilidade de perfis de aço formados a frio e os divulgaram em língua inglesa, contribuindo para a difusão do uso do método.

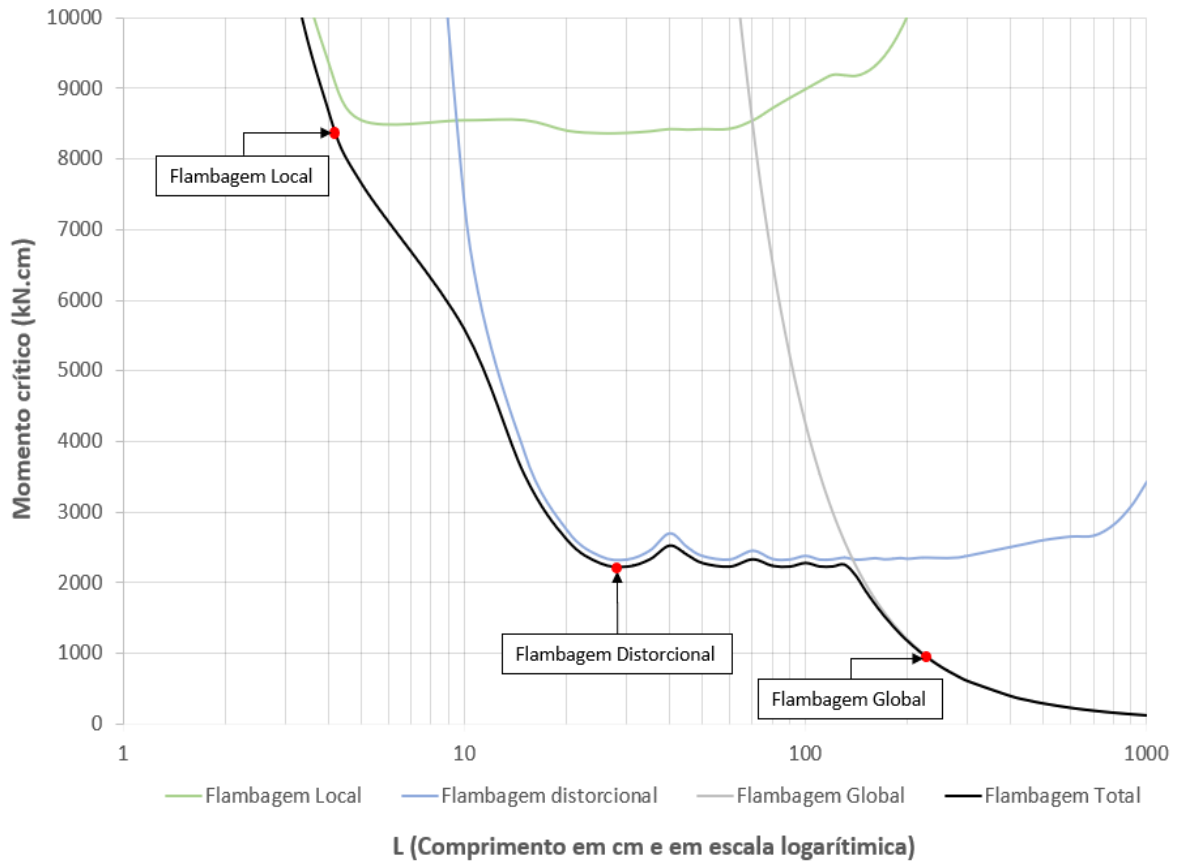
A GBT é um método que permite realizar análises de flambagens dos perfis formados a frio, no qual torna-se possível em uma combinação linear, decompor os seus modos de deformações das seções transversais ao longo do comprimento da peça. De acordo com Lima (2018), para identificar o modo das deformações da seção transversal, é necessário realizar o procedimento de análise da seção transversal (discretização e ortogonalização).

Através do método GBT, criou-se o programa computacional GBTUL (BEBIANO, et al., 2010b). Este programa apresenta os três modos de deformações que são divididos em local, distorcional e global. Os 4 primeiros são relacionados a extensão axial, flexão no eixo de maior e menor inercia e torção respectivamente, referindo-se a flambagem global. O 5 e 6 são relacionados aos modos distorcionais e o restante aos modos locais que relacionam com a parede de dobragem do elemento.

Lima (2018) informa que em relação aos arquivos de saídas do GBTUL, como cada modo de deformação contribuiu de forma individual para o modo de flambagem, faz com o que programa forneça resultados de fatores de participação modal diferente para cada comprimento da peça fornecida, possibilitando a avaliação em seu comprimento de interesse. Além disso, é

informado a relação entre o momento crítico de flambagem (M_{cr}) versus o comprimento (L) no qual cria a curva de assinatura que é ilustrada na Figura 6.

Figura 6 - Curva de assinatura do perfil cartola 127x60x10x3(mm) submetido a flexão uniforme em seu eixo de maior inércia, com flexão e empenamento livres e torção impedida.



Fonte: Autor (2023).

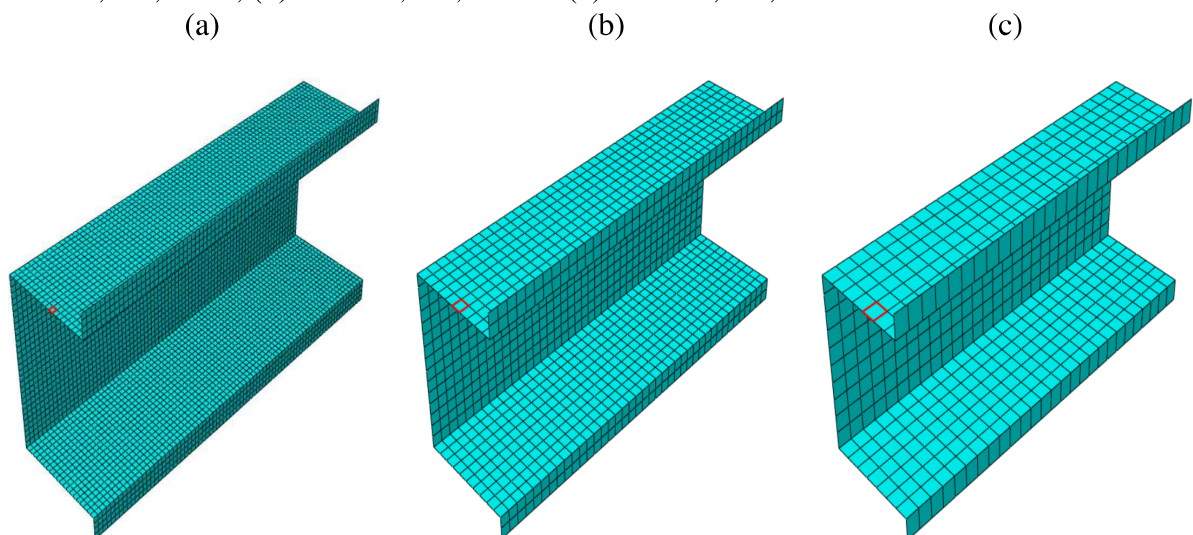
É importante destacar que a flambagem local (este é o modo que ocorre o primeiro ponto mínimo da tensão crítica na curva de assinatura) acontece em elementos com comprimentos denominados curtos. Já a flambagem distorcional, (segundo mínimo), dá-se para comprimentos intermediários e a flambagem global (terceiro mínimo) ocorre em peças com os maiores comprimentos.

2.4 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)

Este método trabalha com a geometria subdividida em pequenas partes que são chamados de elementos finitos. A possibilidade de dividir em pequenos elementos, faz com que o método resolva problemas de grande complexidade, podendo ter grandes variações nos carregamentos e variadas alterações em suas condições de apoio (restrições).

Os elementos finitos são conectados por nós e ao conjunto deles dá-se o nome de malha que pode ser de forma quadrilateral, triangular e em outros formatos. Deste modo, os resultados estão ligados diretamente com as condições estabelecidas, visto que, os PFF possuem um comportamento não-linear devido ao seu processo de conformação que gera tensões residuais, imperfeições geométricas, deformações iniciais e o seu comportamento elasto-plástico. Outro fator importante é em relação ao tamanho da malha, que gera influência na precisão dos resultados, pois quanto maior o refino, mais preciso são os resultados. Mas, em contrapartida disto, resultados mais precisos demandam maiores tempos de processamento, sendo ideal encontrar uma boa relação entre resultados e tempo gasto para definir qual vai ser a melhor dimensão a ser utilizada. Na Figura 7, é possível observar diferentes refinamentos das malhas.

Figura 7 - Discretização da malha com diferentes refinamentos no software ABAQUS. (a) malha 2,5x2,5 mm, (b) malha 5,0x5,0 mm e (c) malha 7,5x7,5 mm.



Fonte: Autor (2023).

2.5 MÉTODO DA RESISTÊNCIA DIRETA (MRD)

O MRD foi proposto por Schafer e Peköz (1998) com intuito de resolver os problemas vistos no MLE. Este método teve grandes participações para seu aprimoramento através de Schafer (2002, 2003, 2005, 2006), Silvestre e Camotim (2004), Yu e Schafer (2006, 2007), Landesmann e Camotim (2015) e Camotim *et. al.* (2006, 2007, 2010, 2016), sendo que através destes estudos, foi possibilitada a incorporação às normas norte-americana AISI S100-16, brasileira ABNT NBR 14762:2010 (Anexo C) e australiana/neozelandesa AS/NZS 4600:2018.

Conforme encontrado na norma AISI S100-16 e AS/NZS 4600:2018, a obtenção do momento fletor resistente que é associado a flambagem distorcional (M_{Rdist}) é mediante ao uso das equações 1 a 5, onde é apresentado o momento fletor elástico que relaciona com a flambagem distorcional (M_{dist}), o momento fletor de escoamento (M_y), o fator de deformação de compressão (C_{yd}), momento fletor de plastificação (M_p) e o índice de esbeltez distorcional (λ_{dist}).

$$M_{Rdist} = \begin{cases} M_y + (1 - C_{yd}^{-2}) \cdot (M_p - M_y) & \text{Para } \lambda_{dist} \leq 0,673 \\ \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}}\right) \cdot \frac{M_y}{\lambda_{dist}} & \text{Para } \lambda_{dist} > 0,673 \end{cases} \quad (1)$$

sendo

$$M_y = W \cdot f_y \quad (2)$$

$$M_p = Z \cdot f_y \quad (3)$$

$$C_{yd} = \left(\frac{0,673}{\lambda_{dist}}\right)^{0,5} \leq 3 \quad (4)$$

$$\lambda_{dist} = \left(\frac{M_y}{M_{dist}}\right)^{0,5} \quad (5)$$

De acordo com Lima (2018), o MRD é adequado para dimensionamento de barras submetidas a compressão centrada e à flexão simples, mediante a cálculos de suas propriedades geométricas da seção, dos valores das tensões críticas elástica e de escoamento e pela abordagem dos modos de flambagem local, distorcional, global e suas interações. As curvas de dimensionamento do MRD, foram calibradas por meio da realização de análises experimentais e numéricas, englobando imperfeições geométricas, tensões residuais, que são causadas devido ao dobramento e a outros fatores que também influenciam no dimensionamento da peça.

2.6 ESTUDOS FEITOS SOBRE INTERAÇÃO DISTORCIONAL-GLOBAL

Shuang, Kim e Feng (2014) realizaram um estudo sobre o comportamento de flambagem em perfis com seção transversal do tipo U enrijecido, tendo comprimentos de 1,8 a 4,0 metros e

levando em consideração a interação distorcional-global em vigas de paredes finas de aço inoxidável. Foram feitas análises numéricas e experimentais onde chegaram à conclusão de que o Eurocode 3 é bastante conservador quando se trata de forças na interação distorcional-global, porém, em seções com alta esbeltez, pressupõe resultados razoavelmente precisos. Já a AS/NZS 4673 e SEI/ASCE-8, tem previsões próximas dos valores reais e é apenas conservador. Por fim, concluíram que as normas não têm precisão quando se trata da interação distorcional-global (envolvendo a flexo-torção) em vigas de aço inoxidável.

Martins, Camotim, Gonçalves e Dinis (2018) realizaram estudos baseados na Teoria Generalizada de vigas (GBT), tendo como foco a análise de vigas do tipo U enrijecidas (U_e), voltados ao comportamento elástico, na pós-flambagem geométrica não linear. A condição era simplesmente apoiada, submetidas a interação DG, sob a flexão uniforme, em seu eixo de maior inércia. Concluíram que independentemente do tipo de interação DG e imperfeição geométrica inicial, a pós-flambagem sempre irá ter envolvimento de deformações globais (flexo-torção) com maior relevância do que as distorcionais. As deformações distorcionais são visíveis perto das regiões de extremidade do enrijecedor onde as contrapartes globais são menos acentuadas. Desta forma, a interação DG se torna possível de ser observada ao recorrer o GBT. Outro fator é que a menor resistência pós-crítica do $R_{GD} = M_{crG}/M_{crD} = 0.50$ impossibilita o caso de interação DG secundária de bifurcação distorcional. Para as vigas analisadas, denominou-se que tem comportamento global “puro”.

Martins, Camotim e Dinis (2018) desenvolveram estudos numéricos em vigas simplesmente apoiadas sob flexão uniforme e submetidos a interação distorcional-global em perfis de aço formados a frio. Neste estudo foram consideradas vigas com enrijecedores sob a flexão do eixo de maior inércia, vigas do tipo Z sob flexão oblíqua, 41 geometrias, duas condições de apoio sendo com empenamento livre ou impedido, e 11 tensões de escoamento de tal modo que fosse possível caracterizar a interação verdadeira ($R_{GD} \approx 1.0$), interação DG secundária de bifurcação global ($R_{GD} > 1.0$ e alto R_y) e interação DG secundária de bifurcação distorcional ($R_{GD} < 1.0$ e alto R_y). Os resultados mostraram que para vigas com condições de apoio com empenamento livre e impedido, a forma da imperfeição geométrica inicial gera influência no comportamento de pós-flambagem. Já em relação as vigas do tipo Z, todas as formas de imperfeições geométricas levam a comportamentos qualitativamente semelhantes. Para as vigas com $R_{GD} < 0.85$, tiveram deformações predominantemente globais, devido ao distanciamento das deformações globais. Para vigas com enrijecedores e empenamento livre ou impedido e com

$R_{GD} \cong 1.0$ (M_{crG}/M_{crD} próximo a 1.0), foram verificadas deformações distorcionais e globais. Já em relação as de seção Z e com $R_{GD} \cong 1.0$, apresentaram deformações distorcionais apenas nos estágios iniciais de carregamento, sendo logo alteradas exclusivamente para globais. Todas as vigas com $R_{GD} > 1,0$ tiveram deformações distorcionais e globais. Não houve diferença de forma clara nas análises comportamentais de pós-flambagem das vigas, tanto em relação a interação DG “verdadeira” e “interação secundária de bifurcação global”. A curva de resistência global codificada fornece estimativas seguras tendo colapso em modos globais, com exceções apenas em seções que o momento de ruptura depende da imperfeição geométrica inicial. Outro fator foi que as dimensões da seção transversal causam influência significativa na precisão. Fez-se a verificação de que o MRD de forma adequada para as vigas que falham em modo global, interação DG e distorcional. Para as vigas Z com empenamento livre, tem melhores previsões com a curva do MRD desde que o $R_{GD} \leq 1.0$.

Depolli (2018) desenvolveu sua pesquisa sobre análises numéricas de perfis formados a frio do tipo U enrijecido (Ue) tendo as mesmas restrições (SCA - totalmente livre e SCB - totalmente impedidos) que foram determinadas por Martins *et al.* (2017). Analisou-se 1200 vigas no qual foram selecionadas 15 geometrias e 5 gradientes de momentos ($\psi = 1,0; 0,5; 0; -0,5; -1,0$). Foi utilizado a GBT e o MEF para realizar suas análises de flambagem e pós-flambagem. Além disto, seguiu-se os mesmos critérios de Martins *et al.* (2017) para inserção de imperfeições geométricas, sendo de 0,10t. Seus resultados passaram por avaliações nas previsões do momento resistente pelo MRD codificado na ABNT NBR 14762 e pela curva modificada pelos estudos de Martins *et al.* (2017) chegando à conclusão de que a condição de apoio SCB leva a maiores resistências e o gradiente causa influência de forma significativa nos resultados levando ao aumento da resistência de pós-flambagem ($\psi = +1,0 \rightarrow +0,5 \rightarrow 0 \rightarrow -0,5 \rightarrow -1$) assim como já visto por YU e SCHAFER (2005). Também foi observado que o MRD, atualmente codificado pela ABNT NBR 14762 (2010), prevê de forma insegura o momento resistente.

Os estudos de Kolakowski, Kubiak, Zaczynska e Kazmierczyk (2020) envolveram análises de flambagens não lineares de vigas com enrijecedores, paredes finas e submetidas a flexão pura. As peças selecionadas foram de seções curtas e medias de aço e laminados. Nesta pesquisa, utilizou-se um método semi-analítico (SAM) e posteriormente, desenvolveu-se um modelo através do método dos elementos finitos (MEF) para comparar com os resultados obtidos pelo SAM. Os resultados informam que em vigas com comprimentos pequenos, o SAM não pode

determinar a capacidade de carga, diferentemente de que, para vigas médias, este método estima de forma adequada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho trata de análises numéricas em vigas de perfis formados a frio (PFF), sendo assim, definiu-se a utilização da Teoria Generalizada de Vigas (GBT) e o programa computacional GBTUL (BEBIANO et al., 2010). Desta forma, serão realizadas análises de estabilidade elástica pelo método da “tentativa e erro”, de tal modo que consiga selecionar quais são as geometrias que tem predominância da flambagem distorcional-global. Em sequência, vão ser feitas modelagens numéricas das geométricas e comprimentos selecionados no programa ABAQUS (2020), levando em consideração as condições de apoio adotadas (SCA e SCB) e os diferentes gradientes de momentos (Ψ). Em continuidade do trabalho, serão feitas análises de pós-flambagem elástica e elasto-plástica, no qual irá ser levado em consideração as imperfeições geométricas e não linearidades físicas do material. Por fim, após obter os valores de resistência última através dos modelos numéricos desenvolvidos no ABAQUS (2020), irá ser feito uma verificação com o MRD. Caso os valores obtidos pelo MRD não sejam adequados as condições de segurança, serão propostos ajustes para melhorar a precisão do método em relação ao dimensionamento dos perfis cartolas formados a frio, submetidos a interação DG, sob a flexão não-uniforme.

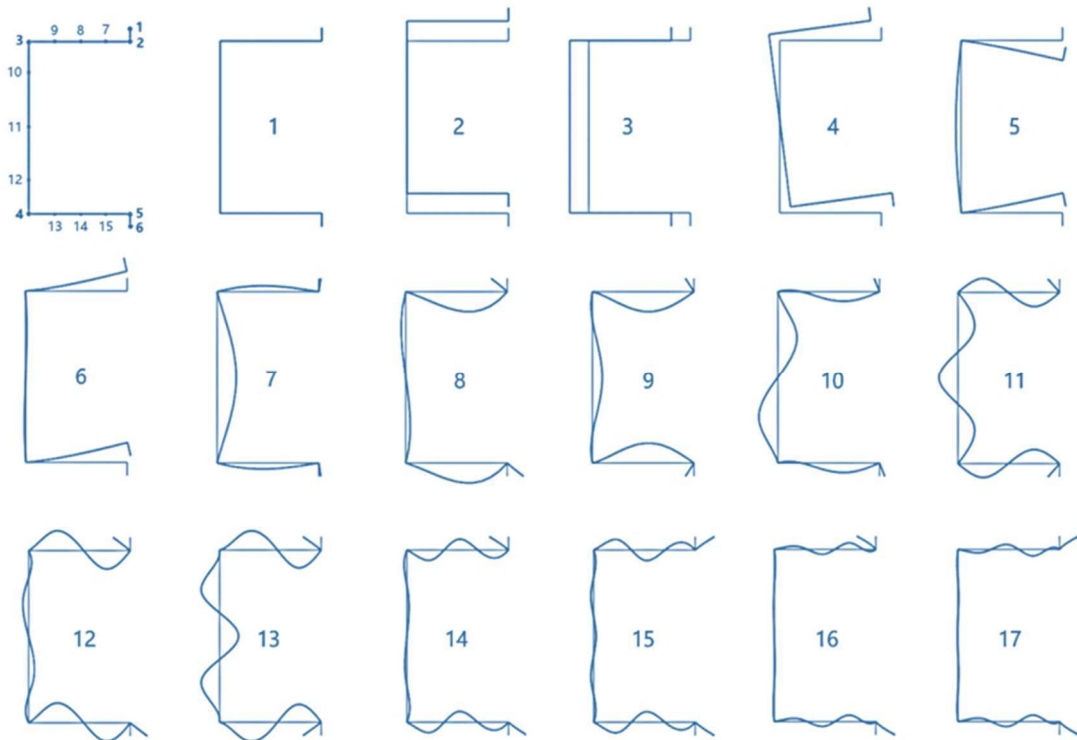
4 ANÁLISE DE FLAMBAGEM ELÁSTICA

4.1 SELEÇÃO DE VIGAS E DADOS UTILIZADOS

Mediante aos estudos feitos por Depolli *et al.* (2018) e os catálogos técnicos de PFF da ArcelorMittal, foi possível ter embasamento para buscar usar dimensões e espessuras próximas às seções comercializadas, e, identificar as geometrias (dimensões da seção transversal e comprimento) em que ocorressem predominantemente a interação distorcional-global. Desta forma, foi definido o programa computacional GBTUL versão 1.0b, para fazer esta análise, pois através dele, também é possível determinar o valor da carga crítica de flambagem e quantificar a porcentagem da participação modal de cada modo de flambagem.

A inserção dos dados no GBTUL começou primeiramente com a definição dos valores referentes ao módulo de elasticidade (E) e coeficiente de Poisson (ν) sendo de 200 GPa e 0,3 respectivamente. Outro fator importante, é em relação a quantidade dos modos de flambagem, que depende diretamente do número de lados, nós naturais e nós intermediários definidos na seção transversal do elemento. Portanto, para os perfis cartolas enrijecidos, é definido por padrão no programa a quantidade total de 6 nós naturais e em relação aos nós intermediários, foram definidos manualmente, sendo o total de 9. Com esta configuração, é possível obter 17 modos de flambagem, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Gradientes de momentos (Ψ) e seus respectivos diagramas.



Fonte: Dib (2023).

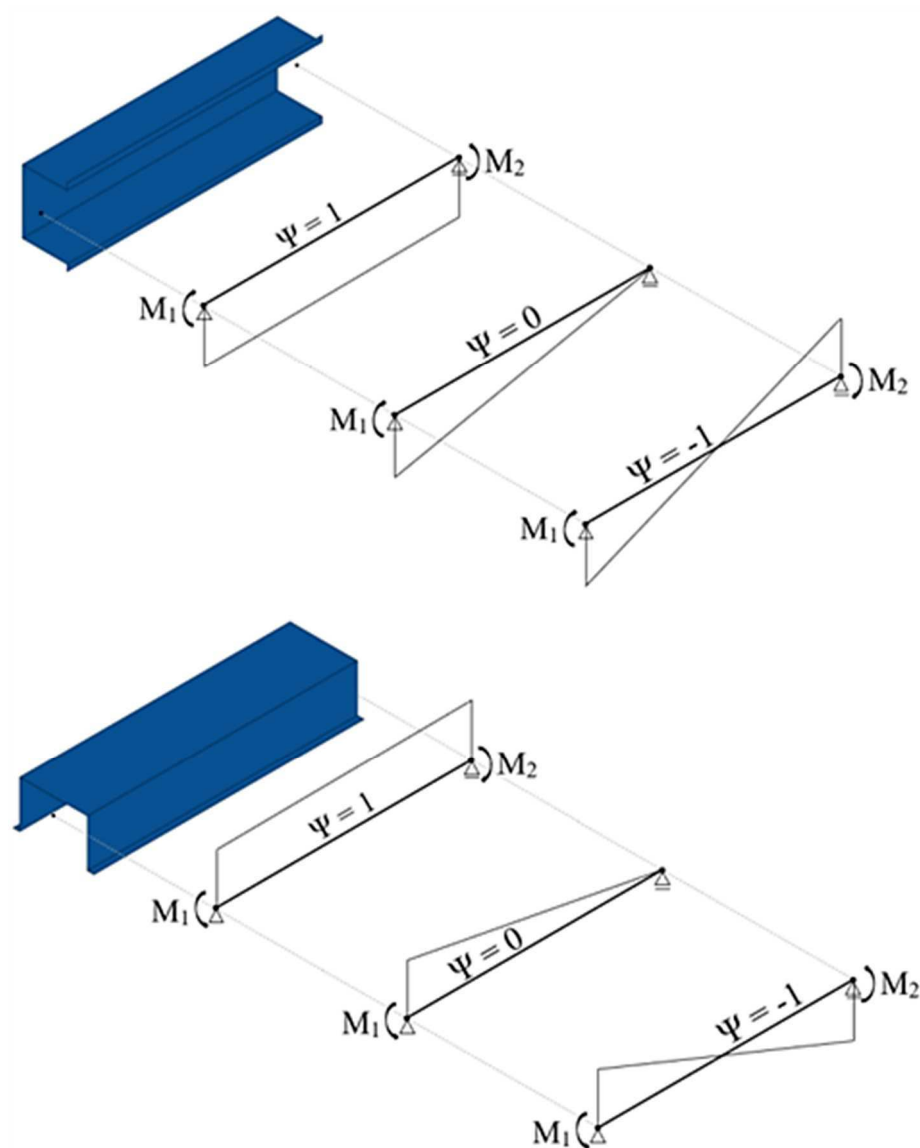
Para a seleção das peças, foram levadas em consideração a relação entre os momentos críticos, no qual os limites definidos foram de $0,8 \leq R_{GD} \leq 2,0$, visto que $R_{GD} = M_{crG} / M_{crD}$ e a somatória das participações modais (P_{DG}) serem maiores do que 95%. Essa somatória envolve os valores dos modos de 1 a 4 (globais) e 5 e 6 (distorcionais). Outro parâmetro adotado, é a não ocorrência da interação LDG, no qual foi definido $R_{LD} > 2,0$ e $R_{LG} > 2,0$, onde $R_{LD} = M_{crL} / M_{crD}$ e $R_{LG} = M_{crL} / M_{crG}$.

Foram analisadas duas condições de apoios simples, assim como estudados por Martins *et al.* (2017a) e Depolli *et al.* (2018), sendo denominadas SCA (condição de apoio A) e SCB

(condição de apoio B). Portanto, a condição SCA tem flexão livre em seus eixos de maior e menor inércia, empenamento livre e torção impedida. Já a condição SCB, tem flexão livre em seus eixos de maior e menor inércia, mas, em contrapartida disto, o empenamento e torção são impedidos.

As vigas foram submetidas aos carregamentos de flexão em seus eixos de maior (V_M) e menor inércia (V_m), aplicando momentos nas extremidades (M_1 e M_2), de tal forma que ocorresse a compressão dos enrijecedores no último caso. De acordo com a Figura 9, é possível observar que foi adotado três hipóteses de carregamentos, sendo $\Psi = 1$, $\Psi = 0$ e $\Psi = -1$, no qual $\Psi = M_2/M_1$ visto que M_1 é constante. A adoção do primeiro gradiente, refere-se a flexão uniforme para fins de comparação e os demais refere-se a flexão não-uniforme.

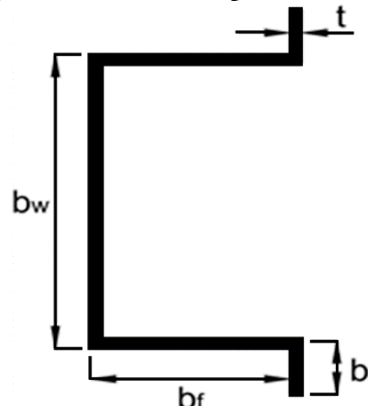
Figura 9 - Gradientes de momentos (Ψ) e seus respectivos diagramas.



Fonte: Adaptado de Depolli *et al.* (2018).

Sua seção transversal é composta por alma (b_w), mesa (b_f), enrijecedor (b_l) e espessura (t), conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Componentes da seção transversal do perfil cartola.



Fonte: Autor (2023).

As características geométricas das 10 vigas que foram selecionadas, são apresentadas na Tabela 1 com suas respectivas áreas, módulo de resistência elástico na maior inércia (S_M), módulo de resistência elástico na menor inércia (S_m), módulo de resistência plástico na maior inércia (Z_M) e módulo de resistência plástico na menor inércia (Z_m).

Tabela 1. Características geométricas das vigas selecionadas.

VIGA	b_w (mm)	b_f (mm)	b_l (mm)	t (mm)	b_w/b_f	b_f/b_l	Área (cm ²)	S_M (cm ³)	S_m (cm ³)	Z_M (cm ³)	Z_m (cm ³)
V1	70	55	10	1,80	1,3	5,5	3,60	7,82	7,82	10,58	6,82
V2	70	60	10	2,25	1,2	6,0	4,73	10,39	10,39	14,01	9,66
V3	75	55	10	1,80	1,4	5,5	3,69	8,57	8,57	11,49	7,00
V4	75	60	10	2,25	1,3	6,0	4,84	11,38	11,38	15,20	9,91
V5	90	60	10	2,00	1,5	6,0	4,60	12,87	12,87	16,85	9,46
V6	90	70	10	2,25	1,3	7,0	5,63	16,14	16,14	20,98	13,27
V7	90	75	10	2,65	1,2	7,5	6,89	19,98	19,98	25,90	17,29
V8	100	60	10	2,00	1,7	6,0	4,80	14,80	14,80	19,20	9,88
V9	100	70	10	2,65	1,4	7,0	6,89	21,82	21,82	28,09	16,29
V10	100	75	10	3,00	1,3	6,0	8,10	25,96	25,96	33,30	20,38

Fonte: Autor (2023).

Nas Tabela 2 a Tabela 7, são apresentados os dados referentes aos comprimentos selecionados em que ocorrem a interação distorcional-global, seus respectivos momentos críticos para cada modo de flambagem, o fator R_{GD} , as participações modais e a relação $M_{crL}/M_{cr,Max}$, onde $M_{cr,Max}$ é o maior valor entre o momento crítico global e distorcional.

Tabela 2. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = 1$ para condição de apoio SCA.

VIGA	LDG (cm)	M_{crG} (kN.cm)	M_{crD} (kN.cm)	R_{GD}	M_{crL} (kN.cm)	$\frac{M_{crL}}{M_{cr.Max}}$	P_G (%)	P_D (%)	P_L (%)
V _{M1}	145	444,07	439,60	1,01	1.130,88	2,55	77,61	21,97	0,42
V _{m1}	95	226,25	235,44	0,96	1.502,04	6,38	51,42	48,17	0,41
V _{M2}	155	635,39	653,21	0,97	1.997,01	3,06	81,23	18,36	0,41
V _{m2}	90	376,83	384,59	0,98	2.974,67	7,73	48,43	51,11	0,46
V _{M3}	140	512,91	465,10	1,10	1.196,23	2,33	74,66	24,82	0,52
V _{m3}	100	236,58	232,26	1,02	1.483,65	6,27	52,04	47,55	0,41
V _{M4}	155	684,64	693,96	0,99	2.144,03	3,09	80,99	18,60	0,41
V _{m4}	95	392,48	379,50	1,03	2.951,65	7,52	49,31	50,23	0,46
V _{M5}	170	619,37	630,78	0,98	1.886,55	2,99	82,43	17,20	0,37
V _{m5}	125	296,92	293,51	1,01	2.013,29	6,78	58,73	40,88	0,39
V _{M6}	205	725,51	705,99	1,03	2.316,68	3,19	83,95	15,68	0,37
V _{m6}	140	361,84	368,67	0,98	2.857,20	7,75	60,07	39,54	0,39
V _{M7}	215	959,89	958,81	1,00	3.498,30	3,64	85,24	14,43	0,33
V _{m7}	135	528,48	531,63	0,99	4.711,12	8,86	57,80	41,80	0,40
V _{M8}	170	702,86	695,27	1,01	2.091,49	2,98	82,28	17,38	0,34
V _{m8}	145	277,64	284,90	0,97	2.061,74	7,24	66,27	33,41	0,32
V _{M9}	190	1.143,99	1.128,17	1,01	4.088,70	3,57	84,23	15,43	0,34
V _{m9}	140	543,47	530,11	1,03	4.677,35	8,61	61,62	38,00	0,38
V _{M10}	200	1.426,78	1.400,72	1,02	5.506,25	3,86	84,69	14,97	0,34
V _{m10}	140	711,55	701,42	1,01	6.821,20	9,59	60,93	38,71	0,36

Fonte: Autor (2023).

Tabela 3. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = 0$ para condição de apoio SCA.

VIGA	LDG (cm)	M_{crG} (kN.cm)	M_{crD} (kN.cm)	R_{GD}	M_{crL} (kN.cm)	$\frac{M_{crL}}{M_{cr.Max}}$	P_G (%)	P_D (%)	P_L (%)
V _{M1}	185	538,06	521,36	1,03	1.512,60	2,81	70,04	28,75	1,21
V _{m1}	115	301,94	301,26	1,00	1.667,95	5,52	58,34	40,88	0,78
V _{M2}	200	770,65	778,34	0,99	2.696,66	3,46	78,66	20,54	0,80
V _{m2}	110	497,61	489,64	1,02	3.216,18	6,46	55,66	43,48	0,86
V _{M3}	195	529,86	552,07	0,96	1.697,49	3,07	84,51	14,93	0,56
V _{m3}	125	298,35	295,32	1,01	1.704,56	5,71	61,80	37,50	0,70
V _{M4}	200	824,27	827,24	1,00	2.881,66	3,48	77,55	21,55	0,90
V _{m4}	120	489,77	480,07	1,02	3.239,50	6,61	59,53	39,71	0,76
V _{M5}	220	727,36	751,34	0,97	2.612,32	3,48	86,65	12,76	0,59
V _{m5}	160	361,39	352,83	1,02	2.512,19	6,95	70,09	29,34	0,57
V _{M6}	280	790,68	843,01	0,94	3.532,91	4,19	91,36	8,35	0,29
V _{m6}	180	440,58	447,59	0,98	3.533,84	7,90	72,16	27,31	0,53
V _{M7}	295	1.057,74	1.145,45	0,92	5.347,99	4,67	92,43	7,34	0,23
V _{m7}	175	639,25	643,30	0,99	5.549,01	8,63	70,44	29,00	0,56
V _{M8}	220	818,23	828,75	0,99	2.851,92	3,44	82,18	16,86	0,96
V _{m8}	180	357,10	346,66	1,03	2.690,53	7,53	74,62	24,90	0,48
V _{M9}	260	1.240,01	1341,65	0,92	5.930,13	4,42	92,43	7,22	0,35
V _{m9}	185	637,61	638,46	1,00	5.876,33	9,20	75,48	24,05	0,47
V _{M10}	280	1.511,73	1.674,37	0,90	8.187,43	4,89	93,40	6,35	0,25
V _{m10}	185	841,05	841,76	1,00	8.272,98	9,83	74,71	24,81	0,48

Fonte: Autor (2023).

Tabela 4. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = -1$ para condição de apoio SCA.

VIGA	LDG (cm)	M_{crG} (kN.cm)	M_{crD} (kN.cm)	R_{GD}	M_{crL} (kN.cm)	$\frac{M_{crL}}{M_{cr.Max}}$	P_G (%)	P_D (%)	P_L (%)
V _{M1}	220	597,90	578,53	3,30	1.976,07	3,30	58,53	39,96	1,51
V _{m1}	170	320,35	322,80	0,99	731,92	2,27	66,56	32,63	0,81
V _{M2}	240	859,65	867,82	4,12	3.575,05	4,12	64,86	33,92	1,22
V _{m2}	165	518,20	523,00	0,99	1.537,67	2,94	65,05	34,09	0,86
V _{M3}	225	617,54	614,15	3,49	2.157,87	3,49	60,81	37,66	1,53
V _{m3}	180	330,92	317,75	1,04	668,90	2,02	67,24	31,97	0,79
V _{M4}	240	913,71	921,81	4,13	3.807,38	4,13	64,17	34,58	1,25
V _{m4}	180	510,58	513,28	0,99	1.435,71	2,80	68,55	30,69	0,76
V _{M5}	265	787,35	838,17	4,19	3.512,02	4,19	74,75	23,75	1,50
V _{m5}	225	418,14	382,55	1,09	843,57	2,02	70,85	28,40	0,75
V _{M6}	340	860,30	932,78	5,33	4.973,70	5,33	80,88	18,46	0,66
V _{m6}	260	489,47	487,03	1,01	1.625,69	3,32	74,86	24,51	0,63
V _{M7}	365	1.135,27	1.246,69	6,21	7.739,68	6,21	84,29	15,28	0,43
V _{m7}	260	681,98	699,21	0,98	2.859,37	4,09	75,42	23,97	0,61
V _{M8}	270	851,22	923,82	4,20	3.877,24	4,20	80,81	17,22	1,97
V _{m8}	265	383,67	377,89	1,02	792,28	2,06	78,96	20,53	0,51
V _{M9}	315	1.351,73	1.481,90	5,48	8.114,25	5,48	83,39	15,88	0,73
V _{m9}	270	699,96	698,84	1,00	2.201,50	3,15	78,14	21,31	0,55
V _{M10}	340	1.662,18	1.822,72	6,21	11.321,04	6,21	84,84	14,52	0,64
V _{m10}	270	925,67	921,43	1,00	3.437,00	3,71	76,98	22,45	0,57

Fonte: Autor (2023).

Tabela 5. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = 1$ para condição de apoio SCB.

VIGA	LDG (cm)	M_{crG} (kN.cm)	M_{crD} (kN.cm)	R_{GD}	M_{crL} (kN.cm)	$\frac{M_{crL}}{M_{cr.Max}}$	P_G (%)	P_D (%)	P_L (%)
V _{M1}	210	453,00	451,93	1,00	1.540,33	3,40	78,04	21,40	0,56
V _{m1}	175	251,20	248,20	1,01	1.980,97	7,89	64,71	34,85	0,44
V _{M2}	220	657,85	678,70	0,97	2.659,51	3,92	83,90	15,69	0,41
V _{m2}	170	398,14	403,20	0,99	3.600,85	8,93	65,28	34,28	0,44
V _{M3}	215	472,82	479,99	0,99	1.682,94	3,51	80,66	18,85	0,49
V _{m3}	195	237,07	244,31	0,97	2.180,52	8,93	70,49	29,16	0,35
V _{M4}	220	715,08	721,56	0,99	2.838,57	3,93	83,28	16,3	0,42
V _{m4}	185	392,98	398,44	0,99	3.810,65	9,56	68,64	30,98	0,38
V _{M5}	240	668,03	655,30	1,02	2.563,71	3,84	84,51	15,07	0,42
V _{m5}	240	305,62	298,52	1,02	3.380,98	11,06	75,59	24,13	0,28
V _{M6}	300	720,91	723,80	1,00	3.429,65	4,74	87,69	11,95	0,36
V _{m6}	265	379,99	381,94	0,99	4.612,29	12,08	77,27	22,47	0,26
V _{M7}	315	936,86	968,02	0,97	5.170,11	5,34	90,68	9,03	0,29
V _{m7}	265	519,21	549,05	0,95	7.121,91	12,97	79,16	20,61	0,23
V _{M8}	250	707,49	721,94	0,98	2.914,42	4,04	87,61	12,09	0,30
V _{m8}	270	302,07	295,99	1,02	3.845,20	12,73	79,89	19,87	0,24
V _{M9}	280	1.124,24	1.155,22	0,97	5.753,57	4,98	89,49	10,22	0,29
V _{m9}	270	551,83	549,40	1,00	7.665,99	13,89	80,33	19,45	0,22
V _{M10}	290	1.428,46	1.423,10	1,00	7.612,51	5,33	89,18	10,50	0,32
V _{m10}	270	720,27	725,79	0,99	10.468,57	14,42	80,48	19,30	0,22

Fonte: Autor (2023).

Tabela 6. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = 0$ para condição de apoio SCB.

VIGA	LDG (cm)	M_{crG} (kN.cm)	M_{crD} (kN.cm)	R_{GD}	M_{crL} (kN.cm)	$\frac{M_{crL}}{M_{cr.Max}}$	P_G (%)	P_D (%)	P_L (%)
V _{M1}	250	613,53	600,08	1,02	2.680,40	4,37	78,72	20,45	0,83
V _{m1}	210	340,08	345,20	0,99	3.383,56	9,80	75,65	23,88	0,47
V _{M2}	265	879,22	889,21	0,99	4.679,60	5,26	82,27	17,05	0,68
V _{m2}	200	561,20	559,71	1,00	5.800,68	10,34	73,77	25,70	0,53
V _{M3}	255	643,69	635,88	1,01	2.920,45	4,54	79,97	19,20	0,83
V _{m3}	225	344,64	336,52	1,02	3.647,19	10,58	75,83	23,71	0,46
V _{M4}	265	952,41	944,94	1,01	4.974,86	5,22	80,55	18,67	0,78
V _{m4}	220	544,13	541,73	1,00	6.393,62	11,75	76,72	22,85	0,43
V _{M5}	290	876,77	858,76	1,02	4.568,89	5,21	78,34	20,65	1,01
V _{m5}	295	398,60	391,10	1,02	6.414,00	16,09	83,52	16,18	0,30
V _{M6}	375	896,80	982,81	0,91	6.659,40	6,78	90,57	9,08	0,35
V _{m6}	330	486,89	498,49	0,98	8.854,66	17,76	85,76	13,98	0,26
V _{M7}	390	1.195,56	1.336,29	0,89	9.891,23	7,40	91,72	8,01	0,27
V _{m7}	320	705,73	716,06	0,99	12.833,68	17,92	84,93	14,79	0,28
V _{M8}	300	938,59	946,34	0,99	5.142,12	5,43	83,04	16,18	0,78
V _{m8}	335	388,03	387,54	1,00	7.626,72	19,66	86,89	12,86	0,25
V _{M9}	345	1.434,36	1.554,82	0,92	10.625,76	6,83	90,63	9,01	0,36
V _{m9}	335	716,09	719,15	1,00	14.676,77	20,41	86,86	12,90	0,24
V _{M10}	365	1.763,49	1.945,37	0,91	14.447,52	7,43	91,60	8,11	0,29
V _{m10}	335	939,24	949,78	0,99	19.701,42	20,74	86,86	12,89	0,25

Fonte: Autor (2023).

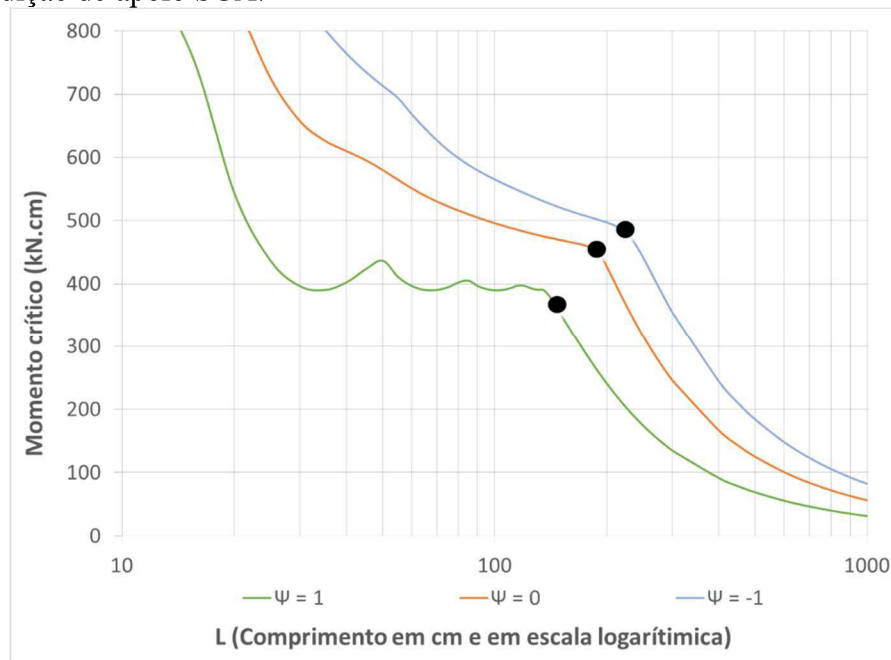
Tabela 7. Comprimentos críticos, M_{crDG} e suas relações e participação modal - $\Psi = -1$ para condição de apoio SCB.

VIGA	LDG (cm)	M_{crG} (kN.cm)	M_{crD} (kN.cm)	R_{GD}	M_{crL} (kN.cm)	$\frac{M_{crL}}{M_{cr.Max}}$	P_G (%)	P_D (%)	P_L (%)
V _{M1}	305	742,49	728,05	6,32	4.691,27	6,32	61,24	37,15	1,61
V _{m1}	310	380,32	391,95	0,97	2.322,91	5,93	77,53	22,01	0,46
V _{M2}	355	913,70	1.092,30	8,73	9.536,69	8,73	78,65	20,70	0,65
V _{m2}	295	631,23	635,49	0,99	4.556,74	7,17	75,26	24,21	0,53
V _{M3}	315	760,09	773,80	6,74	5.214,68	6,74	60,60	33,91	1,49
V _{m3}	330	389,72	388,90	1,00	2.140,40	5,49	77,36	22,19	0,45
V _{M4}	355	984,30	1.160,41	8,70	10.093,27	8,70	78,28	21,00	0,72
V _{m4}	320	627,36	631,17	0,99	4.322,08	6,85	76,87	22,67	0,46
V _{M5}	385	907,24	1.056,11	8,72	9.210,42	8,72	79,35	19,7	0,95
V _{m5}	430	457,85	475,95	0,96	3.035,96	6,38	84,13	15,62	0,25
V _{M6}	495	951,19	1.155,24	11,99	13.847,22	11,99	86,62	12,91	0,47
V _{m6}	480	562,99	603,73	0,93	6.019,93	9,97	85,82	13,97	0,21
V _{M7}	525	1.239,17	1.547,03	13,74	21.257,13	13,74	89,20	10,45	0,35
V _{m7}	465	819,80	863,70	0,95	9.943,09	11,51	84,70	15,06	0,24
V _{M8}	390	1.004,84	1.163,03	8,55	9.948,23	8,55	80,16	18,72	1,12
V _{m8}	505	422,12	466,18	0,91	3.014,40	6,47	89,58	10,25	0,17
V _{M9}	460	1.492,23	1.829,04	11,96	21.866,54	11,96	87,60	11,84	0,56
V _{m9}	515	761,28	855,01	0,89	8.343,36	9,76	90,36	9,48	0,16
V _{M10}	490	1.828,91	2.251,70	13,41	30.204,02	13,41	88,99	10,57	0,44
V _{m10}	520	987,90	1.124,00	0,88	13.131,27	11,68	90,72	9,14	0,14

Fonte: Autor (2023).

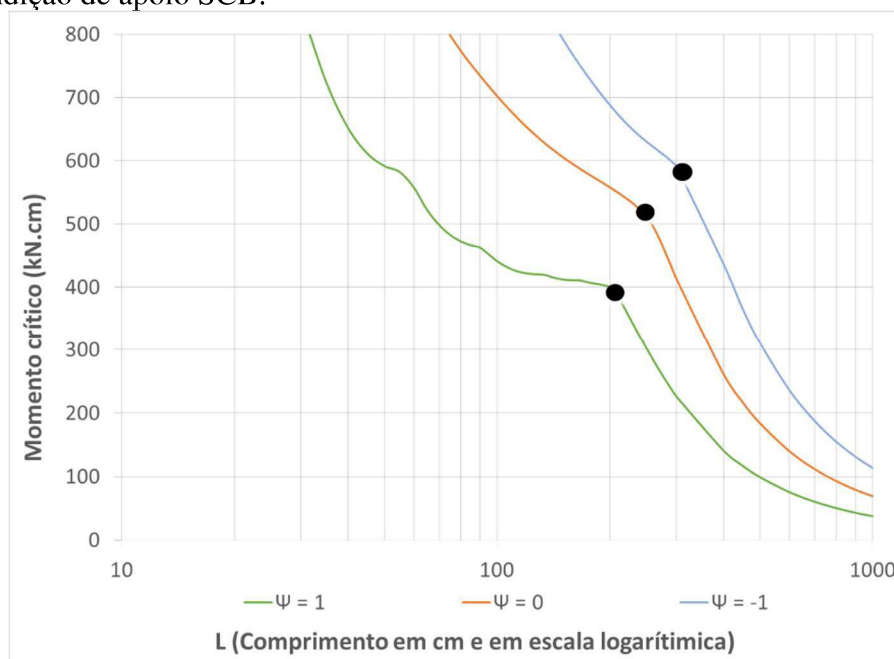
Da Figura 11 a Figura 14, são ilustradas as curvas de assinatura onde apresentam o comportamento do momento crítico de flambagem elástica em relação as variações dos comprimentos (em escala logarítmica), as condições de apoio, os gradientes adotados e os eixos de maior e menor inércia.

Figura 11 - Curva de assinatura ($M_{cr} \times L$) com diferentes valores de gradientes (Ψ) para seção V_{M1} na condição de apoio SCA.



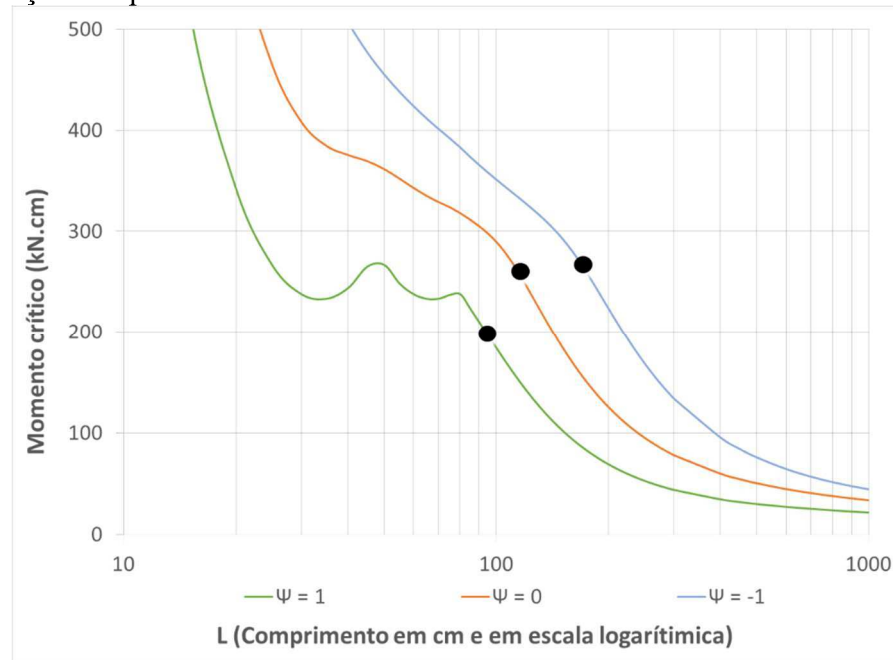
Fonte: Autor (2023).

Figura 12 - Curva de assinatura ($M_{cr} \times L$) com diferentes valores de gradientes (Ψ) para seção V_{M1} na condição de apoio SCB.



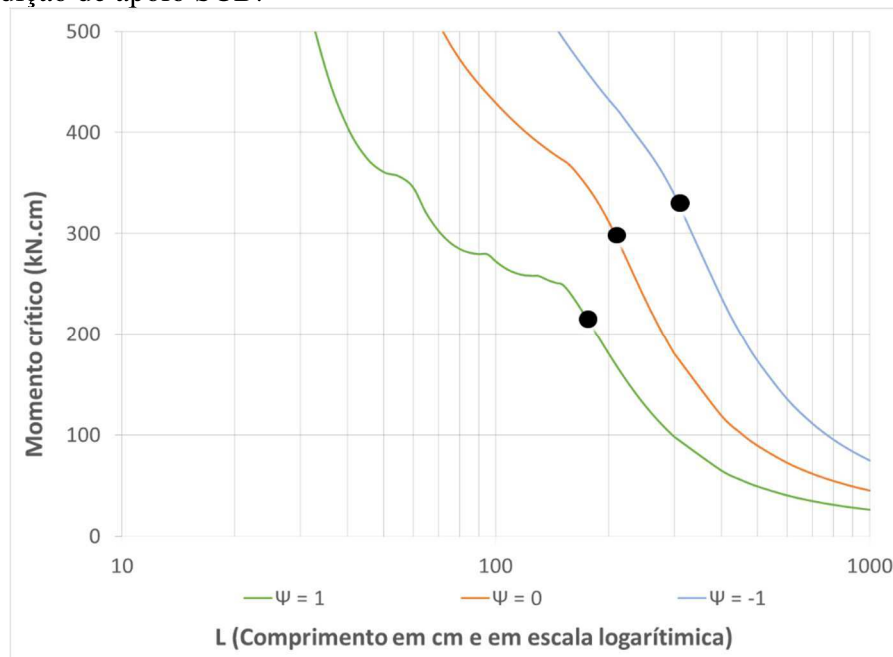
Fonte: Autor (2023).

Figura 13 - Curva de assinatura ($M_{cr} \times L$) com diferentes valores de gradientes (Ψ) para seção V_{m1} na condição de apoio SCA.



Fonte: Autor (2023).

Figura 14 - Curva de assinatura ($M_{cr} \times L$) com diferentes valores de gradientes (Ψ) para seção V_{m1} na condição de apoio SCB.

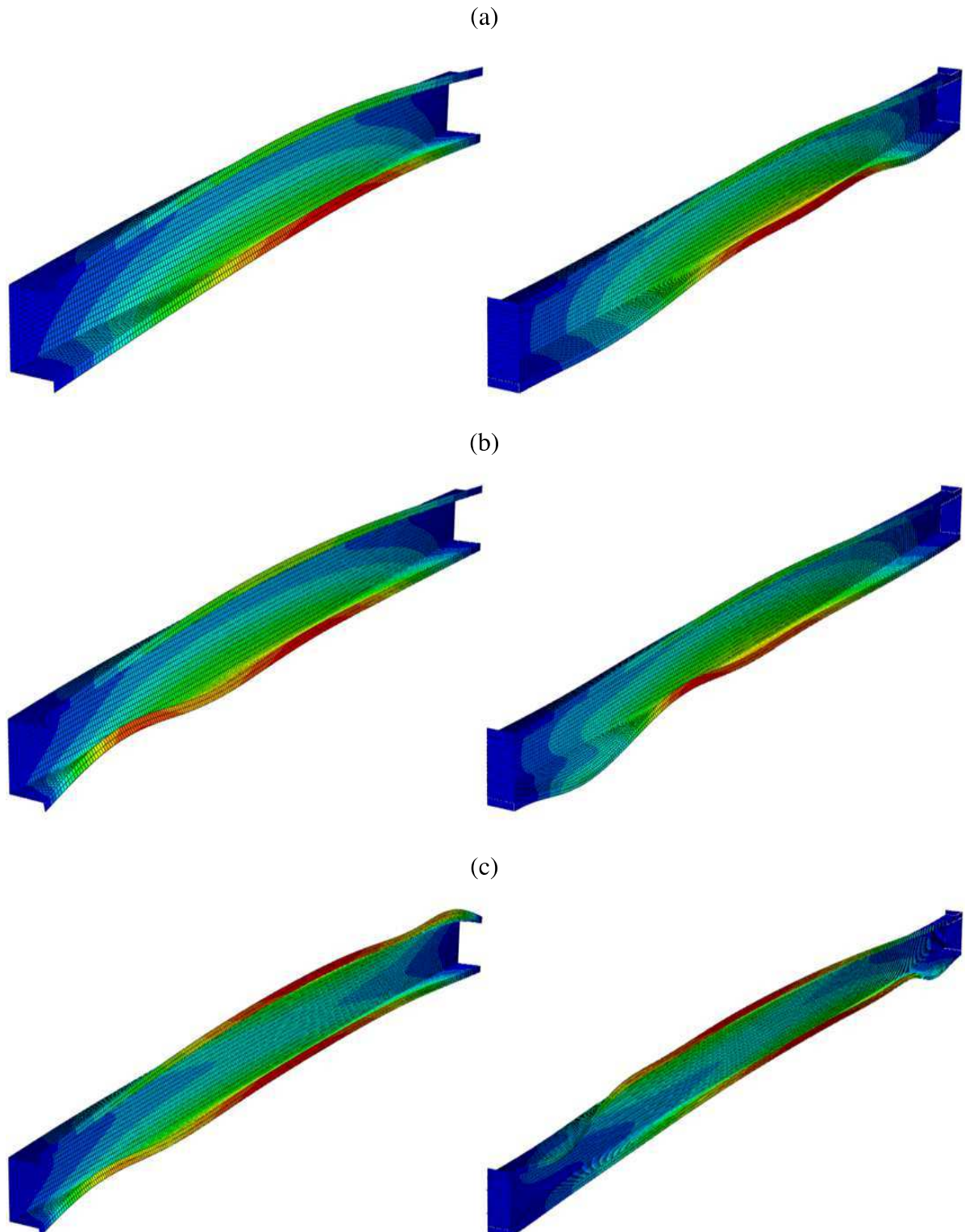


Fonte: Autor (2023).

As curvas das vigas submetidas à flexão não-uniforme, apresentaram cargas críticas maiores que as à flexão uniforme, conforme reportado por Yu e Schafer (2005), Depolli (2018), Lima (2018), Cruvinel (2021) e Dib (2023). Esta relação se manteve para o perfil cartola, pois as cargas críticas aumentam seguindo a sequência $\Psi = 1 \rightarrow 0 \rightarrow -1$ e SCA \rightarrow SCB.

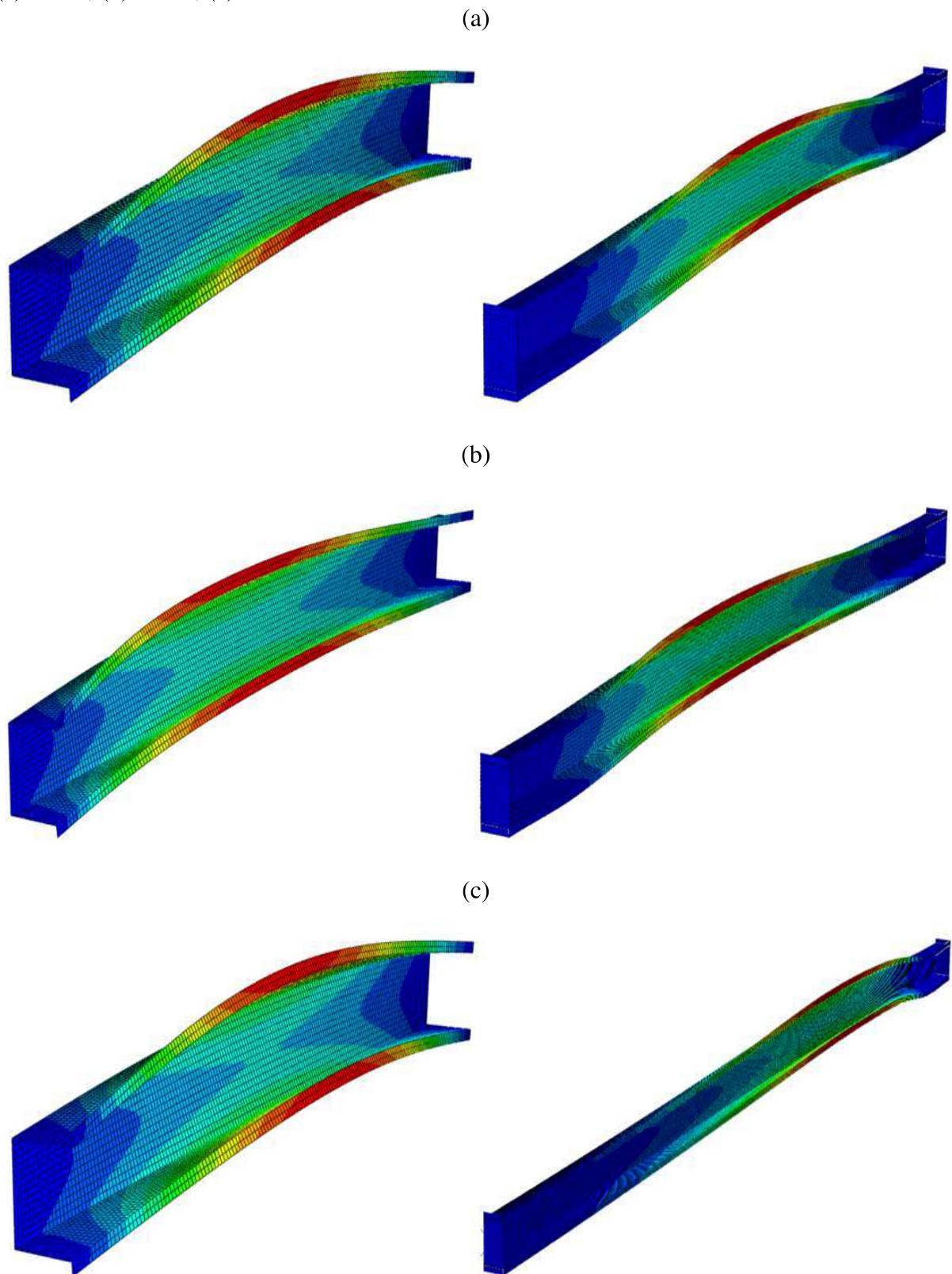
As deformadas das vigas também apresentaram comportamentos conforme o esperado para os diferentes gradientes e condições de apoios, conforme ilustrado nas Figura 15 e Figura 16.

Figura 15 - Situação da deformação da viga V_{M3} do modo de flambagem distorcional-global. (a) $\Psi = 1$, (b) $\Psi = 0$, (c) $\Psi = -1$.



Fonte: Autor (2022).

Figura 16 - Situação da deformação da viga V_{m3} do modo de flambagem distorcional-global. (a) $\Psi = 1$, (b) $\Psi = 0$, (c) $\Psi = -1$.



Fonte: Autor (2022).

5 ANÁLISE DE PÓS-FLAMBAGEM

5.1 MODELO NUMÉRICO EM ELEMENTOS FINITOS

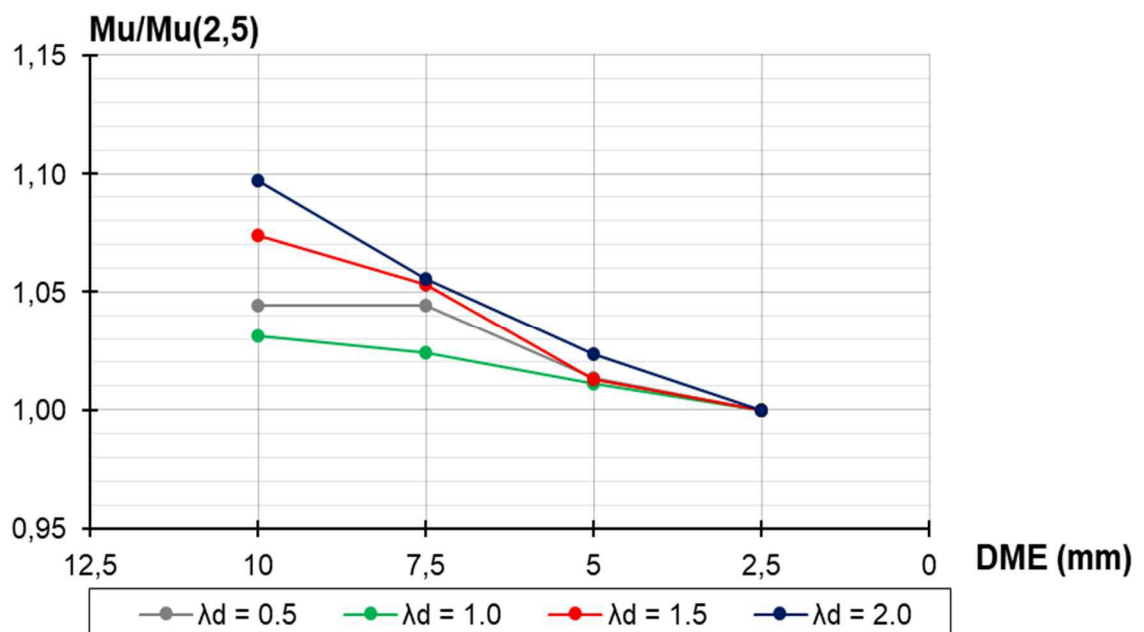
Os modelos numéricos que foram desenvolvidos seguindo o método dos elementos finitos, foi mediante a utilização do programa computacional ABAQUS (2020). Para escolha da dimensão do elemento finito (DME), definiu-se em primeiro lugar a geometria das peças, comportamento linear elástico, elástico-perfeitamente plástico (modelo de Prandtl-Reuss), valores do módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e tensão de escoamento (f_y). Foi adotado a malha do elemento de modelo S4, que trata de um elemento de casca linear com 4 lados e 4 nós. A malha seguiu os estudos feitos por Depolli *et al.* (2018), onde foi feita a análise de sensibilidade das dimensões do elemento conforme os resultados informados na Tabela 8 e Figura 17.

Tabela 8. Valores dos momentos resistentes para diferentes dimensões de malhas.

DME (mm)	λ_d			
	0,5	1,0	1,5	2,0
2,5	281,95	865,37	1210,87	1415,95
5,0	285,81	874,78	1226,32	1449,55
7,5	294,42	886,12	1275,16	1494,66
10,0	294,51	892,18	1300,15	1553,44

Fonte: Autor (2023).

Figura 17 – $M_u/M_u(2,5)$ x DME.



Fonte: Autor (2023).

A malha é um fator de extrema importância, pois quanto maior seu refino, mais se torna preciso os resultados. Em contrapartida disto, aumenta o consumo de recursos computacionais, levando a maiores tempos de processamento. De acordo com os resultados obtidos, os elementos com dimensões de 5 mm, 7,5 mm e 10 mm tiveram diferenças variando de 0,14% a 0,24%, 0,44% a 0,56% e 0,45 a 0,97%. Portanto, foi definido a utilização da dimensão de 5 mm, pois possui erros relativos abaixo de 0,5% e não exige o uso computacional de forma excessiva.

Para cada viga, foram selecionados 8 valores de tensão de escoamento variando de $0,20 \leq \lambda_{\text{dist}} \leq 4,40$. Os valores iniciais para λ_{dist} foram arbitrados de forma aleatória na faixa de 0,20 a 0,65. Os outros 7 valores foram obtidos mediante ao uso da progressão aritmética sendo na razão de 0,50 e variação de 0,20 para cada gradiente de momento, conforme apresentado na Tabela 9.

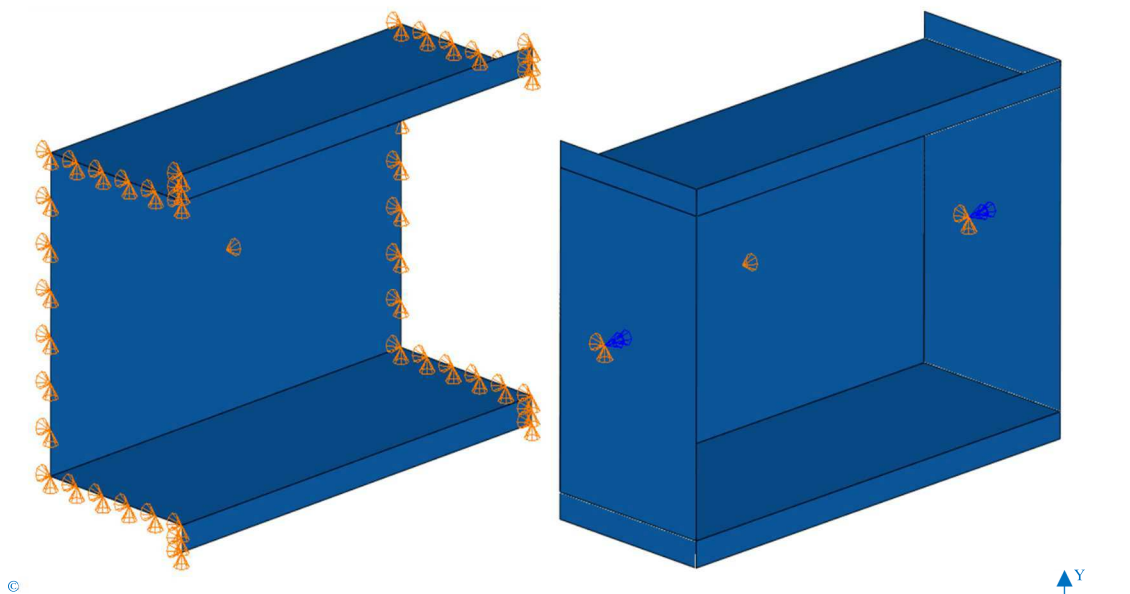
Tabela 9. Índices de esbeltez adotados.

		VIGA									
ψ	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	
1	0,20	0,35	0,60	0,40	0,25	0,30	0,65	0,45	0,55	0,50	
	0,70	0,85	1,10	0,90	0,75	0,80	1,15	0,95	1,05	1,00	
	1,20	1,35	1,60	1,40	1,25	1,30	1,65	1,45	1,55	1,50	
	1,70	1,85	2,10	1,90	1,75	1,80	2,15	1,95	2,05	2,00	
	2,20	2,35	2,60	2,40	2,25	2,30	2,65	2,45	2,55	2,50	
	2,70	2,85	3,10	2,90	2,75	2,80	3,15	2,95	3,05	3,00	
	3,20	3,35	3,60	3,40	3,25	3,30	3,65	3,45	3,55	3,50	
	3,70	3,85	4,10	3,90	3,75	3,80	4,15	3,95	4,05	4,00	
0	0,40	0,55	0,80	0,60	0,45	0,50	0,85	0,65	0,75	0,70	
	0,90	1,05	1,30	1,10	0,95	1,00	1,35	1,15	1,25	1,20	
	1,40	1,55	1,80	1,60	1,45	1,50	1,85	1,65	1,75	1,70	
	1,90	2,05	2,30	2,10	1,95	2,00	2,35	2,15	2,25	2,20	
	2,40	2,55	2,80	2,60	2,45	2,50	2,85	2,65	2,75	2,70	
	2,90	3,05	3,30	3,10	2,95	3,00	3,35	3,15	3,25	3,20	
	3,40	3,55	3,80	3,60	3,45	3,50	3,85	3,65	3,75	3,70	
	3,90	4,05	4,30	4,10	3,95	4,00	4,35	4,15	4,25	4,20	
-1	0,60	0,75	1,00	0,80	0,65	0,70	1,05	0,85	0,95	0,90	
	1,10	1,25	1,50	1,30	1,15	1,20	1,55	1,35	1,45	1,40	
	1,60	1,75	2,00	1,80	1,65	1,70	2,05	1,85	1,95	1,90	
	2,10	2,25	2,50	2,30	2,15	2,20	2,55	2,35	2,45	2,40	
	2,60	2,75	3,00	2,80	2,65	2,70	3,05	2,85	2,95	2,90	
	3,10	3,25	3,50	3,30	3,15	3,20	3,55	3,35	3,45	3,40	
	3,60	3,75	4,00	3,80	3,65	3,70	4,05	3,85	3,95	3,90	
	4,10	4,25	4,50	4,30	4,15	4,20	4,55	4,35	4,45	4,40	

Fonte: Autor (2023).

Para que a modelagem dos elementos no ABAQUS mantivesse os critérios adotados no GBTUL, foram aplicadas na condição de apoio SCA (flexão livre nos seus eixos de maior e menor inércia, empenamento livre e torção impedida) restrições ao deslocamento nas extremidades da seção transversal nos eixos x (U1) e y (U2) e no centro da alma do perfil, restringindo o deslocamento no eixo z (U3). Em relação a condição de apoio SCB (flexão livre nos seus eixos de maior e menor inércia, mas, o empenamento e torção são impedidos), foi necessário adicionar placas rígidas em suas extremidades, onde alterou-se o módulo de elasticidade para que fosse 10 vezes maior (2000 GPa), de tal modo que aumentasse a rigidez e impedisse a rotação. Portanto nesta situação aplicou-se restrições ao deslocamento nas extremidades da seção transversal nos eixos x (U1), y (U2) e restringiu a rotação no eixo z (UR3). No ponto central da alma do perfil, também restringiu o deslocamento no eixo z (U3). Todas as configurações são ilustradas na Figura 18.

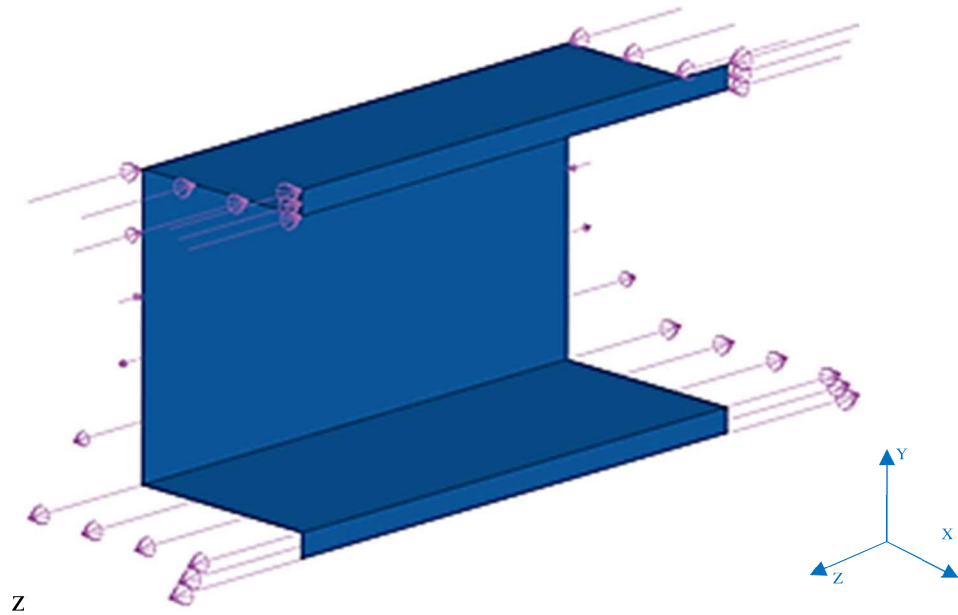
Figura 18 - Condições de apoio: (a) SCA e (b) SCB.



Fonte: Autor (2023).

Conforme as condições de apoios definidas, foi necessário realizar a aplicação do carregamento de forma diferente. Portanto, para a condição SCA, foi feito a aplicação forças concentradas para que produzissem um carregamento estaticamente equivalente à 1 kN.cm, tendo atuação em ambas as extremidades do elemento, conforme ilustrado na Figura 19, que trata de um carregamento aplicado no eixo de maior inércia.

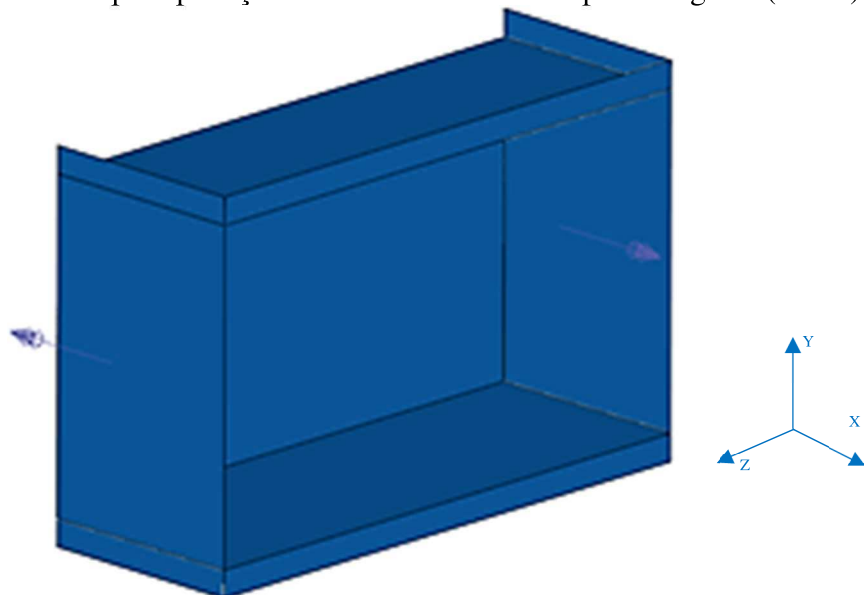
Figura 19 - Força produzida por equivalência de momento em carga concentrada ($\Psi = 1$).



Fonte: Autor (2023).

Para a condição SCB, aplicou-se o carregamento de momento de 1 kN.cm direto nas extremidades da placa rígida, conforme ilustrado na Figura 20, que trata de um carregamento aplicado no eixo de maior inércia.

Figura 20 - Força produzida por aplicação de momentos sobre as placas rígidas ($\Psi = 1$).

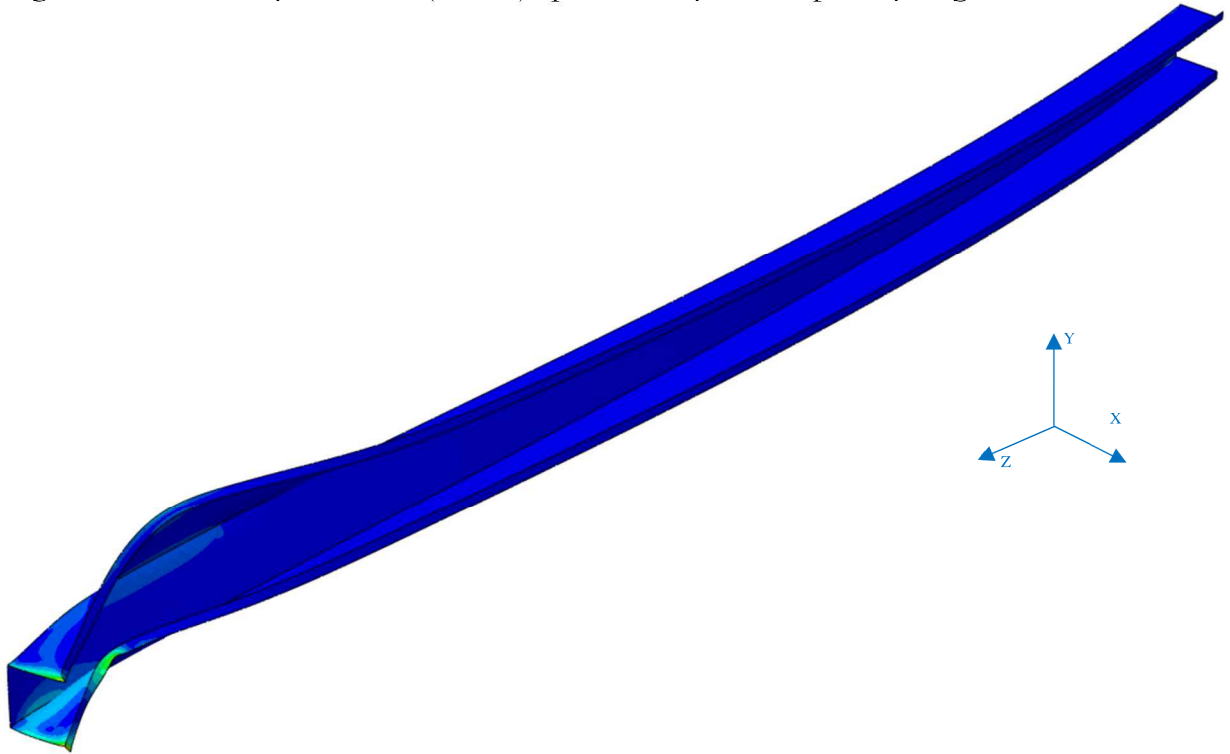


Fonte: Autor (2023).

Outro fator é em relação a consideração de não-linearidades geométricas, onde foram obtidas as imperfeições multiplicando-se o deslocamento de cada um dos nós por 10% da espessura do perfil (0,1t) conforme também analisado por Martins *et al.* (2017) e Depolli (2018). Na Figura 21 é ilustrado a viga V_{m3} após a inserção de imperfeições geométricas.

Camotim *et al.* (2018) informaram que o endurecimento, cantos arredondados e tensões residuais têm pouco impacto na resistência do elemento sendo também desconsideradas deste trabalho.

Figura 21 - Deformação da V_{m1} ($\Psi = -1$) após a inserção de imperfeições geométricas.



Fonte: Autor (2023).

5.1.1 Validação do modelo numérico

As seções inicialmente foram definidas com a utilização do GBTUL e posteriormente modeladas no ABAQUS (2020), sendo seus respectivos comprimentos já apresentados nas Tabela 2. Por meio do procedimento de análise linear de estabilidade (*linear perturbation – buckle*), foram obtidos os valores de momentos críticos e os seus respectivos modos de flambagem correspondentes para as vigas que foram selecionadas. Nas Tabela 10 e Tabela 11, são apresentados os valores correspondentes dos momentos críticos de flambagem obtidos pelo ABAQUS (M_{Abq}) e GBTUL (M_{crDG}) de cada viga, eixo e hipótese de carregamento.

Tabela 10. Relação M_{crDG} e M_{Abq} para a condição de apoio SCA.

VIGA	$\Psi = 1$			$\Psi = 0$			$\Psi = -1$		
	M_{crDG} (kN.cm)	M_{Abq} (kN.cm)	$\frac{M_{crDG}}{M_{Abq}}$	M_{crDG} (kN.cm)	M_{Abq} (kN.cm)	$\frac{M_{crDG}}{M_{Abq}}$	M_{crDG} (kN.cm)	M_{Abq} (kN.cm)	$\frac{M_{crDG}}{M_{Abq}}$
V _{M1}	366,06	363,53	1,01	455,00	447,81	1,02	485,56	471,28	1,03
V _{m1}	196,42	195,15	1,01	258,30	256,44	1,01	266,36	263,68	1,01
V _{M2}	536,10	531,78	1,01	674,77	661,65	1,02	722,27	694,02	1,04
V _{m2}	325,09	322,13	1,01	423,18	418,87	1,01	431,88	426,15	1,01
V _{M3}	419,37	416,29	1,01	478,00	472,99	1,01	525,51	509,45	1,03
V _{m3}	206,24	204,94	1,01	260,90	259,13	1,01	276,04	273,12	1,01
V _{M4}	585,05	580,26	1,01	731,98	716,82	1,02	785,86	753,40	1,04
V _{m4}	340,41	337,42	1,01	426,75	422,68	1,01	435,94	430,27	1,01
V _{M5}	553,54	549,40	1,01	680,93	672,25	1,01	735,51	711,11	1,03
V _{m5}	269,58	267,92	1,01	332,34	330,22	1,01	364,93	359,90	1,01
V _{M6}	646,68	642,13	1,01	747,25	737,44	1,01	809,34	775,15	1,04
V _{m6}	332,99	330,88	1,01	410,92	408,26	1,01	443,20	438,17	1,01
V _{M7}	860,71	853,85	1,01	1.001,95	985,64	1,02	1.073,45	1.028,90	1,04
V _{m7}	484,64	480,75	1,01	594,70	589,72	1,01	622,52	614,60	1,01
V _{M8}	637,34	632,31	1,01	773,88	757,77	1,02	816,03	796,04	1,03
V _{m8}	259,33	257,90	1,01	334,63	332,65	1,01	352,59	348,70	1,01
V _{M9}	1.036,66	1.027,60	1,01	1.185,14	1.173,10	1,01	1.293,95	1.247,60	1,04
V _{m9}	503,83	499,84	1,01	602,07	597,17	1,01	646,61	637,74	1,01
V _{M10}	1.292,18	1.280,00	1,01	1.447,90	1.432,20	1,01	1.591,21	1.525,70	1,04
V _{m10}	660,46	654,41	1,01	794,08	786,43	1,01	854,31	840,84	1,02

Fonte: Autor (2023).

Tabela 11. Relação M_{crDG} e M_{Abq} para a condição de apoio SCB.

VIGA	$\Psi = 1$			$\Psi = 0$			$\Psi = -1$		
	M_{crDG} (kN.cm)	M_{Abq} (kN.cm)	$\frac{M_{crDG}}{M_{Abq}}$	M_{crDG} (kN.cm)	M_{Abq} (kN.cm)	$\frac{M_{crDG}}{M_{Abq}}$	M_{crDG} (kN.cm)	M_{Abq} (kN.cm)	$\frac{M_{crDG}}{M_{Abq}}$
V _{M1}	384,99	381,81	1,01	511,72	504,15	1,02	586,50	563,13	1,04
V _{m1}	216,02	214,00	1,01	296,79	293,84	1,01	328,10	319,59	1,03
V _{M2}	566,84	561,67	1,01	749,93	737,73	1,02	808,79	774,40	1,04
V _{m2}	345,43	341,39	1,01	486,54	480,34	1,01	539,46	522,97	1,03
V _{M3}	412,48	409,15	1,01	550,87	542,95	1,01	628,32	602,27	1,04
V _{m3}	210,59	208,80	1,01	302,52	299,64	1,01	336,81	326,73	1,03
V _{M4}	622,76	616,93	1,01	816,62	802,37	1,02	879,75	842,22	1,04
V _{m4}	347,44	343,67	1,01	482,25	476,70	1,01	544,05	525,63	1,04
V _{M5}	603,29	596,69	1,01	775,40	760,62	1,02	835,13	801,77	1,04
V _{m5}	279,02	276,85	1,01	368,85	365,74	1,01	418,46	404,18	1,04
V _{M6}	657,08	651,69	1,01	833,80	812,75	1,03	892,98	856,20	1,04
V _{m6}	350,19	347,39	1,01	456,55	452,52	1,01	521,76	505,29	1,03
V _{M7}	859,81	852,63	1,01	1.116,31	1.082,00	1,03	1.171,96	1.124,20	1,04
V _{m7}	482,86	478,37	1,01	660,13	653,09	1,01	756,51	728,89	1,04
V _{M8}	656,79	650,89	1,01	860,62	844,74	1,02	937,31	901,03	1,04
V _{m8}	280,64	278,69	1,01	365,89	362,80	1,01	398,58	388,19	1,03
V _{M9}	1.043,35	1.033,70	1,01	1.346,99	1.311,10	1,03	1.418,54	1.368,20	1,04
V _{m9}	514,62	509,96	1,01	676,42	668,87	1,01	723,21	703,18	1,03
V _{M10}	1.317,62	1.304,40	1,01	1.660,81	1.606,10	1,03	1.742,28	1.674,10	1,04
V _{m10}	672,89	665,97	1,01	887,99	876,80	1,01	941,06	914,28	1,03

Fonte: Autor (2023).

Para continuidade desta etapa de validação, foi utilizado o método de Riks modificado (*general – static, Riks*), onde foram analisadas as não-linearidades de pós-flambagem da viga C2 estudada por Depolli (2018). Depolli estudou o perfil do tipo Ue (U enrijecido) tendo dimensões de 90 x 75 x 6,25 x 1,8 mm, área de 4,5 cm, comprimento de 55 e submetido a flexão não-uniforme em seu eixo de maior inércia e duas condições de apoio (SCA e SCB). Também foram consideradas oito índices de esbeltez distorcional para cada elemento. Os resultados entre os momentos últimos reportados por Depolli (M_{u-D}) e os obtidos pelos modelos desenvolvidos (M_{u-MEF}), são apresentados na Tabela 12 e Tabela 13.

Tabela 12. Comparação dos resultados reportados de Depolli (2018) com os obtidos pelo MEF – viga C2 (SCA).

Ψ	λ_d	f_y (kN.cm ²)	M_{u-D} (kN.cm)	M_{u-MEF} (kN.cm)	$\frac{M_{u-D}}{M_{u-MEF}}$
1	0,55	5,54	89,30	85,55	1,04
	1,05	20,20	251,20	252,55	0,99
	1,55	44,01	293,30	291,70	1,01
	2,05	76,98	322,80	326,48	0,99
	2,55	119,11	353,40	359,45	0,98
	3,05	170,40	390,40	393,16	0,99
	3,55	230,85	409,80	408,05	1,00
	4,05	300,46	424,40	424,57	1,00

Fonte: Autor (2023).

Tabela 13. Comparação dos resultados reportados de Depolli (2018) com os obtidos pelo MEF – viga C2 (SCB).

Ψ	λ_d	f_y (kN.cm ²)	M_{u-D} (kN.cm)	M_{u-MEF} (kN.cm)	$\frac{M_{u-D}}{M_{u-MEF}}$
1	0,55	7,91	124,80	124,57	1,00
	1,05	28,83	330,30	332,23	0,99
	1,55	62,83	415,40	412,43	1,01
	2,05	109,90	596,50	590,87	1,01
	2,55	170,05	769,10	758,25	1,01
	3,05	243,27	933,90	917,48	1,02
	3,55	329,57	1077,70	1058,41	1,02
	4,05	428,94	1172,00	1170,39	1,00

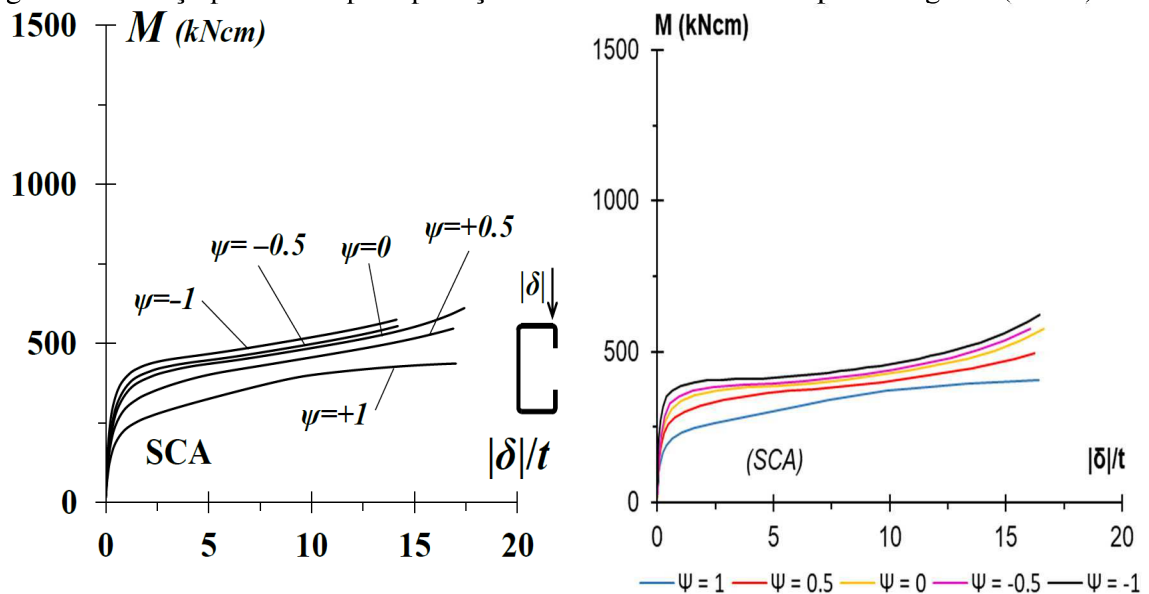
Fonte: Autor (2023).

Mediante aos resultados obtidos, é possível observar que a maior diferença entre M_{u-D} (Momento último da Depolli) e M_{Abq} (Momento último obtido pelo Abaqus) foi de M_{u-D}/M_{Abq}

= 1,04, ou seja, na ordem de 4%. Portanto, os resultados indicam que a modelagem segue de forma adequada aos reportados por Depolli (2018).

Em sequência, na Figura 22 é ilustrada as trajetórias de equilíbrio de pós-flambagem elástica ($M \times |\delta|/t$) reportadas por Depolli (2018) e as que foram obtidas por meio do modelo desenvolvido. É notável que ambas as ilustrações possuem similaridades entre as trajetórias.

Figura 22 - Força produzida por aplicação de momentos sobre as placas rígidas ($\Psi = 1$).



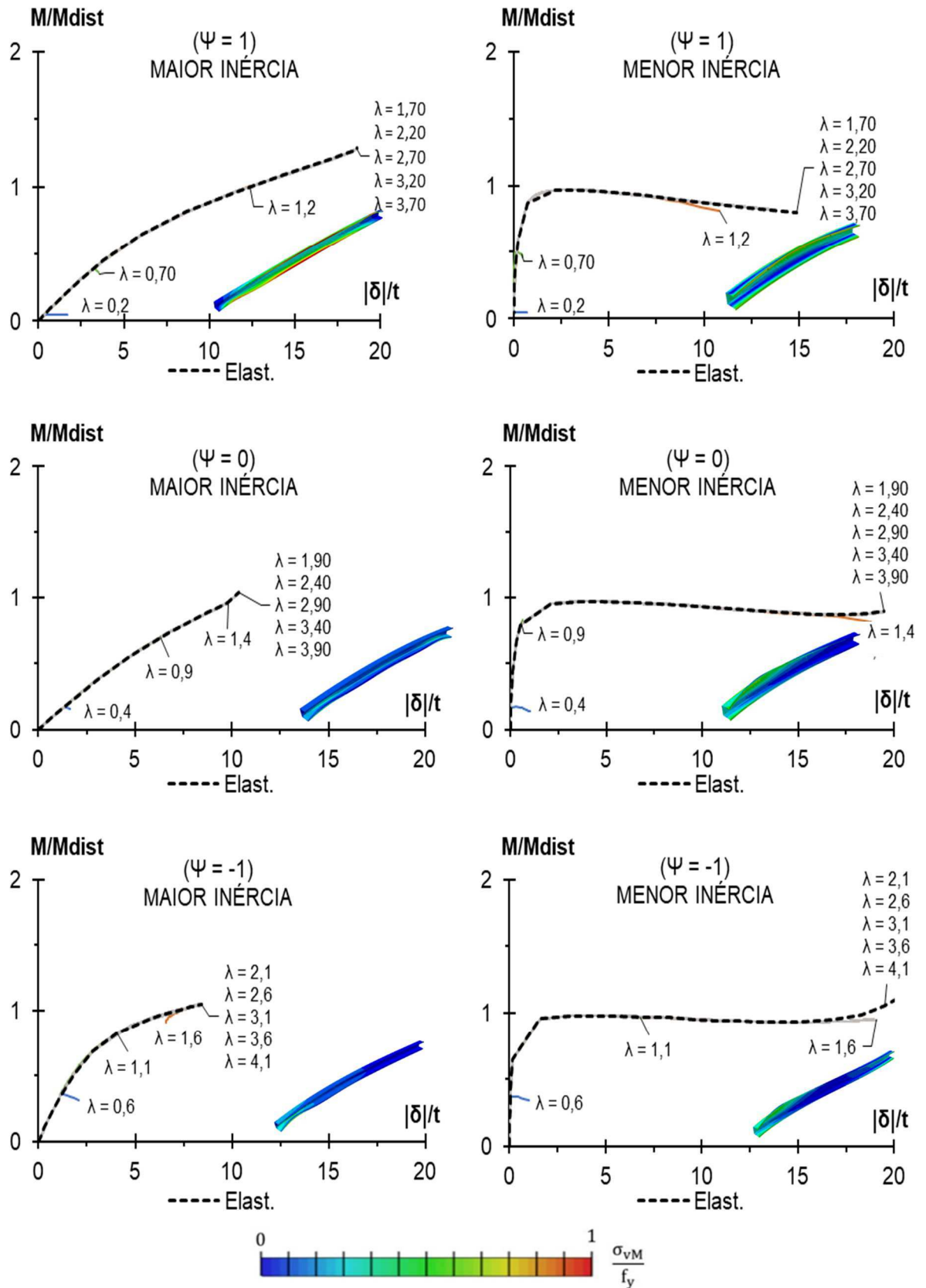
Fonte: Autor (2023).

Após ter evidenciado que os valores das análises de flambagem elásticas e o comportamento das trajetórias de equilíbrio tem resultados precisos, pode-se considerar o modelo como validado.

5.2 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PÓS-FLAMBAGEM ELASTO-PLÁSTICA

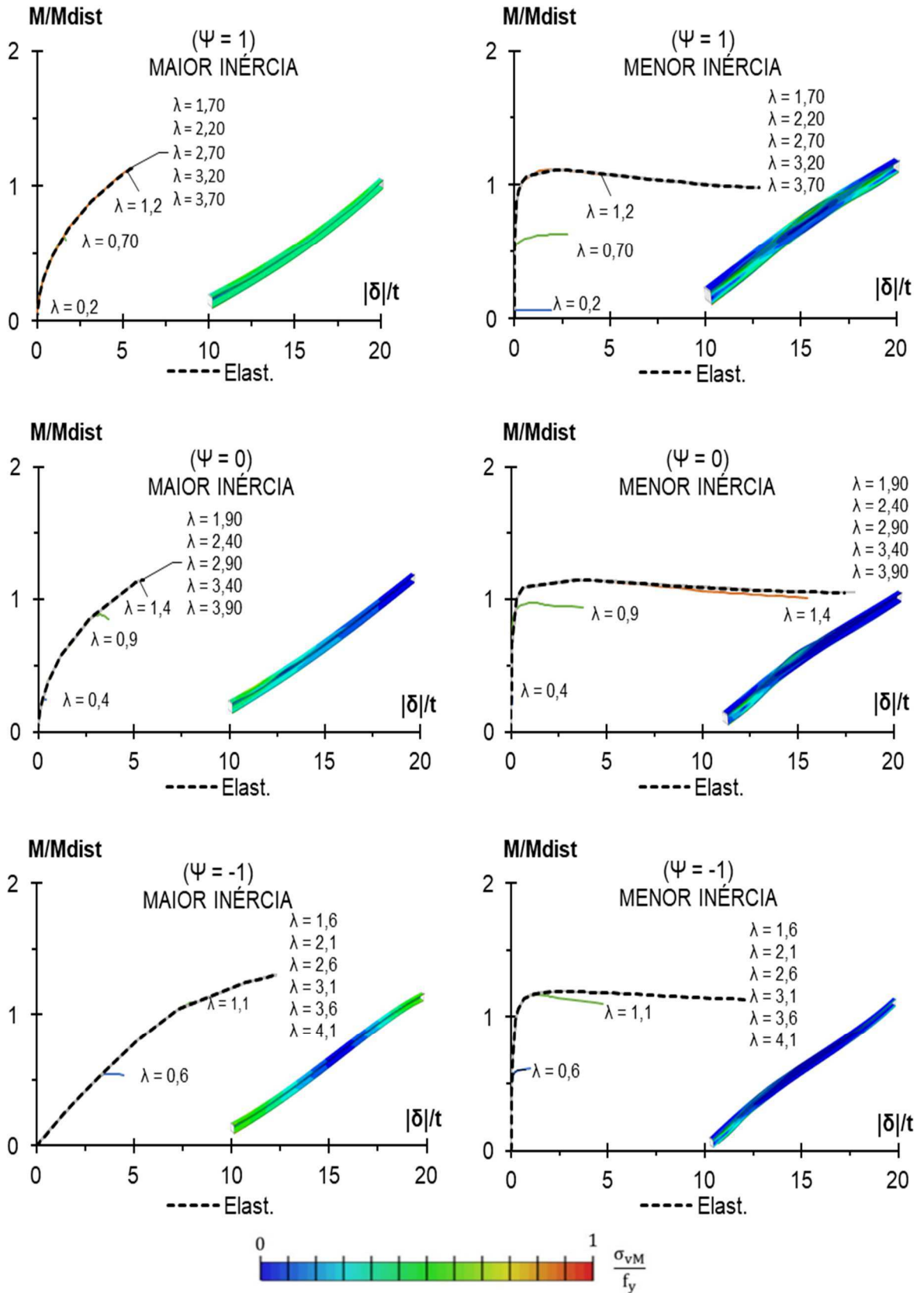
Seguindo o objetivo de fazer análises do comportamento elasto-plástico das vigas estudadas, foram verificados o quanto as condições de apoio (SCA e SCB) e os gradientes ($\Psi = +1$; 0 e -1) geram influência nas trajetórias de equilíbrio. Desta forma, é ilustrado na Figura 23 as trajetórias de equilíbrio elasto-plásticas distorcionais (M_u/M_{dist} vs. $|\delta|/t$) para a viga V1, em seus eixos de maior e menor inércia, três gradientes de carregamento e duas condições de apoio.

Figura 23 – Comparativo das trajetórias de equilíbrio de pós-flambagem para viga V1 e condição de apoio SCA.



Fonte: Autor (2023).

Figura 24 – Comparativo das trajetórias de equilíbrio de pós-flambagem para viga V1 e condição de apoio SCB.



Fonte: Autor (2023).

É importante observar que as trajetórias de equilíbrio seguem o caminho das trajetórias elásticas até chegarem ao momento em que ocorra a perda da estabilidade. Isto ocorre quando o ponto mais crítico chega na tensão de escoamento, fazendo com que passe do regime elástico para o elasto-plástico levando a estrutura a atingir a sua capacidade resistente, no qual é observado mediante a deformação do elemento e seu respectivo gradiente de tensão de von Mises (σ_{VM}). Outro fator é em relação as trajetórias de equilíbrio possuem comportamentos diferentes para as condições de apoio SCA e SCB, gerando influências no comportamento elasto-plástico.

Os valores dos índices de esbeltez (λ_{dist}) foram de 0,2 a 3,7 ($\Psi = 1$), 0,4 a 3,9 ($\Psi = 0$) e 0,6 a 4,1 ($\Psi = -1$) tendo variação nos incrementos de 0,5 entre eles. Além disto, é notável que maiores índices de esbeltez, levam a maiores deslocamentos em relação a M/M_{dist} até a sua perda de estabilidade, sendo semelhantes para todas as condições de apoios e gradientes. Em contrapartida disto, quanto maior o λ_{dist} , maior é sua tendência de acompanhar a trajetória elástica.

5.3 MOMENTO RESISTENTE

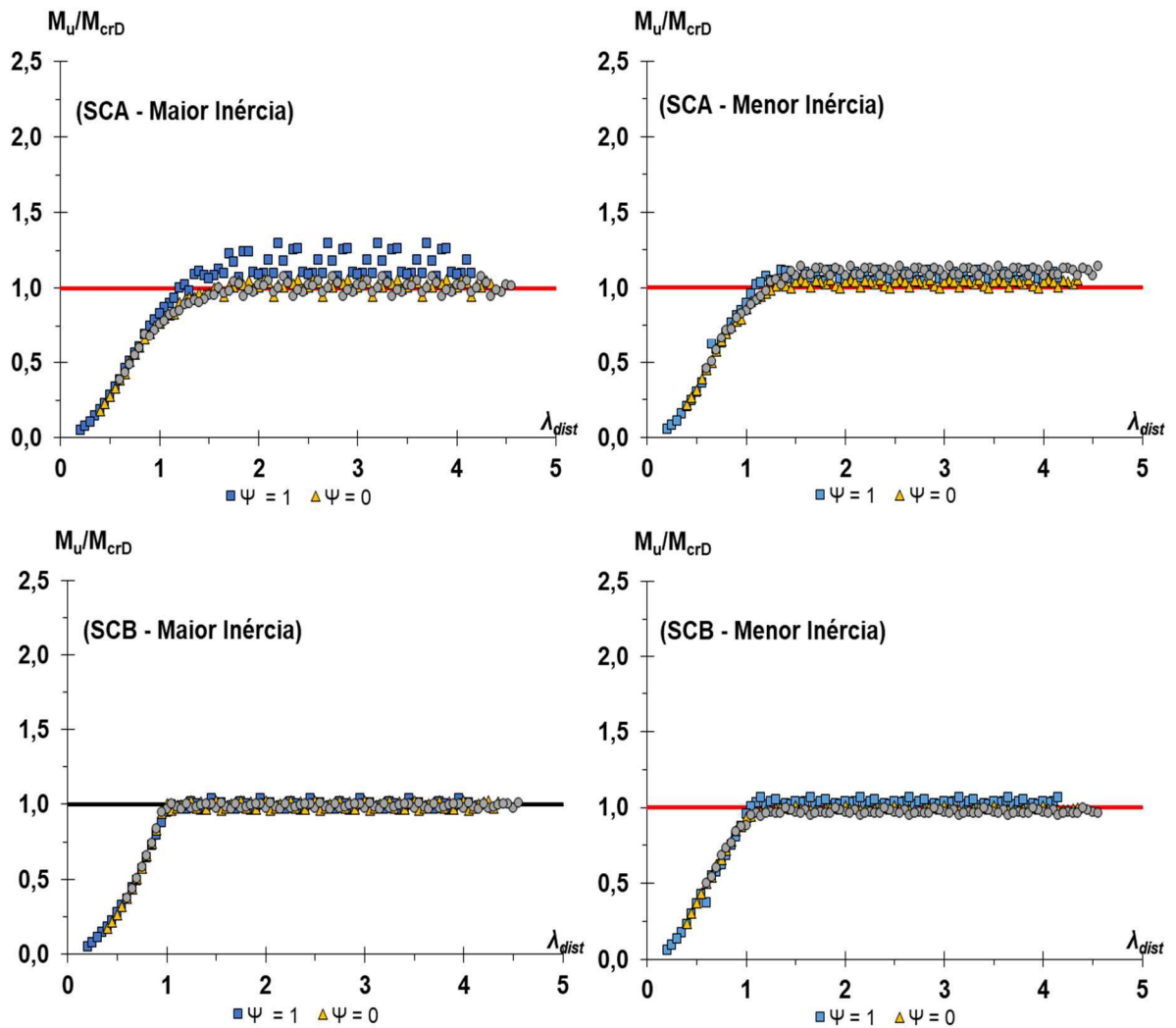
Neste trabalho foram analisados os momentos resistentes de 10 geometrias selecionadas, submetidas a interação distorcional-global, duas condições de apoio (SCA e SCB), três gradientes de momentos ($\Psi = +1; 0$ e -1), dois eixos de inércia, oito índices de esbeltez (variando de 0,2 até 4,4) levando a um total de 960 elementos.

No Apêndice A, encontram-se nas Tabela A.1 a Tabela A.20, os resultados obtidos mediante aos modelos numéricos (por meio do MEF), os obtidos pelo Método da Resistência Direta (MRD) e os modelos estudados por outros autores. Além disto, é possível verificar que o índice de esbeltez provoca o aumento do momento resistente até um certo limite, condicionando a partir disto, o elemento ter falha em regime elástico.

Todos os resultados obtidos via MEF para os 960 elementos foram apresentados em forma de nuvem de pontos, sendo o momento último normalizado (M_u/M_{dist}) e os momentos de escoamento (M_u/M_y) (conforme ilustrado na Figura 25 apresentado em sua forma normalizada). Os resultados apresentados na nuvem de pontos ($M_u/M_{crD} \times \lambda_{dist}$), confirmam que para perfis submetidos a flexão na maior inércia, para a condição de apoio A, apresentam maior reserva de

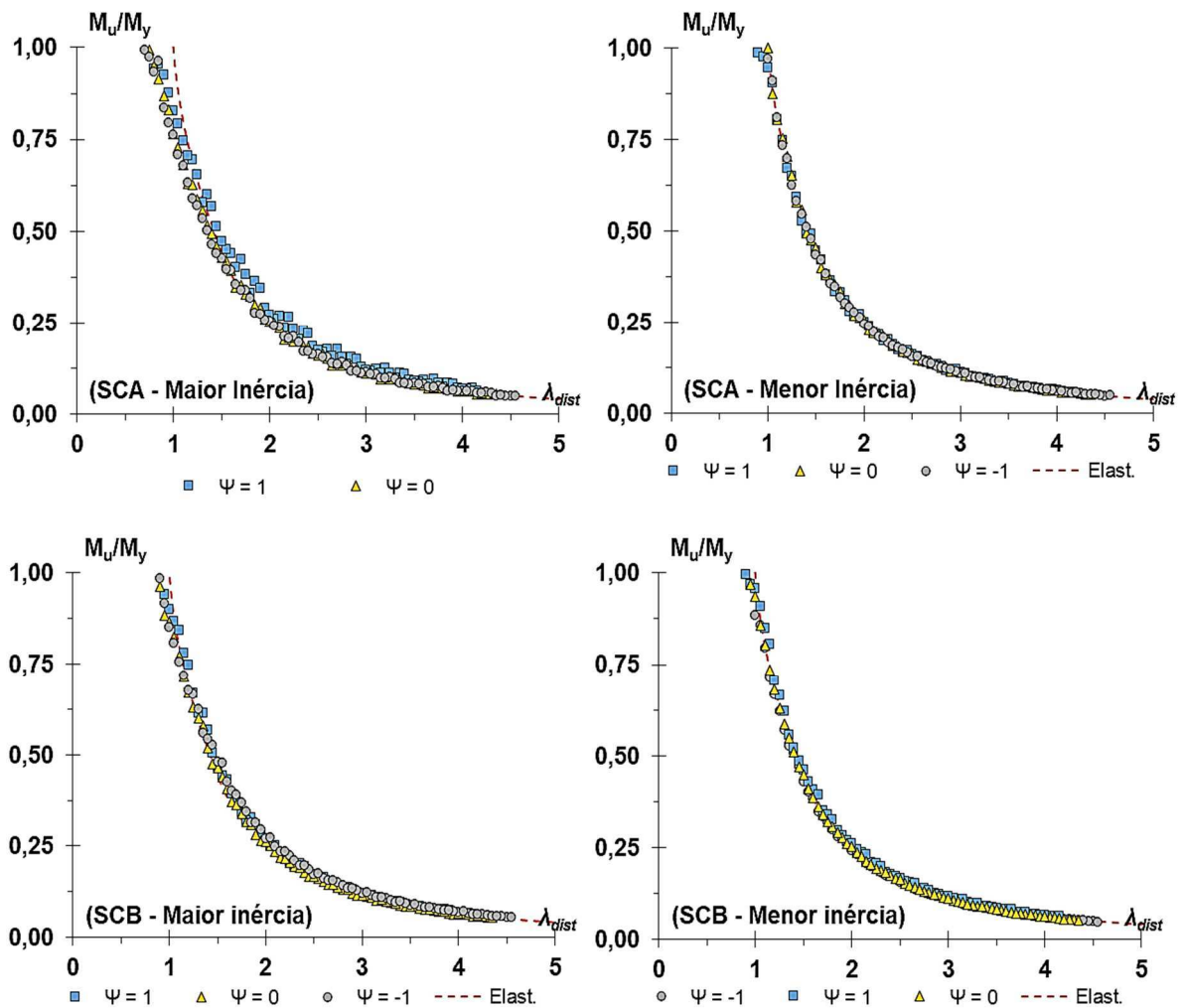
resistência pós-crítica, que relaciona com a diferença entre o momento último e o momento crítico de flambagem distorcional. Os valores obtidos, demonstram seguir em conformidade com a curva de dimensionamento do tipo “Winter” para todas as condições adotadas neste trabalho. Portanto, reforça que o MRD pode ser utilizado para determinar os valores dos momentos resistentes. Além disto, a curva elástica estima de forma adequada a capacidade resistente à flambagem, conforme observado na Figura 26.

Figura 25 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{crD} \times \lambda_{dist}$.



Fonte: Autor (2023).

Figura 26 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_y \times \lambda_{dist}$.



Fonte: Autor (2023).

5.4 MOMENTO RESISTENTE POR MEIO DO MRD

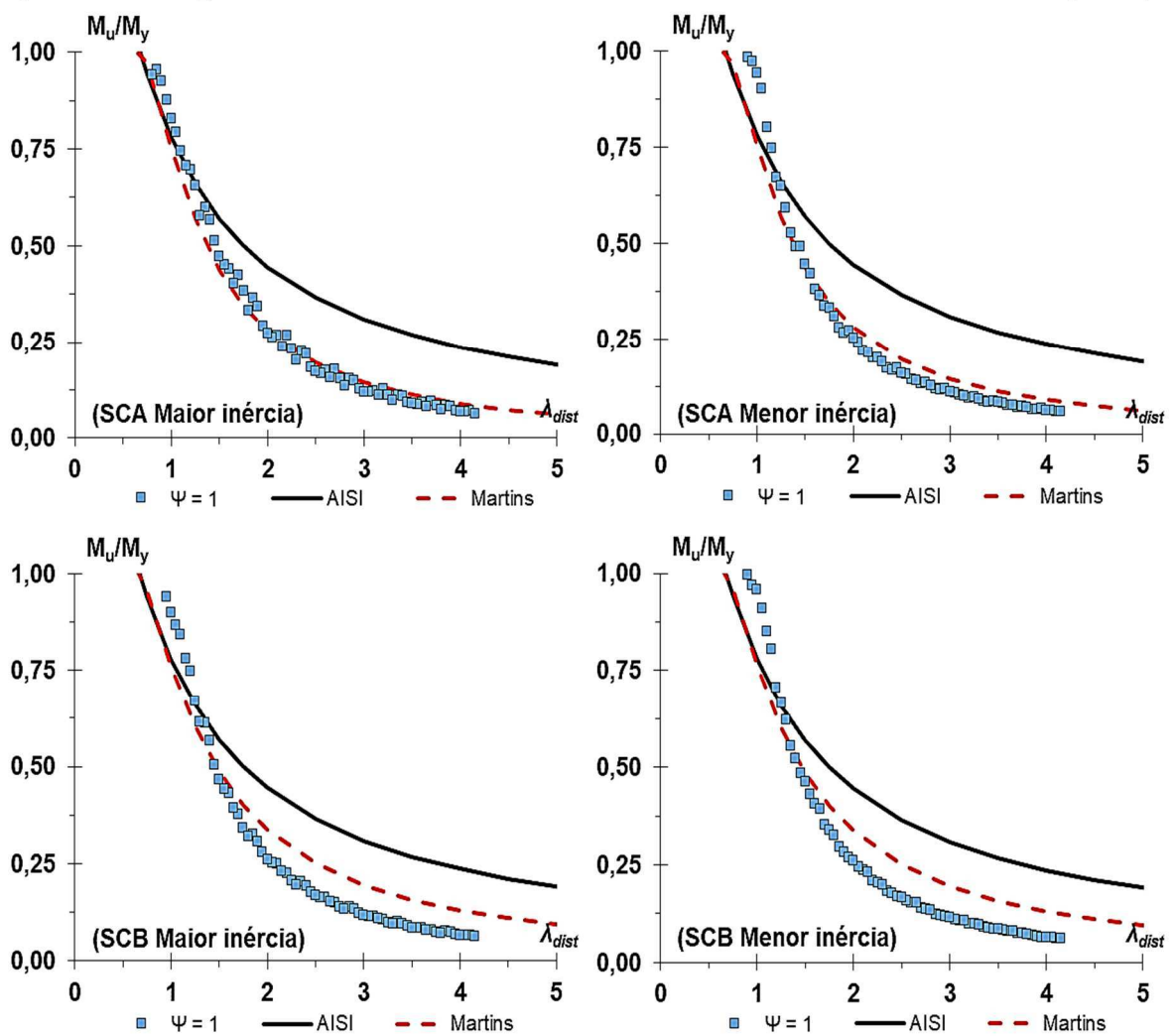
Os momentos últimos normalizados dos 960 elementos, foram obtidos por meio do MRD, contido na norma técnica AISI S100-16, por análises pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) e a proposta de Martins *et al.* (2017b). Portanto, os resultados foram agrupados em forma de nuvem de pontos ($M_u/M_{dist} \times \lambda_{dist}$), conforme ilustrado nas Figura 27 a Figura 29. Os valores de momento último (M_u) são apresentados no Apêndice A para cada valor de índice de esbelteza distorcional (λ_{dist}), condição de apoio e os eixos de maior e menor inércias.

De acordo com Martins (2017b) e Depolli (2018), as curvas de dimensionamento distorcional atualmente codificada preveem de forma insegura os valores de resistência última das estruturas

que contêm índices de esbelteza considerado médio a alto, levando a ter uma grande quantidade de resultados inseguros e superestimando a capacidade resistente do elemento.

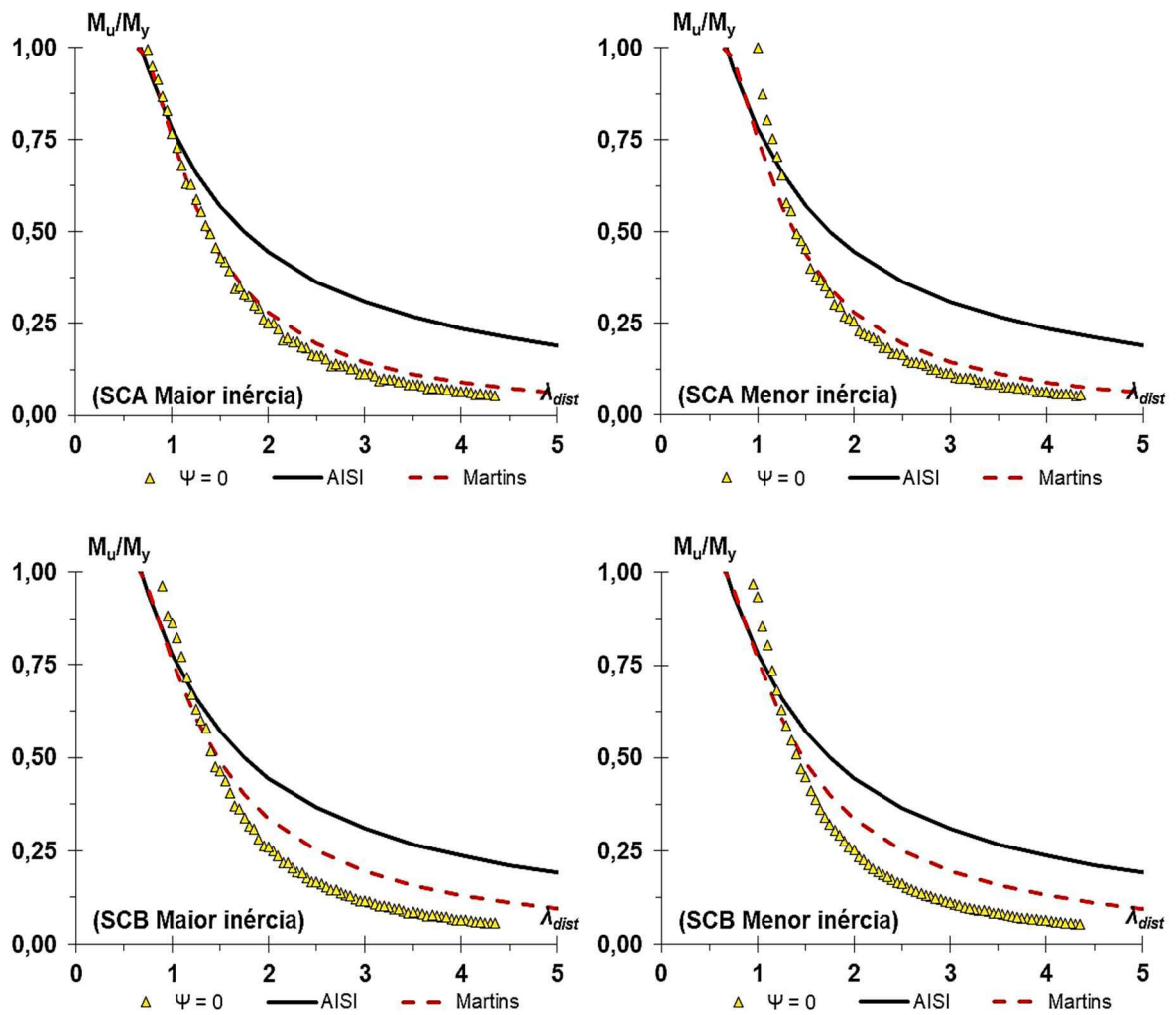
Martins *et al.* (2017b), realizou estudos que contribuíram extremamente para as previsões da capacidade de resistência das estruturas, porém, ao considerar o perfil cartola, submetidos a flexão não-uniforme em seus eixos de maior e menor inércia, foi observado uma quantidade considerável de estimativas inseguras, conforme já observado por Depolli (2018) e Dib (2023).

Figura 27 - Comparação de momentos resistentes do MRD e de modelos numéricos ($\Psi = 1$).



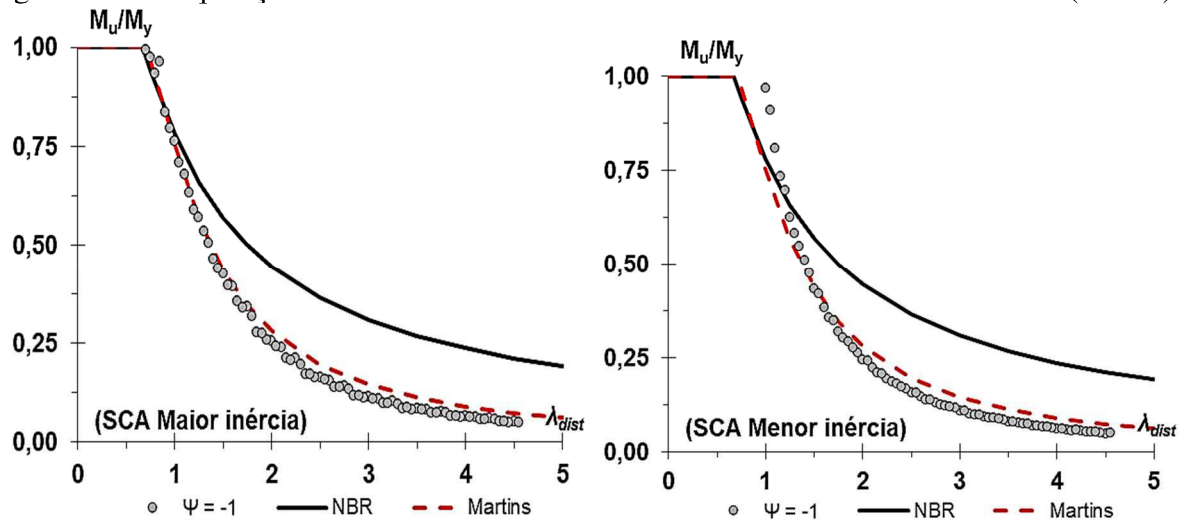
Fonte: Autor (2023).

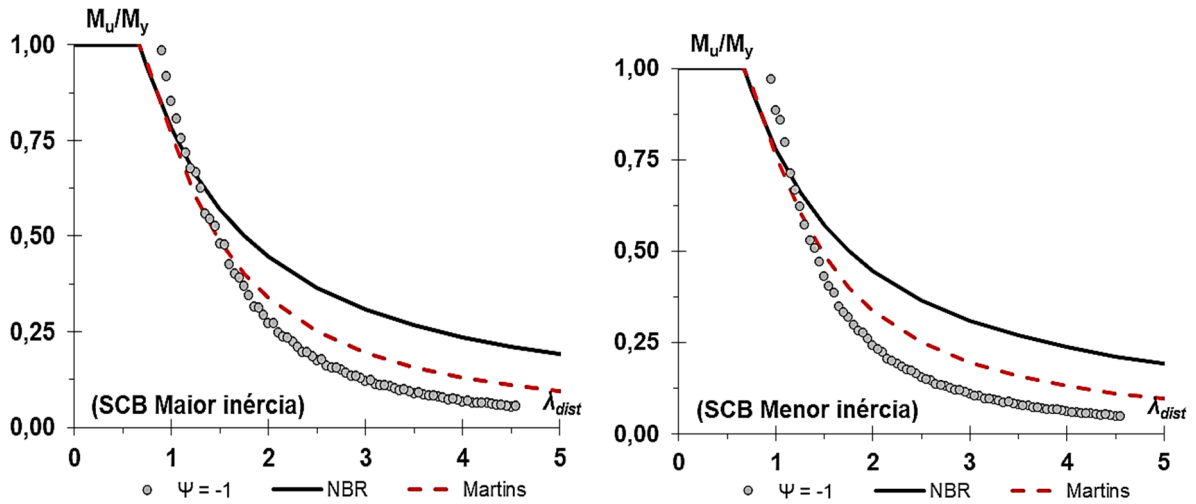
Figura 28 - Comparação de momentos resistentes do MRD e de modelos numéricos ($\Psi = 0$).



Fonte: Autor (2023).

Figura 29 - Comparação de momentos resistentes do MRD e de modelos numéricos ($\Psi = -1$).

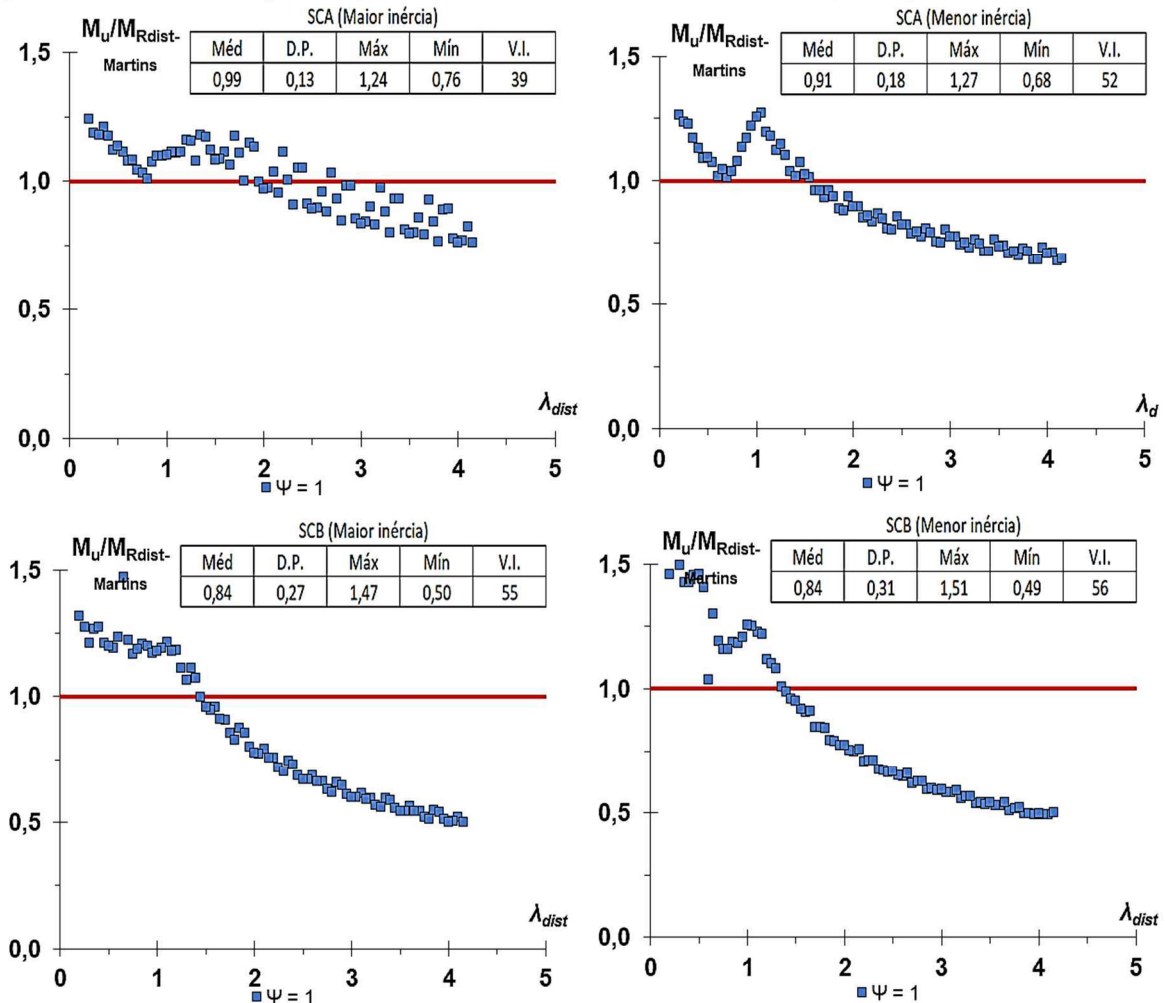




Fonte: Autor (2023).

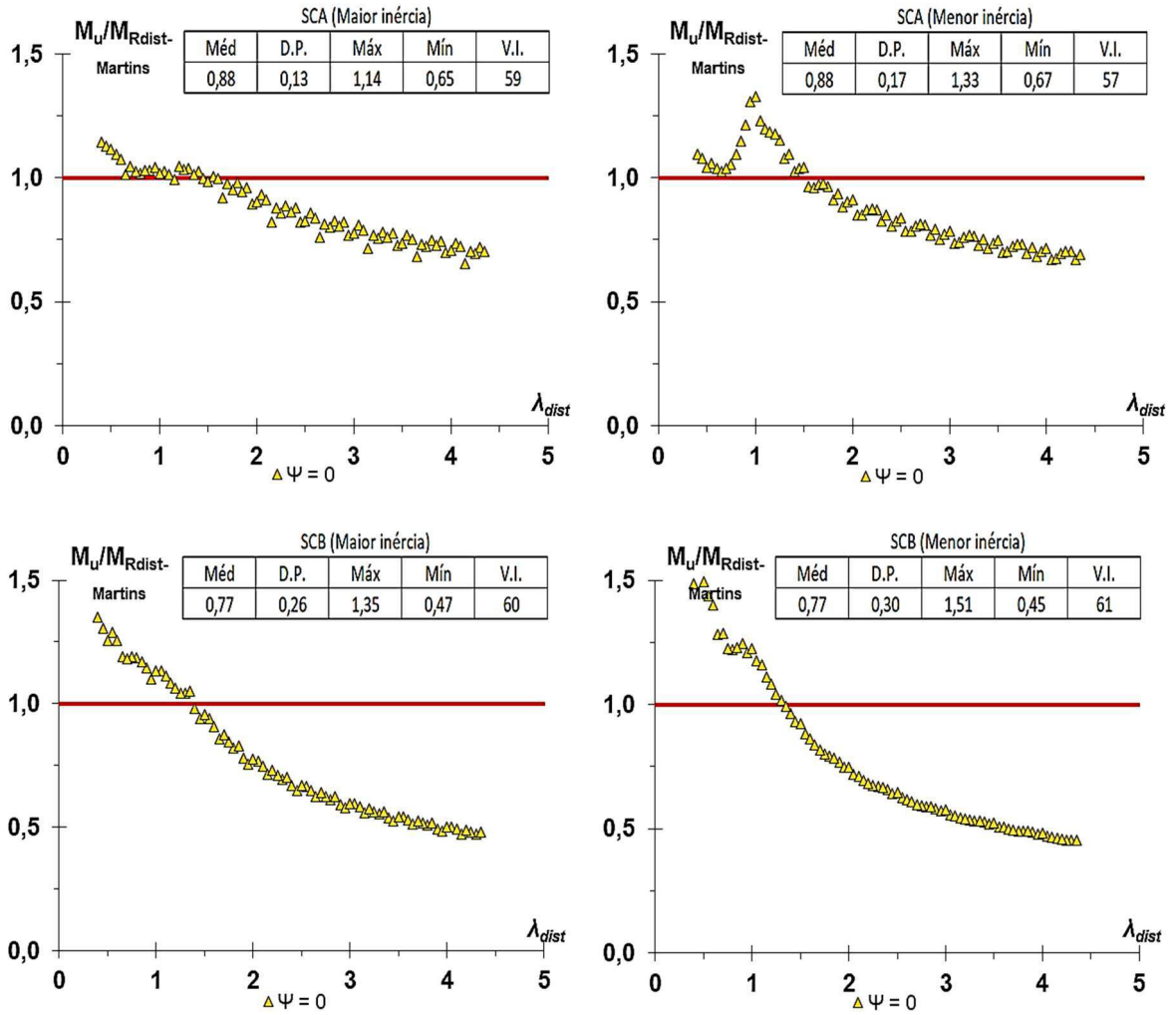
Nas Figura 30 a Figura 35 são apresentados de forma detalhada as curvas do MRD com as médias, desvio padrão, mínimo, máximo e valores inseguros, sendo das vigas com $M_u/M_{Rdist} < 1$.

Figura 30 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{Rdist-Martins} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = 1$).



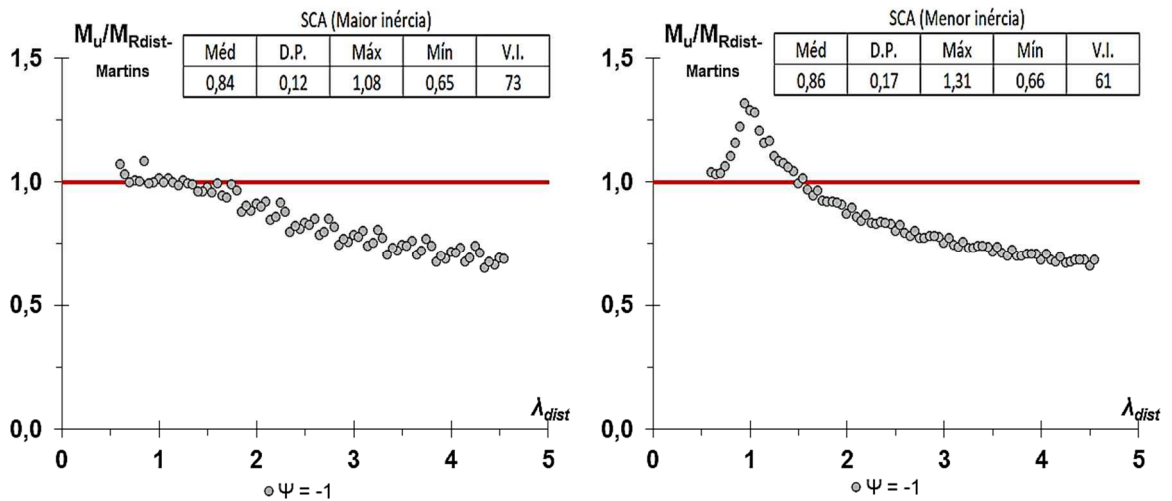
Fonte: Autor (2023).

Figura 31 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{Rdist-Martins} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = 0$).



Fonte: Autor (2023).

Figura 32 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{Rdist-Martins} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = -1$).



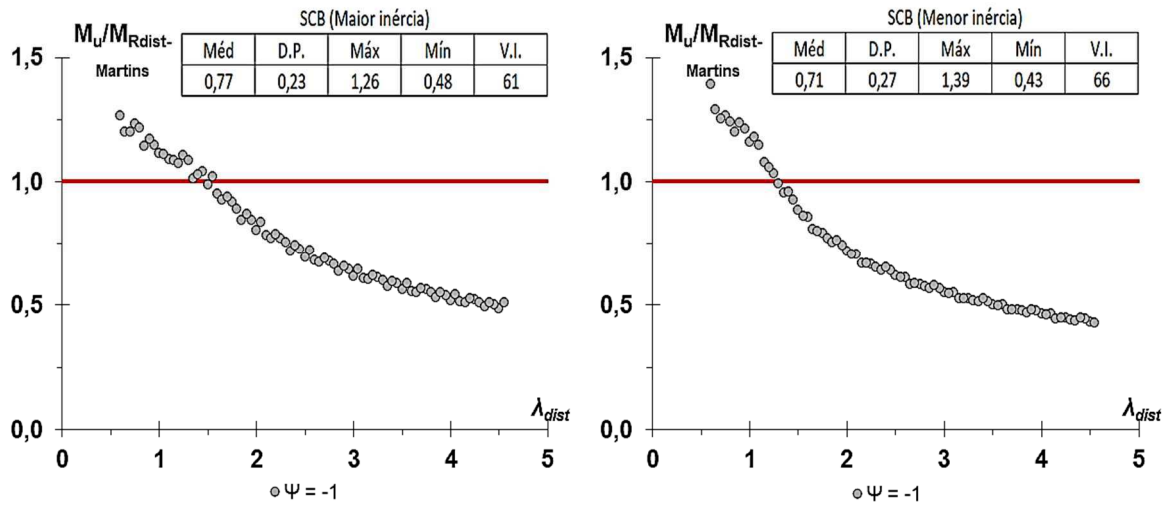


Figura 33 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{nd-AISI} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = 1$).

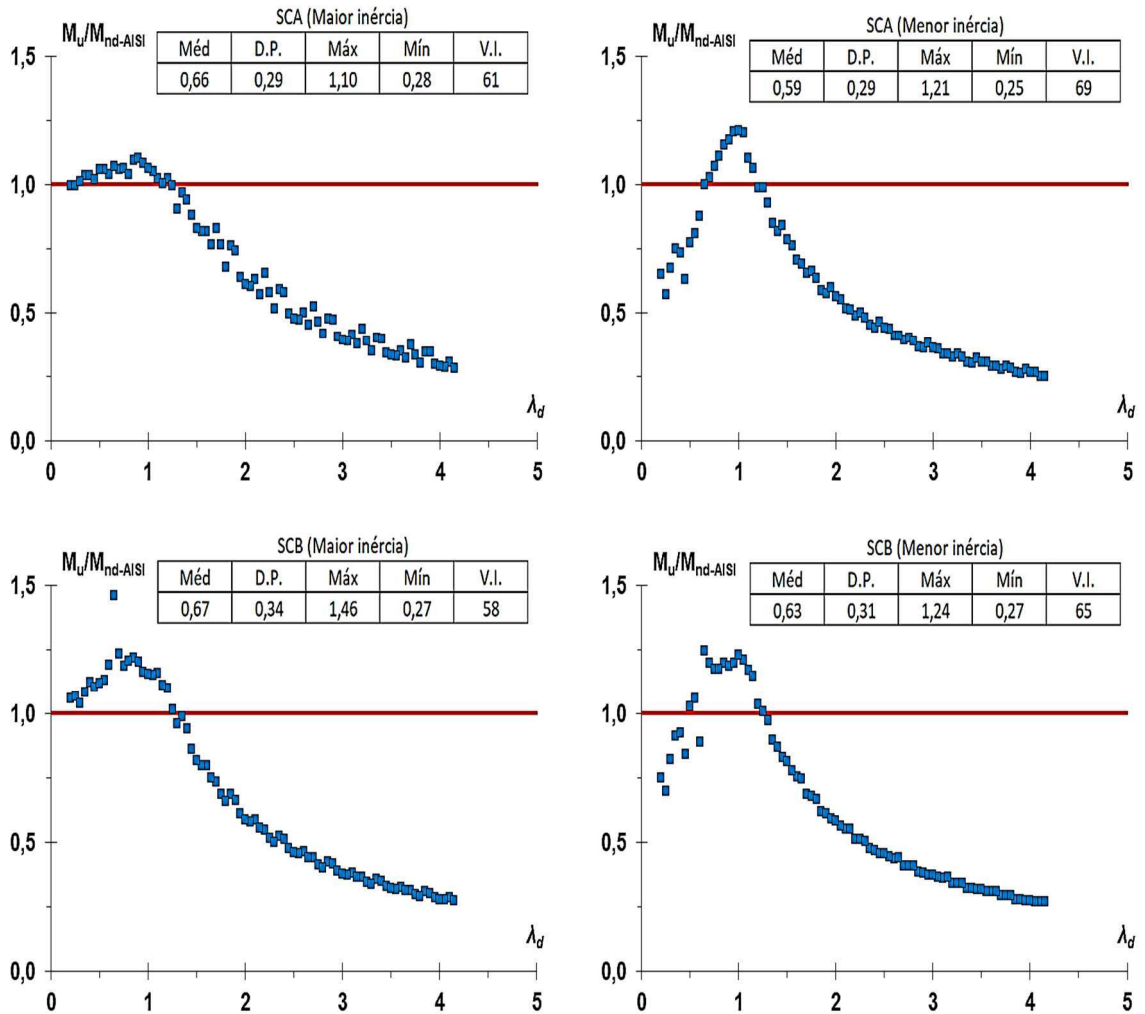
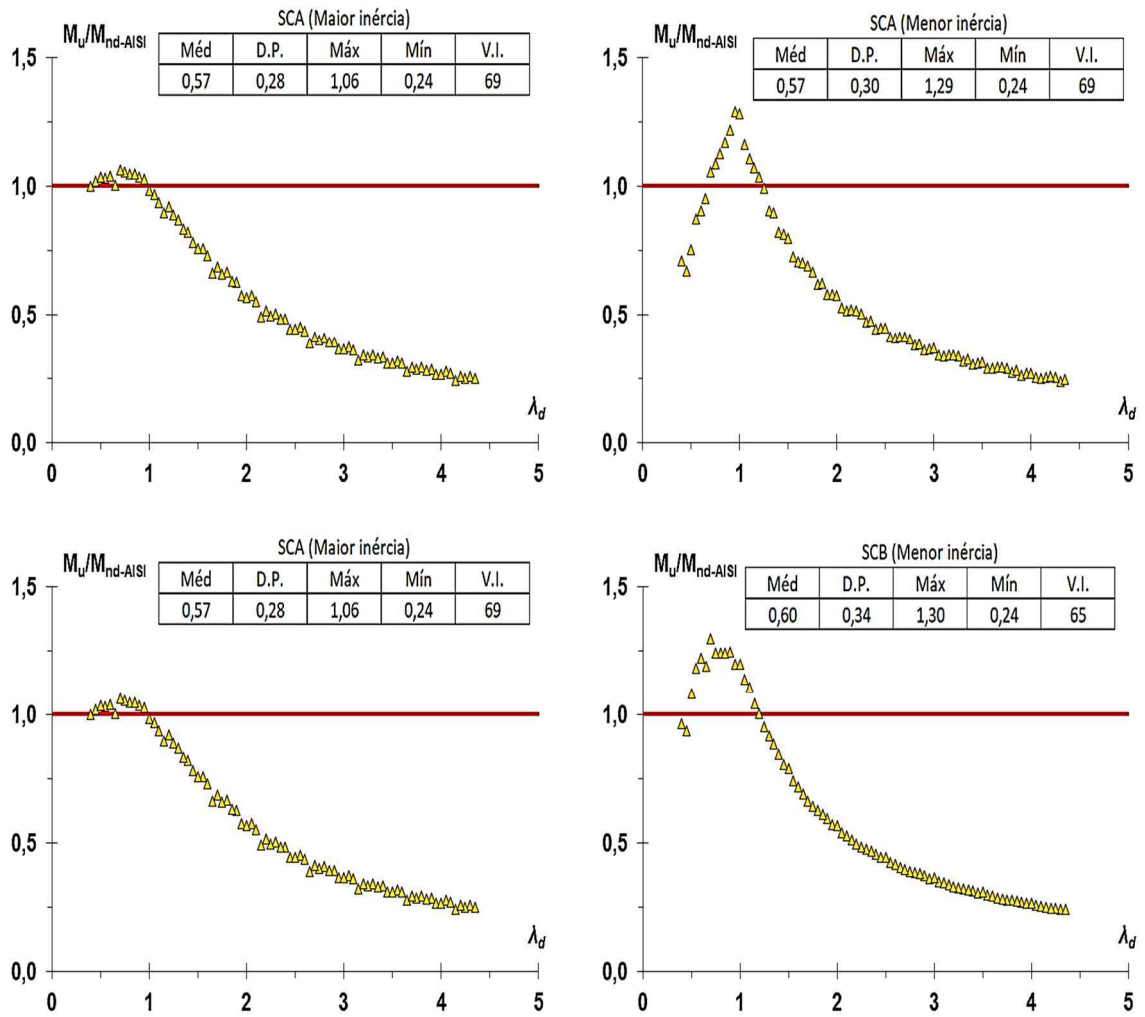
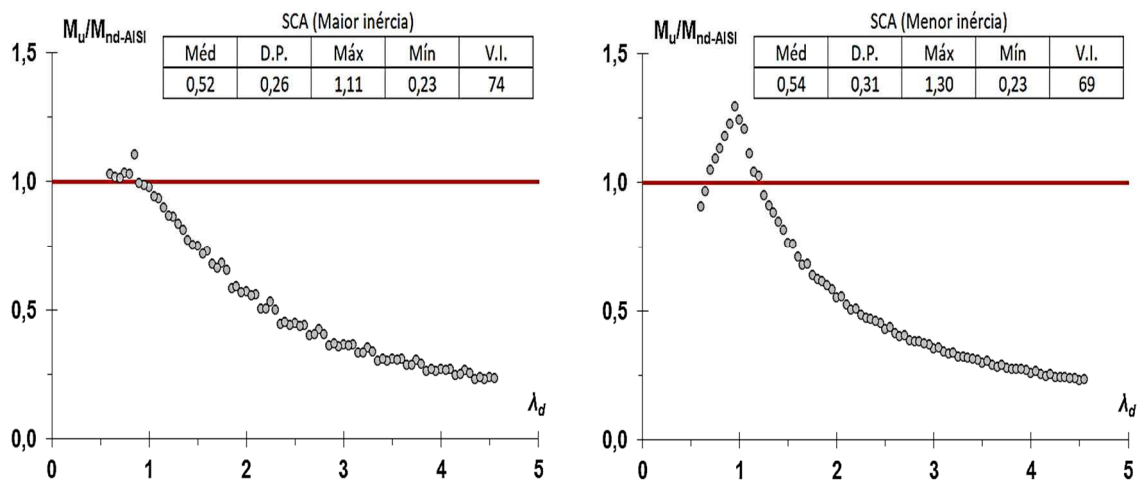


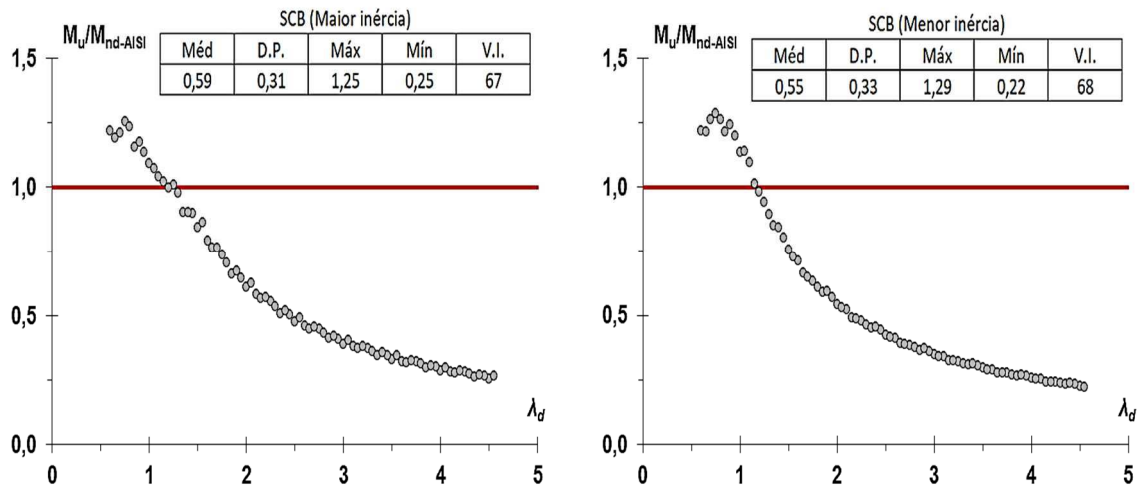
Figura 34 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{nd-AISI} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = 0$).



Fonte: Autor (2023).

Figura 35 - Nuvem de pontos para a relação $M_u/M_{nd-AISI} \times \lambda_{dist}$ ($\Psi = -1$).





Fonte: Autor (2023).

5.5 AJUSTES NAS CURVAS DE DIMENSIONAMENTOS

Mediante aos resultados apresentados nos capítulos anteriores, é claramente visto a necessidade de fazer ajustes nas equações atualmente codificadas. Portanto, com intuito de ter uma melhor estimativa da capacidade resistente das estruturas, foram propostos ajustes nos termos “a”, “b” e “c” da curva de dimensionamento do tipo “Winter”, conforme apresentado na Equação 1.

$$M_{Rdist} = \begin{cases} M_y + (1 - C_{yd}^{-2}) \cdot (M_p - M_y) & \text{Para } \lambda_{dist} \leq 0,673 \\ (1 - a \cdot \lambda_{dist}^{-b}) \cdot \lambda_{dist}^{-c} \cdot W \cdot f_y & \text{Para } \lambda_{dist} > 0,673 \end{cases} \quad (1)$$

$$a, b, c = m\psi^2 + n\psi + o \quad (2)$$

As constantes “m”, “n” e “o”, também apresentadas por Cruvinel (2021), foram desenvolvidas mediante a técnica da Soma dos Quadrados Resíduos (SQR). Após obter os valores residuais, foi utilizado a ferramenta de iteração Data Solver, presente no programa computacional EXCEL, para encontrar os melhores valores para as constantes. Na Tabela 14 são apresentados os resultados obtidos

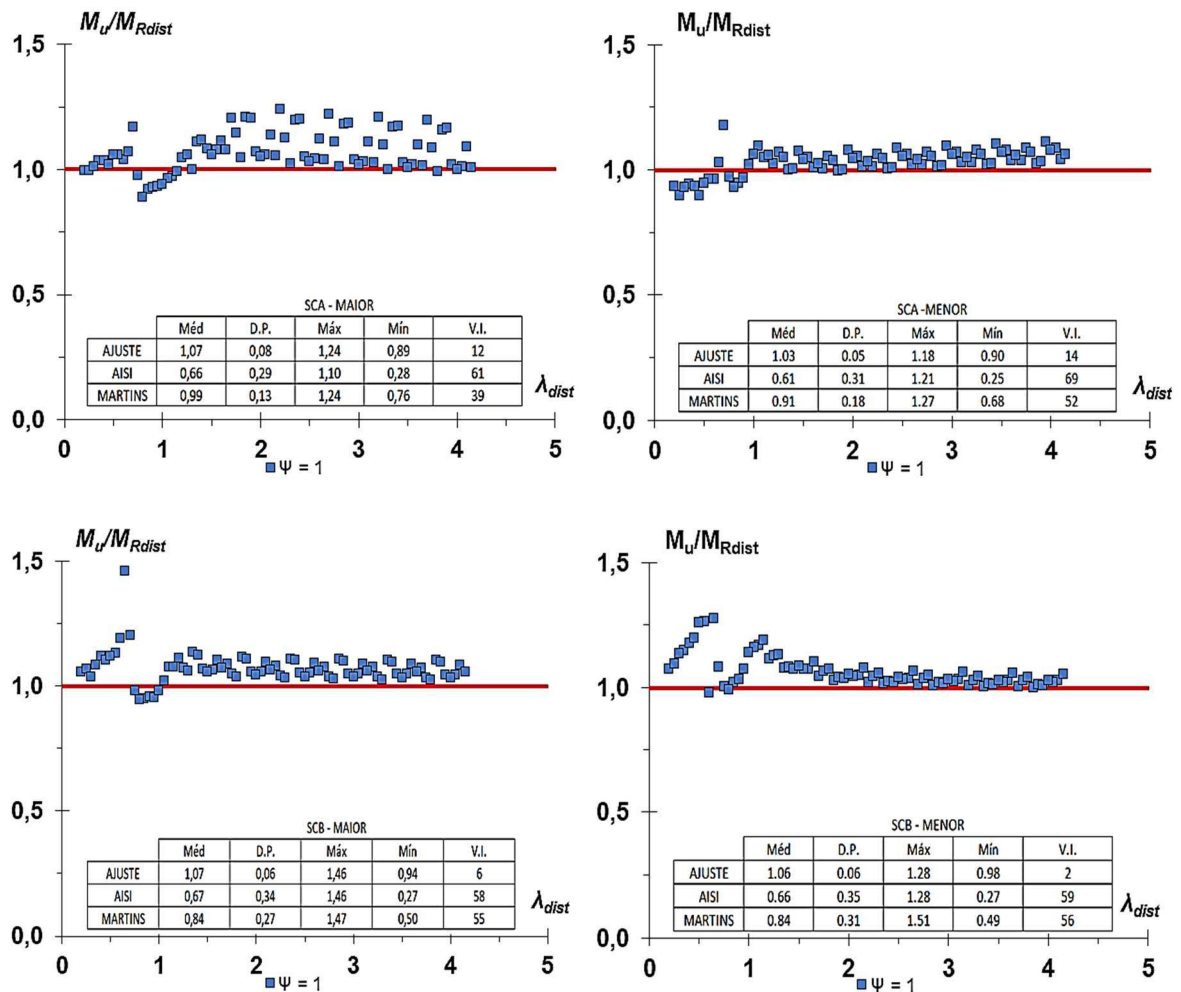
Tabela 14. Valores dos parâmetros “m”, “n” e “o” utilizados para calcular as constantes “a”, “b” e “c”.

Seção	Constante	SCA			SCB		
		m	n	o	m	n	o
Maior Inércia	a	-0,030	-0,020	0,160	-0,078	-0,007	0,170
	b	1,300	0,300	3,001	1,496	0,399	3,104
	c	-0,015	-0,055	2,010	-0,080	0,020	2,050
Menor Inércia	a	0,045	0,015	0,050	0,015	0,025	0,120
	b	-1,350	-0,250	6,300	0,180	-0,500	3,320
	c	-0,015	0,005	2,060	0,000	-0,030	2,020

Fonte: Autor (2023).

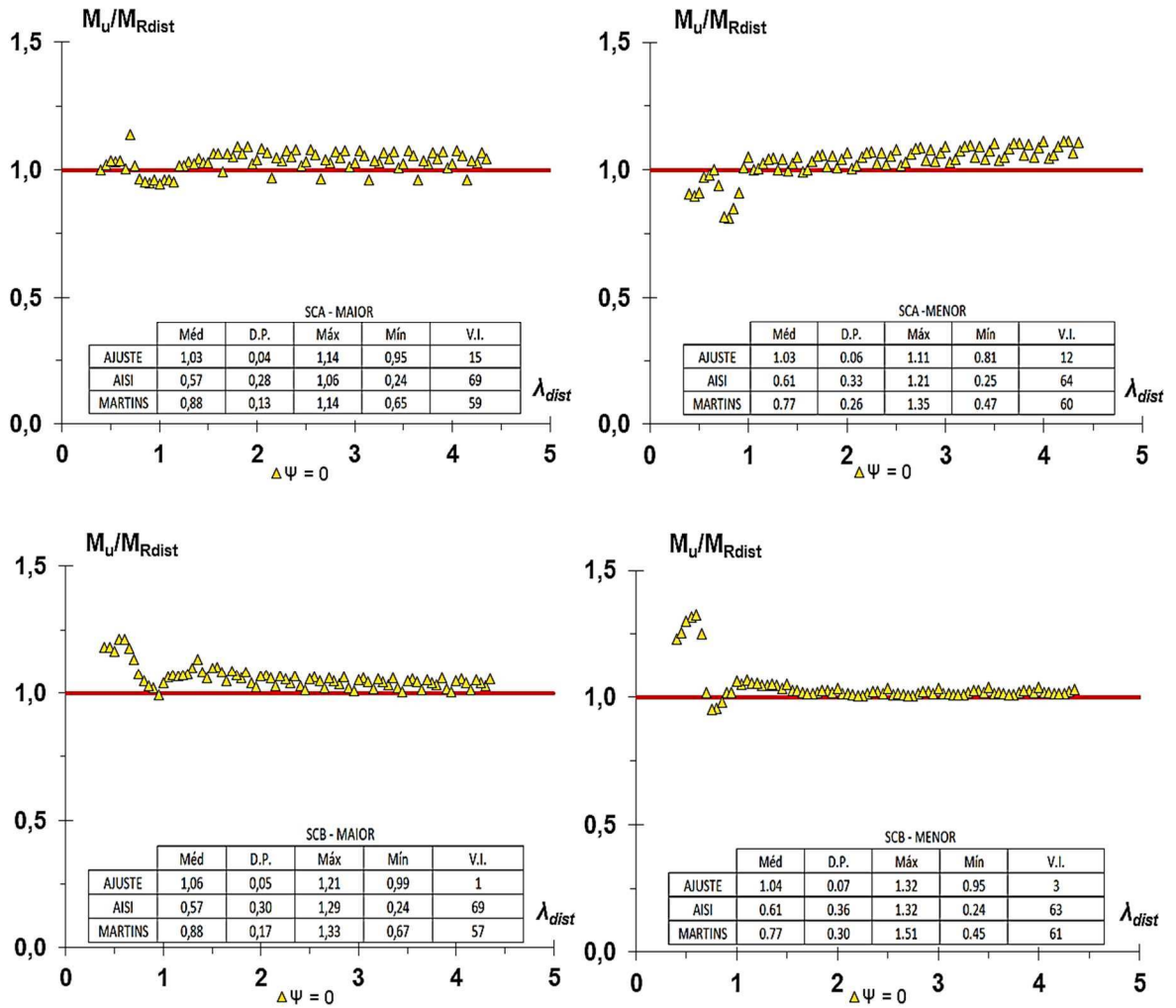
Nas Tabela A.1 a Tabela A.20 do Apêndice A, são apresentados os valores obtidos após fazer o ajuste da curva (M_{Rdist}), o comparativo com a norma ($M_{Rdist-AISI}$) e a proposta de Martins ($M_{Rdist-Martins}$). Nas Figura 36 a Figura 38, são apresentados os resultados obtidos em forma de nuvem de pontos e os indicadores da curva reajustada.

Figura 36 – Comparativo da nuvem de pontos para a relação M_u/M_{Rdist} ajustada ($\Psi = 1$).



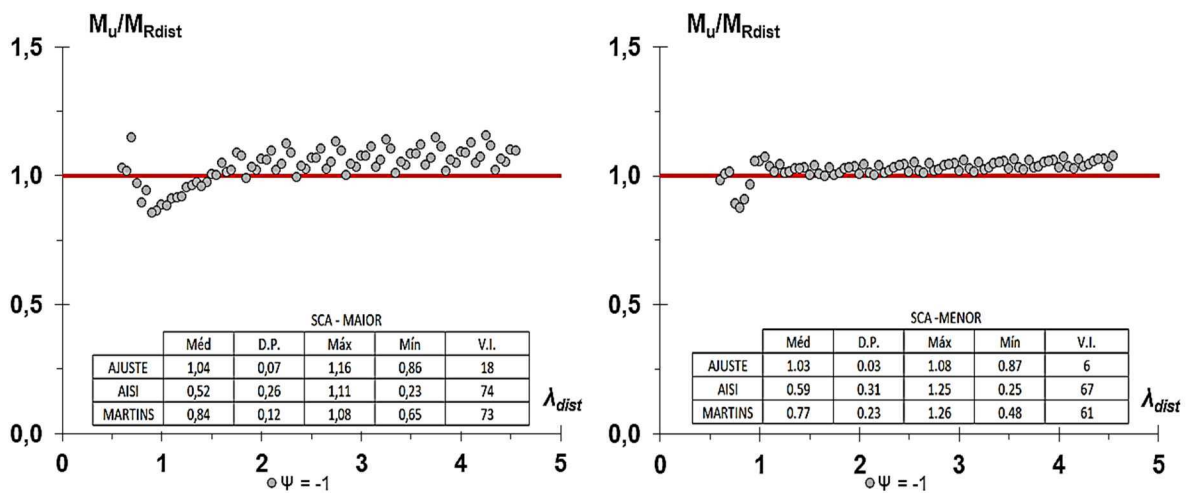
Fonte: Autor (2023).

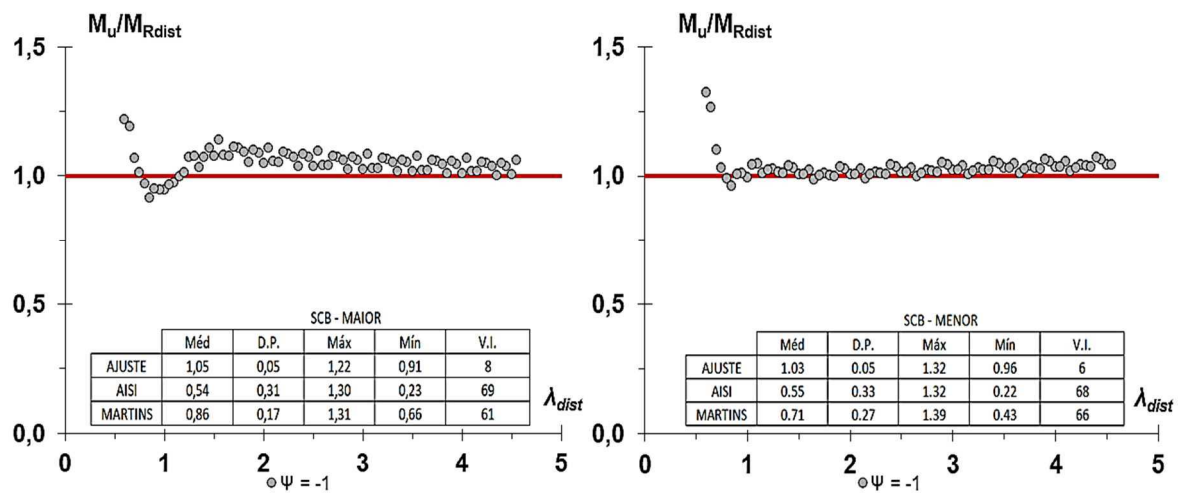
Figura 37 – Comparativo da nuvem de pontos para a relação M_u/M_{Rdist} ajustada ($\Psi = 0$).



Fonte: Autor (2023).

Figura 38 – Comparativo da nuvem de pontos para a relação M_u/M_{Rdist} ajustada ($\Psi = -1$).





Fonte: Autor (2023).

É possível observar que os valores obtidos para o perfil cartola, submetidos a interação distorcional-global, sob a flexão não-uniforme em seus eixos de maior e menor inércia proporcionaram uma melhora muito significativa. Para comparativo, utilizou-se os indicadores de média, desvio padrão, mínimo e máximo, sendo notável a redução de valores inseguros e proximidade de 1 ao se tratar de M_u/M_{Rdist} .

6 CONCLUSÕES

Este trabalho relatou uma investigação numérica acerca do comportamento de flambagem e pós-flambagem do modo distorcional-global em perfis formados a frio do tipo cartola, submetidos a flexão não-uniforme. Portanto, buscou-se verificar a precisão e segurança das curvas codificadas presente na AISI e a curva proposta por MARTIN *et al.* (2010). Para isso, foram feitas análises em 960 vigas, sendo selecionadas 10 geometrias, 2 condições de apoio (SCA e SCB), 3 gradientes de momentos, 2 eixos de flexão (maior e menor inércia) e 8 índices de esbeltez. Com o auxílio do GBTUL, foi possível identificar as geometrias e comprimentos críticos que ocorressem predominantemente a flambagem distorcional-global. Com o programa computacional ABAQUS, que utiliza o Método dos Elementos Finitos, foi desenvolvido um modelo numérico de cascas para fazer as análises de flambagem em pós-flambagem, buscando avaliar as trajetórias de equilíbrios, modos de colapso e momentos resistentes dos elementos.

Para os perfis e comprimentos selecionados, foi possível identificar pelas trajetórias de equilíbrio que o índice de esbeltez provoca o aumento do momento de resistência até certo ponto, visto que a partir disto, o colapso passa a ocorrer em seu regime elástico. Portanto, mediante as análises numéricas e ao uso do MRD, destaca-se que as condições de apoio influenciaram no comportamento de pós-flambagem das vigas. A condição de apoio SCB teve resultados menos dispersos do que a condição de apoio SCA, indicando ter menores resistências pós-críticas e resultados voltados a tendência do comportamento elástico devido as restrições impostas e maior rigidez.

Com os resultados apresentados no Apêndice A, é observado que o MRD atualmente codificado na norma AISI, estima de forma inadequada a capacidade resistente das estruturas para índices de esbeltez médios e altos, superestimando os esforços resistentes. De acordo com os trabalhos desenvolvidos por Martins *et al.* (2017b), obteve-se melhores previsões para as estimativas de capacidade resistentes das estruturas, porém, para o perfil deste trabalho, foi notado uma quantidade significativa de valores inseguros principalmente para a condição de apoio SCB.

Com a finalidade de alcançar melhorias na previsão do momento resistente através por meio do método da resistência direta (MRD), foi proposto o uso e parâmetros definidos como parâmetros “m”, “n” e “o”, de modo a considerar o gradiente de momento (ψ) e determinar os

parâmetros “a”, “b” e “c”, conforme utilizado por MARTINS *et al.* (2017) para obtenção do momento resistente pelo MRD.

Deste modo, os ajustes da curva de dimensionamento, gerou uma redução bastante considerável na quantidade de estimativas inseguras, além de proporcionar uma melhor previsão da capacidade resistente dos perfis formados a frio do tipo cartola submetidos a flexão não-informe em seus eixos de maior e menor inércia sob a interação distorcional-global. Portanto, vale ressaltar que os ajustes provocaram valores subestimados para uma pequena quantidade de elementos, classificando-os como excessivamente seguros, conforme já esperado. Isto foi necessário de modo que reduzisse a quantidade de valores inseguros, melhorasse os índices de média, desvio padrão, mínimo e máximo, tornando os resultados mais precisos .

6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Os estudos feitos nesse trabalho apresentaram informações muito relevantes sobre o dimensionamento por meio do Método da Resistência Direta (MRD) para seções em perfil formado a frio (PFF) submetidas a flexão não-uniforme sob a interação distorcional global em seus eixos de maior e menor inércia. Desta forma, algumas sugestões para trabalhos futuros podem ser apresentadas em busca de ter maiores verificações na utilização do MRD.

De modo geral, é importante realizar estudos experimentais sobre as vigas analisadas para obter uma maior validação dos resultados obtidos, bem como expandir as análises numéricas e experimentais para outras dimensões em perfis do tipo cartola não apresentadas neste trabalho, podendo obter mediante ao uso das mesmas premissas adotadas, como condições de apoio e carregamento, novas informações do comportamento dos PFF.

Verificar a aplicabilidade dos ajustes feitos nas equações apresentadas neste trabalho, como a consideração do gradiente de momento (ψ) e os parâmetros “m”, “n” e “o”.

Avaliar para outras condições de apoio não apresentadas neste trabalho e outros tipos de carregamentos inserindo variação de temperatura.

Avaliar qual é o melhor valor para o índice de esbeltez e se o que é apresentado pelo MRD de 0,673, é realmente o mais adequado, podendo gerar novos valores e maiores precisões na hora

do dimensionamento dos elementos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. AISI S100-16 (reaffirmed in 2020) with Supplement 3. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. Washington, DC. 2022.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). SEI/ASCE 8. Specification for the Design of Cold-formed Stainless Steel Structural Members. Reston. 2002.
- 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 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro. 2012.
- AUSTRALIAN / NEW ZEALAND STANDARDS. AS/NZS 4600. Cold-formed steel structures. Sydney. 2018.
- AUSTRALIAN / NEW ZEALAND STANDARDS. AS/NZS 4673. Cold-formed steel structures. Sydney. 2001.
- BATISTA, E.M. Effective section method: A general direct method for the design of steel cold-formed members under local–global buckling interaction. *Thin-Walled Structures*, v. 48, pp. 345-356, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2009.11.003>
- BARICHELLO, C.; LANDESMANN, A.; CAMOTIM, D. Distortional Failure and DSM Design of Cold-Formed Steel S-Shaped Beams Under Uniform Bending. *Latin American Journal of Solids and Structures*, v.14, p.2123-2140, 2017. <https://doi.org/10.1590/1679-78253616>
- BEBIANO, R.; SILVESTRE, N.; CAMOTIM, D. GBTUL 1.0 β – Buckling and Vibration Analysis of Thin-Walled Members. User manual. Lisbon: Technical University of Lisbon, 2010.
- CAMOTIM, D.; DINIS, P. B. Distortional-global interaction in lipped channel and zed section beams: Strength, relevance and DSM design. *Thin-Walled Structures*, 2018. v. 129, p. 289-308. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.02.015>
- CHEUNG, Y.K. Finite Strip Method in Structural Analysis. New York: Pergamon 87 Press, 1997.
- COSTA, A. Estudo da flambagem local de perfis U enrijecidos em situação de incêndio. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
- CRUVINEL, L. Flambagem distorcional de perfil formado a frio seção rack sob flexão uniforme e não-uniforme - análise numérica e MRD. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2021. <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.662>

DASSAULT SYSTÈMES. Abaqus User's Manual, 2016.

DEPOLLI, I. C. Dimensionamento à falha distorcional via método da resistência direta de vigas de aço em perfil formado a frio sob flexão não-uniforme. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

DIB, C. Análise numérica da flambagem distorcional de perfis formados a frio tipo cartola submetidos à flexão não-uniforme. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2023. <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.120>

HANCOCK, G. J.; KWON, Y. B.; BERNARD, E. S. Strength design curves for thin-walled sections undergoing distortional buckling. *Journal of Constructional Steel Research*, v.31, n.2-3, p.169-186, 1994. [https://doi.org/10.1016/0143-974X\(94\)90009-4](https://doi.org/10.1016/0143-974X(94)90009-4)

KANKANAMGE, N. D. Structural behaviour and design of cold-formed steel beams at elevated temperatures. Tese (Doutorado). Queensland University of Technology, Brisbane, Australia. 2010.

KOLAKOWSKI, Z.; et al. Global-distortional buckling mode influence on post-buckling behaviour of lip-channel beams. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2020. v. 184, p. 105723. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105723>

LANDESMANN, A.; CAMOTIM, D. Distortional failure and DSM design of cold-formed steel lipped channel beams under elevated temperatures. *Thin-Walled Structures*, v.98, p.75-93, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2015.06.004>

LAZZARI, J. Distortional-global interaction in cold-formed steel lipped channel columns: buckling analysis, structural behavior and strength. 174 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.

LIMA, L. S. Resistência de perfis "Z" formados a frio sob flexão não-uniforme e colapso distorcional. 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MARTINS, A. et al. GBT-based assessment of the mechanics of distortional-global interaction in thin-walled lipped channel beams. *Thin-Walled Structures*, 2018. v. 124, p. 32-47. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.11.036>

MARTINS, A. D.; CAMOTIM, D.; DINIS, P. B. Local-distortional interaction in cold Formed steel beams: behaviour, strength and DSM design. *Thin-Walled Structures*, v.119, p.879-901, 2017a. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.06.011>

MARTINS, A. D. et al. Distortional failure of cold-formed steel beams under uniform bending: Behaviour, strength and DSM design. *Thin-Walled Structures*, v.118, p.196-213, 2017b. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.04.009>

MATSUBARA, G. Análise da interação entre modos de flambagem local e distorcional em perfis de aço formados a frio com seção u enrijecido sob compressão. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

NIU, S.; RASMUSSEN, K.; FAN, F. Distortional-global interaction buckling of stainless-steel C-beams: Part I - Experimental investigation. *Journal of Constructional Steel Research*, 2014. v. 96, p. 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.01.008>

REDDY, J. N. *An introduction to the finite element method*. McGraw-Hill, 2005.

SCHAFER, B. W.; PEKOZ, T. Direct strength prediction of cold-formed steel members using numerical elastic buckling solutions. Elsevier, p.137-144, 1998.

SCHARDT, R. Generalized beam theory – an adequate method for coupled stability problems. *Thin-walled structures*, v.19, n.2-4, p.161-180, 1994. [https://doi.org/10.1016/0263-8231\(94\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0263-8231(94)90027-2)

VIEIRA, G. Análise experimental de vigas de seção “T” compostas de perfis formados a frio com emendas soldadas, submetidas à flexão simples. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2010.

WINTER, G. *Thin-walled structures, theoretical solutions and test results*. Eighth Congress, IABSE, p.112, 1968.

Yu, C.; Schafer, B. *Distortional Buckling of Cold-formed Steel Members in Bending*. 2005. Final report – The American Iron and Steel Institute, Baltimore, Maryland, 2005.

APÊNDICE A - Fórmulas Empíricas do Cálculo das Tensões

Nas Tabela A.1 a Tabela A.20 são apresentadas as condições de apoio, gradientes de momentos, índices de esbeltez, tensões de escoamento, momentos últimos dos resultados numéricos, momentos de escoamento e as relações entre os resultados obtidos pela norma AISI, os desenvolvidos pela proposta de Martins *et al.* (2017b) e os obtidos pelos ajustes feitos neste trabalho.

Tabela A.1 – Resultados numéricos e estimativas – VM1.

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-AISI}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-Martins}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist}}}$	
SCA	1	0,20	1,86	18,03	14,54	1,24	0,99	1,24	0,99	
		0,70	22,77	184,78	178,13	1,04	1,06	1,04	1,17	
		1,20	66,93	364,21	523,48	0,70	1,02	1,16	1,05	
		1,70	134,33	446,22	1050,60	0,42	0,83	1,18	1,20	
		2,20	224,96	470,51	1759,49	0,27	0,65	1,11	1,24	
		2,70	338,83	470,51	2650,13	0,18	0,52	1,03	1,22	
		3,20	475,95	470,51	3722,55	0,13	0,43	0,97	1,21	
		3,70	636,30	470,51	4976,73	0,09	0,37	0,93	1,20	
	0	0,40	9,16	81,85	71,65	1,14	1,00	1,14	1,00	
		0,90	46,38	314,91	362,73	0,87	1,03	1,03	0,95	
		1,40	112,22	434,15	877,71	0,49	0,82	1,02	1,05	
		1,90	206,69	471,64	1616,59	0,29	0,63	0,96	1,09	
		2,40	329,79	472,43	2579,39	0,18	0,48	0,88	1,08	
		2,90	481,52	472,43	3766,08	0,13	0,39	0,82	1,07	
		3,40	661,87	472,43	5176,68	0,09	0,33	0,78	1,07	
		3,90	870,85	472,43	6811,19	0,07	0,29	0,74	1,07	
	-1	0,60	21,69	181,20	169,66	1,07	1,03	1,07	1,03	
		1,10	72,91	386,95	570,25	0,68	0,93	1,01	0,91	
		1,60	154,26	473,51	1206,48	0,39	0,73	0,99	1,05	
		2,10	265,73	495,28	2078,34	0,24	0,56	0,92	1,10	
		2,60	407,33	495,28	3185,85	0,16	0,44	0,85	1,11	
		3,10	579,06	495,28	4529,00	0,11	0,36	0,80	1,11	
		3,60	780,92	495,28	6107,79	0,08	0,31	0,76	1,12	
		4,10	1012,90	495,28	7922,22	0,06	0,27	0,73	1,13	
	SCB	1	0,20	1,95	20,14	15,27	1,32	1,06	1,32	1,06
			0,70	23,92	225,92	187,09	1,21	1,23	1,22	1,20
			1,20	70,30	410,78	549,81	0,75	1,10	1,18	1,11
			1,70	141,08	415,04	1103,43	0,38	0,73	0,91	1,09
2,20			236,27	415,04	1847,96	0,22	0,55	0,76	1,08	
2,70			355,87	415,04	2783,39	0,15	0,44	0,66	1,08	
3,20			499,88	415,04	3909,73	0,11	0,36	0,60	1,07	
3,70			668,30	415,04	5226,98	0,08	0,31	0,55	1,07	
0		0,40	10,31	108,93	80,66	1,35	1,18	1,35	1,18	
		0,90	52,21	393,74	408,36	0,96	1,15	1,15	1,02	
		1,40	126,34	511,69	988,13	0,52	0,86	0,98	1,08	
		1,90	232,70	511,70	1819,98	0,28	0,60	0,78	1,04	
		2,40	371,28	511,70	2903,90	0,18	0,47	0,67	1,03	
		2,90	542,10	511,70	4239,90	0,12	0,38	0,59	1,02	
		3,40	745,14	511,70	5827,97	0,09	0,32	0,54	1,02	
		3,90	980,41	511,70	7668,12	0,07	0,28	0,49	1,02	
-1		0,60	25,92	256,39	202,73	1,26	1,22	1,26	1,22	
		1,10	87,12	514,94	681,39	0,76	1,04	1,09	0,98	
		1,60	184,32	614,04	1441,61	0,43	0,79	0,95	1,08	
		2,10	317,52	614,04	2483,40	0,25	0,58	0,78	1,06	
		2,60	486,72	614,04	3806,76	0,16	0,46	0,68	1,04	
		3,10	691,91	614,04	5411,68	0,11	0,38	0,61	1,03	
		3,60	933,11	614,04	7298,16	0,08	0,32	0,56	1,02	
		4,10	1210,31	614,04	9466,22	0,06	0,28	0,51	1,02	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.2 – Resultados numéricos e estimativas – V_{m1} .

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,20	1,73	9,87	7,81	1,26	1,36	1,26	0,93	
		0,70	21,14	96,37	95,62	1,01	0,98	1,01	1,18	
		1,20	62,14	188,79	281,02	0,67	0,68	1,12	1,02	
		1,70	124,71	189,22	563,98	0,34	0,51	0,93	1,00	
		2,20	208,86	189,22	944,53	0,20	0,41	0,83	1,01	
		2,70	314,58	189,22	1422,64	0,13	0,34	0,77	1,02	
		3,20	441,88	189,22	1998,34	0,09	0,29	0,73	1,03	
		3,70	590,75	189,22	2671,60	0,07	0,25	0,70	1,04	
	0	0,40	9,07	44,85	41,03	1,09	0,91	1,09	0,91	
		0,90	45,93	212,15	207,72	1,02	1,22	1,21	0,91	
		1,40	111,14	248,47	502,62	0,49	0,82	1,02	0,99	
		1,90	204,70	248,47	925,75	0,27	0,58	0,88	1,01	
		2,40	326,62	248,47	1477,09	0,17	0,44	0,81	1,02	
		2,90	476,89	248,47	2156,66	0,12	0,36	0,75	1,03	
		3,40	655,51	248,47	2964,45	0,08	0,30	0,71	1,04	
		3,90	862,48	248,47	3900,45	0,06	0,26	0,68	1,05	
	-1	0,60	20,99	98,35	94,92	1,04	0,98	1,04	0,98	
		1,10	70,55	258,31	319,05	0,81	1,11	1,21	1,03	
		1,60	149,26	258,34	675,02	0,38	0,71	0,97	1,01	
		2,10	257,13	258,34	1162,83	0,22	0,52	0,86	1,01	
		2,60	394,15	258,34	1782,48	0,14	0,41	0,79	1,02	
		3,10	560,32	258,34	2533,96	0,10	0,34	0,74	1,03	
		3,60	755,64	258,34	3417,29	0,08	0,29	0,71	1,03	
		4,10	980,12	258,34	4432,46	0,06	0,25	0,68	1,04	
	SCB	1	0,20	1,89	12,48	8,56	1,46	1,07	1,46	1,07
			0,70	23,19	123,14	104,86	1,17	1,20	1,19	1,08
			1,20	68,14	217,19	308,16	0,70	1,04	1,12	1,12
			1,70	136,76	217,26	618,46	0,35	0,69	0,85	1,04
2,20			229,03	217,26	1035,76	0,21	0,51	0,71	1,02	
2,70			344,96	217,26	1560,06	0,14	0,41	0,62	1,01	
3,20			484,56	217,26	2191,36	0,10	0,34	0,56	1,01	
3,70			647,81	217,26	2929,66	0,07	0,29	0,51	1,01	
0		0,40	10,40	69,84	47,01	1,49	1,23	1,49	1,23	
		0,90	52,63	248,90	238,01	1,05	1,25	1,24	1,02	
		1,40	127,35	293,08	575,93	0,51	0,85	0,96	1,05	
		1,90	234,56	293,08	1060,76	0,28	0,59	0,77	1,02	
		2,40	374,25	293,08	1692,52	0,17	0,46	0,66	1,02	
		2,90	546,44	293,08	2471,19	0,12	0,37	0,58	1,02	
		3,40	751,11	293,08	3396,79	0,09	0,31	0,53	1,02	
		3,90	988,26	293,08	4469,31	0,07	0,27	0,48	1,03	
-1		0,60	25,44	160,35	115,05	1,39	1,32	1,39	1,32	
		1,10	85,51	307,68	386,70	0,80	1,09	1,15	1,05	
		1,60	180,91	313,80	818,15	0,38	0,71	0,86	1,02	
		2,10	311,65	313,80	1409,39	0,22	0,52	0,71	1,02	
		2,60	477,72	313,80	2160,43	0,15	0,41	0,61	1,03	
		3,10	679,12	313,80	3071,26	0,10	0,34	0,55	1,04	
		3,60	915,86	313,80	4141,89	0,08	0,29	0,50	1,05	
		4,10	1187,94	313,80	5372,31	0,06	0,25	0,46	1,05	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.3 – Resultados numéricos e estimativas – V_{M2} .

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,35	6,27	78,80	65,14	1,21	1,04	1,21	1,04	
		0,85	36,98	367,22	384,21	0,96	1,10	1,07	0,92	
		1,35	93,28	580,52	969,17	0,60	0,97	1,18	1,11	
		1,85	175,17	661,42	1820,02	0,36	0,76	1,15	1,21	
		2,35	282,64	668,00	2936,76	0,23	0,59	1,05	1,20	
		2,85	415,71	668,02	4319,38	0,15	0,48	0,98	1,18	
		3,35	574,37	668,02	5967,90	0,11	0,40	0,93	1,17	
		3,85	758,62	668,02	7882,31	0,08	0,35	0,89	1,16	
	0	0,55	19,26	219,29	200,15	1,10	1,03	1,10	1,03	
		1,05	70,21	530,79	729,47	0,73	0,97	1,02	0,96	
		1,55	152,99	664,92	1589,61	0,42	0,76	1,01	1,06	
		2,05	267,61	697,15	2780,58	0,25	0,58	0,93	1,09	
		2,55	414,08	698,58	4302,38	0,16	0,45	0,86	1,08	
		3,05	592,38	698,58	6155,00	0,11	0,37	0,81	1,07	
		3,55	802,52	698,58	8338,44	0,08	0,32	0,77	1,07	
		4,05	1044,51	698,58	10852,71	0,06	0,28	0,74	1,07	
	-1	0,75	37,57	380,19	390,39	0,97	1,03	1,00	0,97	
		1,25	104,37	617,09	1084,41	0,57	0,86	1,00	0,95	
		1,75	204,56	724,41	2125,44	0,34	0,68	0,99	1,09	
		2,25	338,15	745,62	3513,48	0,21	0,53	0,92	1,12	
		2,75	505,14	745,62	5248,53	0,14	0,42	0,85	1,13	
		3,25	705,52	745,62	7330,59	0,10	0,35	0,80	1,14	
		3,75	939,31	745,62	9759,66	0,08	0,30	0,77	1,15	
		4,25	1206,49	745,62	12535,74	0,06	0,27	0,74	1,16	
	SCB	1	0,35	6,62	87,01	68,80	1,26	1,08	1,26	1,08
			0,85	39,06	430,71	405,81	1,06	1,22	1,21	0,95
			1,35	98,52	627,69	1023,64	0,61	0,99	1,11	1,14
			1,85	185,01	627,69	1922,32	0,33	0,69	0,88	1,12
2,35			298,53	627,69	3101,82	0,20	0,52	0,74	1,11	
2,85			439,08	627,69	4562,16	0,14	0,42	0,66	1,11	
3,35			606,66	627,69	6303,34	0,10	0,36	0,60	1,10	
3,85			801,26	627,69	8325,35	0,08	0,31	0,55	1,10	
0		0,55	21,48	287,91	223,16	1,29	1,21	1,29	1,21	
		1,05	78,28	669,91	813,35	0,82	1,09	1,13	1,06	
		1,55	170,58	776,27	1772,40	0,44	0,79	0,94	1,10	
		2,05	298,39	776,27	3100,31	0,25	0,57	0,77	1,07	
		2,55	461,69	776,27	4797,09	0,16	0,45	0,66	1,06	
		3,05	660,49	776,27	6862,73	0,11	0,37	0,59	1,06	
		3,55	894,80	776,27	9297,24	0,08	0,32	0,54	1,06	
		4,05	1164,61	776,27	12100,62	0,06	0,27	0,50	1,05	
-1		0,75	41,92	514,12	435,60	1,18	1,25	1,23	1,01	
		1,25	116,45	806,25	1210,00	0,67	1,01	1,11	1,07	
		1,75	228,25	872,97	2371,60	0,37	0,74	0,92	1,11	
		2,25	377,31	872,97	3920,40	0,22	0,56	0,77	1,09	
		2,75	563,64	872,97	5856,40	0,15	0,45	0,68	1,07	
		3,25	787,24	872,97	8179,60	0,11	0,37	0,61	1,06	
		3,75	1048,09	872,97	10890,00	0,08	0,32	0,56	1,06	
		4,25	1346,22	872,97	13987,60	0,06	0,28	0,52	1,05	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.4 – Resultados numéricos e estimativas – V_{m2} .

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,35	6,13	46,15	39,46	1,17	0,94	1,17	0,94	
		0,85	36,13	234,57	232,74	1,01	1,16	1,13	0,95	
		1,35	91,15	309,13	587,08	0,53	0,85	1,03	1,00	
		1,85	171,17	309,13	1102,49	0,28	0,59	0,89	1,00	
		2,35	276,19	309,13	1778,96	0,17	0,45	0,80	1,00	
		2,85	406,23	309,13	2616,50	0,12	0,36	0,75	1,01	
		3,35	561,27	309,13	3615,10	0,09	0,31	0,71	1,02	
		3,85	741,31	309,13	4774,77	0,06	0,26	0,68	1,03	
	0	0,55	19,67	134,20	126,71	1,06	0,97	1,06	0,97	
		1,05	71,70	403,24	461,80	0,87	1,16	1,23	1,00	
		1,55	156,24	403,41	1006,34	0,40	0,72	0,96	0,99	
		2,05	273,30	403,41	1760,30	0,23	0,53	0,85	1,01	
		2,55	422,87	403,41	2723,70	0,15	0,41	0,78	1,02	
		3,05	604,96	403,41	3896,54	0,10	0,34	0,74	1,03	
		3,55	819,57	403,41	5278,81	0,08	0,29	0,70	1,04	
		4,05	1066,69	403,41	6870,52	0,06	0,25	0,67	1,05	
	-1	0,75	37,22	246,87	239,71	1,03	1,09	1,06	0,89	
		1,25	103,38	416,20	665,86	0,63	0,95	1,10	1,01	
		1,75	202,62	416,20	1305,08	0,32	0,64	0,92	1,00	
		2,25	334,95	416,20	2157,38	0,19	0,48	0,83	1,01	
		2,75	500,35	416,20	3222,76	0,13	0,39	0,77	1,02	
		3,25	698,84	416,20	4501,21	0,09	0,32	0,73	1,02	
		3,75	930,41	416,20	5992,73	0,07	0,28	0,70	1,03	
		4,25	1195,06	416,20	7697,33	0,05	0,24	0,67	1,03	
	SCB	1	0,35	6,49	59,62	41,82	1,43	1,15	1,43	1,15
			0,85	38,29	257,34	246,65	1,04	1,20	1,18	1,02
			1,35	96,60	345,17	622,18	0,55	0,89	1,01	1,08
			1,85	181,40	345,17	1168,41	0,30	0,62	0,79	1,03
2,35			292,71	345,17	1885,33	0,18	0,47	0,67	1,01	
2,85			430,52	345,17	2772,94	0,12	0,38	0,60	1,01	
3,35			594,82	345,17	3831,25	0,09	0,32	0,54	1,00	
3,85			785,64	345,17	5060,25	0,07	0,28	0,50	1,00	
0		0,55	22,56	208,67	145,30	1,44	1,32	1,44	1,32	
		1,05	82,22	453,28	529,57	0,86	1,14	1,18	1,05	
		1,55	179,17	474,16	1154,02	0,41	0,74	0,88	1,02	
		2,05	313,40	474,16	2018,63	0,23	0,54	0,72	1,01	
		2,55	484,93	474,16	3123,41	0,15	0,42	0,62	1,01	
		3,05	693,74	474,16	4468,36	0,11	0,35	0,56	1,01	
		3,55	939,84	474,16	6053,48	0,08	0,30	0,51	1,01	
		4,05	1223,23	474,16	7878,78	0,06	0,26	0,47	1,02	
-1		0,75	45,67	356,34	294,17	1,21	1,29	1,27	1,03	
		1,25	126,87	507,77	817,14	0,62	0,94	1,03	1,03	
		1,75	248,66	507,77	1601,60	0,32	0,63	0,79	1,01	
		2,25	411,05	507,77	2647,54	0,19	0,48	0,67	1,02	
		2,75	614,03	507,77	3954,96	0,13	0,38	0,58	1,02	
		3,25	857,61	507,77	5523,87	0,09	0,32	0,53	1,03	
		3,75	1141,79	507,77	7354,27	0,07	0,28	0,48	1,04	
		4,25	1466,57	507,77	9446,15	0,05	0,24	0,45	1,04	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.5 – Resultados numéricos e estimativas – V_{M3} .

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,60	17,49	161,36	149,86	1,08	1,04	1,08	1,04	
		1,10	58,77	375,32	503,71	0,75	1,02	1,11	1,02	
		1,60	124,34	469,77	1065,70	0,44	0,82	1,11	1,08	
		2,10	214,20	493,13	1835,84	0,27	0,63	1,04	1,03	
		2,60	328,35	493,73	2814,12	0,18	0,50	0,96	0,99	
		3,10	466,78	493,73	4000,55	0,12	0,41	0,90	0,99	
		3,60	629,49	493,73	5395,12	0,09	0,35	0,86	1,02	
		4,10	816,50	493,73	6997,83	0,07	0,31	0,82	1,09	
	0	0,80	35,32	287,37	302,71	0,95	1,05	1,02	0,96	
		1,30	93,27	444,48	799,35	0,56	0,87	1,04	1,03	
		1,80	178,81	496,54	1532,49	0,32	0,66	0,98	1,09	
		2,30	291,94	496,54	2502,12	0,20	0,50	0,89	1,08	
		2,80	432,67	496,54	3708,24	0,13	0,41	0,83	1,07	
		3,30	600,99	496,54	5150,86	0,10	0,34	0,78	1,07	
		3,80	796,91	496,54	6829,98	0,07	0,29	0,75	1,07	
		4,30	1020,42	496,54	8745,59	0,06	0,26	0,72	1,07	
	-1	1,00	59,44	388,59	509,45	0,76	0,98	1,01	0,89	
		1,50	133,74	487,42	1146,26	0,43	0,75	0,97	1,00	
		2,00	237,77	519,21	2037,80	0,25	0,57	0,91	1,06	
		2,50	371,51	519,21	3184,06	0,16	0,45	0,84	1,07	
		3,00	534,98	519,21	4585,05	0,11	0,37	0,78	1,08	
		3,50	728,16	519,21	6240,76	0,08	0,31	0,74	1,09	
		4,00	951,07	519,21	8151,20	0,06	0,27	0,71	1,09	
		4,50	1203,70	519,21	10316,36	0,05	0,24	0,69	1,10	
	SCB	1	0,60	17,19	181,60	147,29	1,23	1,19	1,23	1,19
			1,10	57,76	416,81	495,07	0,84	1,16	1,21	1,07
			1,60	122,21	450,67	1047,42	0,43	0,80	0,96	1,11
			2,10	210,53	450,67	1804,35	0,25	0,59	0,79	1,10
2,60			322,72	450,67	2765,85	0,16	0,46	0,69	1,09	
3,10			458,77	450,67	3931,93	0,11	0,38	0,62	1,09	
3,60			618,70	450,67	5302,58	0,08	0,33	0,56	1,09	
4,10			802,49	450,67	6877,81	0,07	0,28	0,52	1,09	
0		0,80	40,54	379,45	347,49	1,09	1,20	1,19	1,05	
		1,30	107,06	550,93	917,59	0,60	0,94	1,04	1,10	
		1,80	205,26	557,57	1759,16	0,32	0,65	0,82	1,06	
		2,30	335,12	557,57	2872,21	0,19	0,49	0,69	1,04	
		2,80	496,67	557,57	4256,73	0,13	0,40	0,61	1,03	
		3,30	689,89	557,57	5912,73	0,09	0,33	0,55	1,03	
		3,80	914,78	557,57	7840,20	0,07	0,29	0,51	1,03	
		4,30	1171,35	557,57	10039,15	0,06	0,25	0,47	1,03	
-1		1,00	70,27	512,78	602,27	0,85	1,09	1,11	0,95	
		1,50	158,11	650,79	1355,11	0,48	0,84	0,99	1,08	
		2,00	281,09	651,68	2409,08	0,27	0,61	0,80	1,05	
		2,50	439,20	651,68	3764,19	0,17	0,47	0,69	1,04	
		3,00	632,45	651,68	5420,43	0,12	0,39	0,62	1,03	
		3,50	860,83	651,68	7377,81	0,09	0,33	0,56	1,02	
		4,00	1124,35	651,68	9636,32	0,07	0,29	0,52	1,01	
		4,50	1423,01	651,68	12195,97	0,05	0,25	0,48	1,00	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.6 – Resultados numéricos e estimativas – V_{m3} .

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,60	16,16	75,13	73,78	1,02	0,96	1,02	0,96	
		1,10	54,33	199,18	247,98	0,80	1,10	1,20	1,05	
		1,60	114,94	199,18	524,65	0,38	0,70	0,96	1,01	
		2,10	198,01	199,18	903,79	0,22	0,52	0,85	1,01	
		2,60	303,53	199,18	1385,39	0,14	0,41	0,79	1,02	
		3,10	431,49	199,18	1969,47	0,10	0,34	0,74	1,03	
		3,60	581,91	199,18	2656,02	0,07	0,29	0,70	1,04	
		4,10	754,77	199,18	3445,04	0,06	0,25	0,68	1,04	
	0	0,80	36,33	169,38	165,84	1,02	1,13	1,09	0,81	
		1,30	95,95	253,21	437,93	0,58	0,90	1,08	1,00	
		1,80	183,94	253,21	839,58	0,30	0,62	0,91	1,01	
		2,30	300,33	253,21	1370,80	0,18	0,47	0,83	1,03	
		2,80	445,10	253,21	2031,58	0,12	0,38	0,77	1,04	
		3,30	618,26	253,21	2821,93	0,09	0,32	0,73	1,05	
		3,80	819,80	253,21	3741,84	0,07	0,27	0,70	1,06	
		4,30	1049,73	253,21	4791,31	0,05	0,24	0,67	1,07	
	-1	1,00	59,84	264,84	273,12	0,97	1,24	1,29	1,05	
		1,50	134,64	266,64	614,52	0,43	0,76	0,99	1,00	
		2,00	239,35	266,64	1092,48	0,24	0,55	0,87	1,01	
		2,50	373,99	266,64	1707,00	0,16	0,43	0,80	1,01	
		3,00	538,54	266,64	2458,08	0,11	0,35	0,75	1,02	
		3,50	733,01	266,64	3345,72	0,08	0,30	0,71	1,03	
		4,00	957,40	266,64	4369,92	0,06	0,26	0,68	1,03	
		4,50	1211,72	266,64	5530,68	0,05	0,23	0,66	1,04	
	SCB	1	0,60	16,47	77,77	75,17	1,03	0,98	1,03	0,98
			1,10	55,35	214,82	252,65	0,85	1,17	1,23	1,17
			1,60	117,11	216,96	534,53	0,41	0,75	0,91	1,08
			2,10	201,74	216,96	920,81	0,24	0,55	0,75	1,05
2,60			309,24	216,96	1411,49	0,15	0,44	0,65	1,04	
3,10			439,62	216,96	2006,57	0,11	0,36	0,58	1,03	
3,60			592,87	216,96	2706,05	0,08	0,31	0,53	1,03	
4,10			768,99	216,96	3509,93	0,06	0,27	0,49	1,03	
0		0,80	42,01	215,53	191,77	1,12	1,24	1,22	0,96	
		1,30	110,95	296,49	506,39	0,59	0,92	1,02	1,05	
		1,80	212,70	296,49	970,83	0,31	0,63	0,79	1,02	
		2,30	347,28	296,49	1585,10	0,19	0,48	0,67	1,01	
		2,80	514,68	296,49	2349,18	0,13	0,38	0,59	1,01	
		3,30	714,91	296,49	3263,08	0,09	0,32	0,53	1,02	
		3,80	947,96	296,49	4326,80	0,07	0,28	0,49	1,02	
		4,30	1213,83	296,49	5540,34	0,05	0,24	0,45	1,02	
-1		1,00	71,58	288,91	326,73	0,88	1,13	1,16	0,99	
		1,50	161,06	315,81	735,14	0,43	0,76	0,88	1,01	
		2,00	286,33	315,81	1306,92	0,24	0,54	0,72	1,01	
		2,50	447,40	315,81	2042,06	0,15	0,42	0,62	1,01	
		3,00	644,25	315,81	2940,57	0,11	0,35	0,55	1,02	
		3,50	876,89	315,81	4002,44	0,08	0,29	0,50	1,03	
		4,00	1145,33	315,81	5227,68	0,06	0,26	0,46	1,04	
		4,50	1449,56	315,81	6616,28	0,05	0,23	0,43	1,04	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.7 – Resultados numéricos e estimativas – V_{M4} .

Condição de apoio	Ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,40	8,16	109,27	92,84	1,18	1,04	1,18	1,04	
		0,90	41,30	434,92	470,01	0,93	1,10	1,10	0,94	
		1,40	99,94	644,20	1137,31	0,57	0,94	1,17	1,12	
		1,90	184,07	721,23	2094,74	0,34	0,74	1,13	1,12	
		2,40	293,69	732,38	3342,30	0,22	0,58	1,05	1,07	
		2,90	428,81	732,59	4879,99	0,15	0,47	0,98	1,05	
		3,40	589,42	732,59	6707,81	0,11	0,40	0,93	1,07	
		3,90	775,52	732,59	8825,75	0,08	0,34	0,89	1,13	
	0	0,60	22,68	277,39	258,06	1,07	1,04	1,07	1,04	
		1,10	76,21	590,19	867,35	0,68	0,94	1,01	0,96	
		1,60	161,25	722,98	1835,06	0,39	0,73	0,99	1,06	
		2,10	277,77	744,62	3161,18	0,24	0,55	0,91	1,07	
		2,60	425,79	744,68	4845,70	0,15	0,44	0,84	1,06	
		3,10	605,31	744,68	6888,64	0,11	0,36	0,79	1,06	
		3,60	816,31	744,68	9289,99	0,08	0,31	0,75	1,06	
		4,10	1058,81	744,68	12049,74	0,06	0,27	0,72	1,06	
	-1	0,80	42,37	449,81	482,18	0,93	1,03	1,00	0,90	
		1,30	111,88	679,26	1273,25	0,53	0,83	0,99	0,96	
		1,80	214,49	777,38	2441,02	0,32	0,65	0,96	1,08	
		2,30	350,21	782,45	3985,49	0,20	0,50	0,88	1,09	
		2,80	519,02	782,45	5906,66	0,13	0,40	0,82	1,10	
		3,30	720,93	782,45	8204,53	0,10	0,34	0,77	1,10	
		3,80	955,95	782,45	10879,10	0,07	0,29	0,74	1,11	
		4,30	1224,06	782,45	13930,37	0,06	0,25	0,71	1,12	
	SCB	1	0,40	8,67	125,67	98,71	1,27	1,12	1,27	1,12
			0,90	43,91	504,43	499,71	1,01	1,20	1,20	0,96
			1,40	106,25	685,38	1209,18	0,57	0,94	1,07	1,12
			1,90	195,70	685,38	2227,12	0,31	0,66	0,85	1,11
2,40			312,25	685,38	3553,52	0,19	0,51	0,73	1,10	
2,90			455,90	685,38	5188,38	0,13	0,41	0,65	1,10	
3,40			626,66	685,38	7131,71	0,10	0,35	0,59	1,10	
3,90			824,53	685,38	9383,51	0,07	0,30	0,54	1,10	
0		0,60	25,38	363,01	288,85	1,26	1,21	1,26	1,21	
		1,10	85,31	749,44	970,87	0,77	1,06	1,11	1,07	
		1,60	180,49	833,70	2054,07	0,41	0,75	0,91	1,08	
		2,10	310,92	833,70	3538,45	0,24	0,55	0,75	1,06	
		2,60	476,61	833,70	5424,02	0,15	0,44	0,65	1,05	
		3,10	677,55	833,70	7710,78	0,11	0,36	0,58	1,05	
		3,60	913,74	833,70	10398,72	0,08	0,31	0,53	1,04	
		4,10	1185,18	833,70	13487,84	0,06	0,27	0,49	1,04	
-1		0,80	47,36	602,61	539,02	1,12	1,23	1,21	0,97	
		1,30	125,07	889,12	1423,35	0,62	0,98	1,08	1,08	
		1,80	239,78	939,25	2728,79	0,34	0,71	0,89	1,09	
		2,30	391,49	939,25	4455,34	0,21	0,54	0,75	1,07	
		2,80	580,21	939,25	6603,00	0,14	0,43	0,66	1,06	
		3,30	805,93	939,25	9171,78	0,10	0,36	0,60	1,05	
		3,80	1068,65	939,25	12161,66	0,08	0,31	0,55	1,04	
		4,30	1368,37	939,25	15572,65	0,06	0,27	0,51	1,04	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.8 – Resultados numéricos e estimativas – V_{m4} .

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,40	8,30	61,02	53,99	1,13	0,93	1,13	0,93	
		0,90	42,03	269,38	273,31	0,99	1,17	1,17	0,97	
		1,40	101,70	325,16	661,34	0,49	0,82	1,02	1,00	
		1,90	187,32	325,16	1218,09	0,27	0,57	0,88	1,00	
		2,40	298,88	325,16	1943,54	0,17	0,44	0,80	1,01	
		2,90	436,39	325,16	2837,70	0,11	0,36	0,75	1,02	
		3,40	599,84	325,16	3900,58	0,08	0,30	0,71	1,02	
		3,90	789,23	325,16	5132,16	0,06	0,26	0,68	1,03	
	0	0,60	23,40	157,76	152,16	1,04	0,98	1,04	0,98	
		1,10	78,65	410,68	511,44	0,80	1,10	1,20	1,00	
		1,60	166,40	410,72	1082,06	0,38	0,70	0,96	1,00	
		2,10	286,65	410,72	1864,02	0,22	0,52	0,85	1,02	
		2,60	439,40	410,72	2857,32	0,14	0,41	0,78	1,03	
		3,10	624,66	410,72	4061,95	0,10	0,34	0,74	1,04	
		3,60	842,41	410,72	5477,93	0,07	0,29	0,70	1,05	
		4,10	1092,66	410,72	7105,25	0,06	0,25	0,68	1,06	
	-1	0,80	42,35	282,83	275,37	1,03	1,13	1,10	0,87	
		1,30	111,82	422,90	727,16	0,58	0,91	1,08	1,01	
		1,80	214,38	422,90	1394,07	0,30	0,62	0,92	1,01	
		2,30	350,03	422,90	2276,13	0,19	0,47	0,83	1,02	
		2,80	518,76	422,90	3373,32	0,13	0,38	0,77	1,02	
		3,30	720,57	422,90	4685,64	0,09	0,32	0,73	1,03	
		3,80	955,46	422,90	6213,10	0,07	0,27	0,70	1,04	
		4,30	1223,44	422,90	7955,69	0,05	0,24	0,67	1,04	
	SCB	1	0,40	8,46	78,50	54,99	1,43	1,18	1,43	1,18
			0,90	42,81	276,95	278,37	0,99	1,19	1,18	1,03
			1,40	103,59	351,73	673,59	0,52	0,87	0,99	1,08
			1,90	190,79	351,73	1240,65	0,28	0,61	0,79	1,04
2,40			304,42	351,73	1979,54	0,18	0,47	0,67	1,03	
2,90			444,47	351,73	2890,26	0,12	0,38	0,60	1,02	
3,40			610,95	351,73	3972,83	0,09	0,32	0,54	1,02	
3,90			803,85	351,73	5227,22	0,07	0,28	0,50	1,01	
0		0,60	26,39	240,24	171,61	1,40	1,32	1,40	1,32	
		1,10	88,70	463,66	576,81	0,80	1,11	1,16	1,07	
		1,60	187,67	471,66	1220,35	0,39	0,72	0,86	1,02	
		2,10	323,29	471,66	2102,25	0,22	0,53	0,71	1,01	
		2,60	495,56	471,66	3222,49	0,15	0,42	0,62	1,01	
		3,10	704,49	471,66	4581,09	0,10	0,34	0,55	1,01	
		3,60	950,07	471,66	6178,03	0,08	0,29	0,50	1,02	
		4,10	1232,31	471,66	8013,33	0,06	0,26	0,47	1,02	
-1		0,80	51,73	384,65	336,40	1,14	1,26	1,24	0,99	
		1,30	136,61	506,72	888,31	0,57	0,89	0,99	1,02	
		1,80	261,90	506,72	1703,04	0,30	0,61	0,77	1,00	
		2,30	427,60	506,72	2780,58	0,18	0,46	0,65	1,01	
		2,80	633,73	506,72	4120,94	0,12	0,37	0,57	1,02	
		3,30	880,27	506,72	5724,11	0,09	0,31	0,52	1,02	
		3,80	1167,22	506,72	7590,10	0,07	0,27	0,48	1,03	
		4,30	1494,59	506,72	9718,90	0,05	0,24	0,44	1,04	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.9 – Resultados numéricos e estimativas – V_{M5} .

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,25	2,67	40,76	34,34	1,19	0,99	1,19	0,99	
		0,75	24,01	309,78	309,04	1,00	1,06	1,03	0,79	
		1,25	66,69	562,27	858,44	0,65	0,99	1,16	1,09	
		1,75	130,72	644,73	1682,54	0,38	0,77	1,11	1,08	
		2,25	216,09	646,92	2781,34	0,23	0,58	1,00	1,01	
		2,75	322,80	646,92	4154,84	0,16	0,47	0,93	0,98	
		3,25	450,85	646,92	5803,04	0,11	0,39	0,88	0,99	
		3,75	600,25	646,92	7725,94	0,08	0,33	0,84	1,03	
	0	0,45	10,58	153,19	136,13	1,13	1,02	1,13	1,02	
		0,95	47,14	503,69	606,71	0,83	1,03	1,04	0,96	
		1,45	109,81	646,77	1413,41	0,46	0,78	1,00	1,03	
		1,95	198,60	667,53	2556,23	0,26	0,57	0,90	1,03	
		2,45	313,50	667,53	4035,18	0,17	0,45	0,82	1,02	
		2,95	454,52	667,53	5850,26	0,11	0,36	0,77	1,01	
		3,45	621,65	667,53	8001,46	0,08	0,31	0,73	1,01	
		3,95	814,90	667,53	10488,78	0,06	0,27	0,70	1,01	
	-1	0,65	23,34	309,13	300,44	1,03	1,02	1,03	1,02	
		1,15	73,07	593,59	940,44	0,63	0,90	1,00	0,91	
		1,65	150,41	689,52	1936,00	0,36	0,68	0,94	1,01	
		2,15	255,38	693,32	3287,11	0,21	0,51	0,85	1,02	
		2,65	387,98	693,32	4993,77	0,14	0,40	0,78	1,03	
		3,15	548,20	693,32	7055,99	0,10	0,33	0,74	1,03	
		3,65	736,04	693,32	9473,76	0,07	0,28	0,70	1,04	
		4,15	951,50	693,32	12247,09	0,06	0,25	0,68	1,05	
	SCB	1	0,25	2,90	47,54	37,29	1,27	1,07	1,27	1,07
			0,75	26,08	374,57	335,64	1,12	1,18	1,17	0,98
			1,25	72,43	623,97	932,33	0,67	1,02	1,11	1,07
			1,75	141,97	625,10	1827,36	0,34	0,68	0,85	1,05
2,25			234,69	625,10	3020,74	0,21	0,52	0,72	1,04	
2,75			350,58	625,10	4512,47	0,14	0,41	0,63	1,04	
3,25			489,66	625,10	6302,54	0,10	0,35	0,57	1,04	
3,75			651,91	625,10	8390,95	0,07	0,30	0,52	1,03	
0		0,45	11,97	201,02	154,03	1,31	1,18	1,31	1,18	
		0,95	53,33	606,09	686,46	0,88	1,09	1,10	0,99	
		1,45	124,25	760,70	1599,20	0,48	0,81	0,94	1,06	
		1,95	224,71	761,83	2892,26	0,26	0,58	0,76	1,03	
		2,45	354,71	761,83	4565,62	0,17	0,45	0,65	1,01	
		2,95	514,27	761,83	6619,30	0,12	0,37	0,58	1,01	
		3,45	703,37	761,83	9053,28	0,08	0,31	0,52	1,01	
		3,95	922,02	761,83	11867,57	0,06	0,27	0,48	1,00	
-1		0,65	26,32	407,20	338,75	1,20	1,19	1,20	1,19	
		1,15	82,38	759,95	1060,34	0,72	1,02	1,08	1,00	
		1,65	169,59	874,20	2182,82	0,40	0,76	0,93	1,08	
		2,15	287,94	874,20	3706,18	0,24	0,56	0,77	1,05	
		2,65	437,44	874,20	5630,43	0,16	0,45	0,67	1,04	
		3,15	618,09	874,20	7955,56	0,11	0,37	0,60	1,03	
		3,65	829,88	874,20	10681,58	0,08	0,32	0,55	1,02	
		4,15	1072,81	874,20	13808,48	0,06	0,28	0,51	1,02	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.10 – Resultados numéricos e estimativas – V_{m5}.

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-AISI}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-Martins}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist}}}$	
SCA	1	0,25	2,83	20,67	16,75	1,23	0,90	1,23	0,90	
		0,75	25,45	151,85	150,71	1,01	1,07	1,04	0,97	
		1,25	70,69	272,23	418,63	0,65	0,99	1,15	1,07	
		1,75	138,55	272,23	820,51	0,33	0,66	0,96	1,05	
		2,25	229,03	272,23	1356,35	0,20	0,50	0,87	1,06	
		2,75	342,13	272,23	2026,15	0,13	0,40	0,80	1,07	
		3,25	477,85	272,23	2829,91	0,10	0,34	0,76	1,08	
		3,75	636,19	272,23	3767,63	0,07	0,29	0,73	1,09	
	0	0,45	11,29	72,03	66,87	1,08	0,90	1,08	0,90	
		0,95	50,32	310,81	298,02	1,04	1,29	1,31	1,01	
		1,45	117,24	330,00	694,29	0,48	0,81	1,04	1,03	
		1,95	212,03	330,00	1255,66	0,26	0,58	0,90	1,04	
		2,45	334,70	330,00	1982,15	0,17	0,45	0,82	1,05	
		2,95	485,25	330,00	2873,74	0,11	0,37	0,77	1,07	
		3,45	663,69	330,00	3930,44	0,08	0,31	0,73	1,08	
		3,95	870,00	330,00	5152,26	0,06	0,27	0,70	1,09	
	-1	0,65	25,68	156,34	152,06	1,03	1,01	1,03	1,01	
		1,15	80,37	348,92	475,97	0,73	1,04	1,16	1,01	
		1,65	165,45	349,30	979,83	0,36	0,68	0,94	1,00	
		2,15	280,92	349,30	1663,64	0,21	0,50	0,84	1,00	
		2,65	426,77	349,30	2527,40	0,14	0,40	0,78	1,01	
		3,15	603,01	349,30	3571,11	0,10	0,33	0,73	1,02	
		3,65	809,64	349,30	4794,77	0,07	0,28	0,70	1,02	
		4,15	1046,65	349,30	6198,38	0,06	0,25	0,67	1,03	
	SCB	1	0,25	2,92	26,05	17,30	1,51	1,09	1,51	1,09
			0,75	26,30	172,40	155,73	1,11	1,17	1,16	1,01
			1,25	73,04	287,44	432,58	0,66	1,01	1,10	1,13
			1,75	143,17	287,44	847,85	0,34	0,68	0,85	1,06
2,25			236,66	287,44	1401,55	0,21	0,51	0,71	1,04	
2,75			353,53	287,44	2093,68	0,14	0,41	0,63	1,04	
3,25			493,78	287,44	2924,23	0,10	0,34	0,56	1,03	
3,75			657,40	287,44	3893,20	0,07	0,29	0,52	1,03	
0		0,45	12,51	111,61	74,06	1,51	1,26	1,51	1,26	
		0,95	55,74	320,01	330,08	0,97	1,20	1,21	1,02	
		1,45	129,85	361,90	768,97	0,47	0,80	0,93	1,03	
		1,95	234,84	361,90	1390,73	0,26	0,57	0,75	1,02	
		2,45	370,70	361,90	2195,35	0,16	0,44	0,64	1,01	
		2,95	537,45	361,90	3182,85	0,11	0,36	0,57	1,01	
		3,45	735,08	361,90	4353,22	0,08	0,31	0,52	1,02	
		3,95	963,58	361,90	5706,46	0,06	0,27	0,48	1,02	
-1		0,65	28,84	220,16	170,77	1,29	1,26	1,29	1,26	
		1,15	90,26	380,62	534,53	0,71	1,01	1,08	1,01	
		1,65	185,81	383,22	1100,38	0,35	0,66	0,81	0,99	
		2,15	315,48	383,22	1868,32	0,21	0,49	0,67	0,99	
		2,65	479,28	383,22	2838,35	0,14	0,39	0,58	1,00	
		3,15	677,20	383,22	4010,48	0,10	0,32	0,52	1,01	
		3,65	909,25	383,22	5384,69	0,07	0,28	0,48	1,01	
		4,15	1175,42	383,22	6960,99	0,06	0,24	0,44	1,02	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.11 – Resultados numéricos e estimativas – V_{M6}.

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-AISI}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-Martins}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist}}}$	
SCA	1	0,30	3,58	68,09	57,79	1,18	1,01	1,18	1,01	
		0,80	25,47	387,00	410,96	0,94	1,04	1,01	0,81	
		1,30	67,25	627,99	1085,20	0,58	0,91	1,08	1,02	
		1,80	128,92	689,12	2080,50	0,33	0,68	1,00	0,98	
		2,30	210,49	689,63	3396,87	0,20	0,52	0,91	0,92	
		2,80	311,96	689,63	5034,30	0,14	0,42	0,85	0,90	
		3,30	433,32	689,63	6992,80	0,10	0,35	0,80	0,90	
		3,80	574,57	689,63	9272,36	0,07	0,30	0,76	0,95	
	0	0,50	11,42	205,46	184,36	1,11	1,03	1,11	1,03	
		1,00	45,70	565,13	737,44	0,77	0,98	1,02	0,95	
		1,50	102,82	713,85	1659,24	0,43	0,76	0,99	1,03	
		2,00	182,78	743,80	2949,76	0,25	0,57	0,90	1,04	
		2,50	285,60	743,80	4609,00	0,16	0,44	0,83	1,03	
		3,00	411,27	743,80	6636,96	0,11	0,36	0,78	1,03	
		3,50	559,78	743,80	9033,64	0,08	0,31	0,74	1,03	
		4,00	731,14	743,80	11799,04	0,06	0,27	0,71	1,03	
	-1	0,70	23,54	377,23	379,82	0,99	1,01	1,00	1,15	
		1,20	69,17	657,87	1116,22	0,59	0,87	0,98	0,92	
		1,70	138,82	758,06	2240,18	0,34	0,66	0,94	1,02	
		2,20	232,48	774,11	3751,73	0,21	0,50	0,86	1,05	
		2,70	350,16	774,11	5650,84	0,14	0,40	0,80	1,05	
		3,20	491,86	774,11	7937,54	0,10	0,34	0,75	1,06	
		3,70	657,57	774,11	10611,80	0,07	0,29	0,72	1,07	
		4,20	847,30	774,11	13673,65	0,06	0,25	0,69	1,07	
	SCB	1	0,30	3,63	70,96	58,65	1,21	1,04	1,21	1,04
			0,80	25,84	455,03	417,08	1,09	1,20	1,19	0,94
			1,30	68,25	676,52	1101,36	0,61	0,96	1,07	1,06
			1,80	130,84	676,62	2111,48	0,32	0,66	0,83	1,04
2,30			213,62	676,62	3447,44	0,20	0,50	0,70	1,03	
2,80			316,60	676,62	5109,25	0,13	0,40	0,62	1,03	
3,30			439,77	676,62	7096,90	0,10	0,34	0,56	1,03	
3,80			583,12	676,62	9410,40	0,07	0,29	0,51	1,02	
0		0,50	12,59	254,89	203,19	1,25	1,16	1,25	1,16	
		1,00	50,36	702,58	812,75	0,86	1,11	1,13	1,04	
		1,50	113,32	847,49	1828,69	0,46	0,81	0,95	1,10	
		2,00	201,45	847,99	3251,00	0,26	0,59	0,77	1,07	
		2,50	314,77	847,99	5079,69	0,17	0,46	0,67	1,05	
		3,00	453,27	847,99	7314,75	0,12	0,38	0,60	1,05	
		3,50	616,94	847,99	9956,19	0,09	0,32	0,54	1,05	
		4,00	805,81	847,99	13004,00	0,07	0,28	0,50	1,05	
-1		0,70	26,00	496,93	419,54	1,18	1,21	1,20	1,07	
		1,20	76,40	835,86	1232,93	0,68	1,00	1,07	1,01	
		1,70	153,33	966,62	2474,42	0,39	0,76	0,94	1,11	
		2,20	256,79	968,08	4144,01	0,23	0,57	0,79	1,09	
		2,70	386,77	968,08	6241,70	0,16	0,46	0,69	1,08	
		3,20	543,29	968,08	8767,49	0,11	0,38	0,62	1,07	
		3,70	726,33	968,08	11721,38	0,08	0,32	0,57	1,06	
		4,20	935,89	968,08	15103,37	0,06	0,28	0,53	1,05	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.12 – Resultados numéricos e estimativas – V_{m6}.

Condição de apoio	Ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-AISI}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-Martins}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist}}}$	
SCA	1	0,30	3,53	36,53	29,78	1,23	0,93	1,23	0,93	
		0,80	25,10	213,20	211,76	1,01	1,11	1,08	0,93	
		1,30	66,29	331,14	559,19	0,59	0,93	1,10	1,05	
		1,80	127,09	331,14	1072,05	0,31	0,63	0,93	1,04	
		2,30	207,50	331,14	1750,36	0,19	0,48	0,85	1,05	
		2,80	307,53	331,14	2594,10	0,13	0,39	0,79	1,05	
		3,30	427,16	331,14	3603,28	0,09	0,32	0,75	1,06	
		3,80	566,41	331,14	4777,91	0,07	0,28	0,71	1,07	
	0	0,50	12,10	106,46	102,07	1,04	0,91	1,04	0,91	
		1,00	48,40	407,84	408,26	1,00	1,28	1,33	1,05	
		1,50	108,90	417,31	918,59	0,45	0,80	1,04	1,05	
		2,00	193,59	417,31	1633,04	0,26	0,57	0,91	1,07	
		2,50	302,49	417,31	2551,63	0,16	0,45	0,84	1,08	
		3,00	435,59	417,31	3674,34	0,11	0,37	0,79	1,09	
		3,50	592,88	417,31	5001,19	0,08	0,31	0,75	1,10	
		4,00	774,38	417,31	6532,16	0,06	0,27	0,72	1,11	
	-1	0,70	25,45	220,57	214,70	1,03	1,05	1,03	1,02	
		1,20	74,80	440,36	630,96	0,70	1,03	1,16	1,04	
		1,70	150,12	440,41	1266,31	0,35	0,68	0,96	1,03	
		2,20	251,41	440,41	2120,74	0,21	0,51	0,86	1,04	
		2,70	378,67	440,41	3194,26	0,14	0,41	0,80	1,05	
		3,20	531,91	440,41	4486,86	0,10	0,34	0,76	1,05	
		3,70	711,12	440,41	5998,55	0,07	0,29	0,72	1,06	
		4,20	916,30	440,41	7729,32	0,06	0,25	0,69	1,06	
	SCB	1	0,30	3,71	46,79	31,27	1,50	1,14	1,50	1,14
			0,80	26,36	236,81	222,33	1,07	1,18	1,16	0,99
			1,30	69,60	365,19	587,09	0,62	0,97	1,08	1,13
			1,80	133,43	365,19	1125,54	0,32	0,67	0,84	1,07
2,30			217,86	365,19	1837,69	0,20	0,51	0,71	1,06	
2,80			322,87	365,19	2723,54	0,13	0,41	0,63	1,05	
3,30			448,48	365,19	3783,08	0,10	0,34	0,57	1,04	
3,80			594,68	365,19	5016,31	0,07	0,29	0,52	1,04	
0		0,50	13,41	169,12	113,13	1,49	1,30	1,49	1,30	
		1,00	53,65	423,29	452,52	0,94	1,20	1,22	1,06	
		1,50	120,70	456,68	1018,17	0,45	0,79	0,92	1,05	
		2,00	214,58	456,68	1810,08	0,25	0,57	0,75	1,04	
		2,50	335,28	456,68	2828,25	0,16	0,44	0,65	1,03	
		3,00	482,81	456,68	4072,68	0,11	0,36	0,58	1,03	
		3,50	657,16	456,68	5543,37	0,08	0,31	0,52	1,04	
		4,00	858,33	456,68	7240,32	0,06	0,27	0,48	1,04	
-1		0,70	29,35	306,27	247,59	1,24	1,26	1,25	1,10	
		1,20	86,26	485,64	727,62	0,67	0,98	1,06	1,02	
		1,70	173,11	485,64	1460,29	0,33	0,65	0,80	1,00	
		2,20	289,92	485,64	2445,60	0,20	0,49	0,67	1,00	
		2,70	436,68	485,64	3683,56	0,13	0,39	0,59	1,01	
		3,20	613,39	485,64	5174,17	0,09	0,32	0,53	1,02	
		3,70	820,05	485,64	6917,42	0,07	0,28	0,48	1,03	
		4,20	1056,66	485,64	8913,32	0,05	0,24	0,45	1,03	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.13 – Resultados numéricos e estimativas – V_{M7} .

Condição de apoio	Ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,65	18,05	390,61	360,75	1,08	1,07	1,08	1,07	
		1,15	56,51	797,90	1129,22	0,71	1,00	1,11	1,04	
		1,65	116,32	935,19	2324,61	0,40	0,77	1,06	1,03	
		2,15	197,50	938,05	3946,92	0,24	0,57	0,95	0,95	
		2,65	300,05	938,06	5996,16	0,16	0,45	0,88	0,92	
		3,15	423,95	938,06	8472,33	0,11	0,37	0,83	0,92	
		3,65	569,23	938,06	11375,42	0,08	0,32	0,79	0,95	
		4,15	735,86	938,06	14705,43	0,06	0,28	0,76	1,02	
	0	0,85	35,63	650,65	712,12	0,91	1,05	1,03	0,95	
		1,35	89,89	927,55	1796,33	0,52	0,83	1,01	1,02	
		1,85	168,80	1009,74	3373,35	0,30	0,63	0,95	1,06	
		2,35	272,38	1011,76	5443,20	0,19	0,48	0,86	1,05	
		2,85	400,61	1011,76	8005,86	0,13	0,39	0,80	1,05	
		3,35	553,51	1011,76	11061,34	0,09	0,33	0,76	1,04	
		3,85	731,07	1011,76	14609,65	0,07	0,28	0,73	1,04	
		4,35	933,28	1011,76	18650,77	0,05	0,25	0,70	1,04	
	-1	1,05	56,76	804,02	1134,36	0,71	0,94	1,00	0,89	
		1,55	123,70	982,07	2471,93	0,40	0,72	0,96	1,00	
		2,05	216,37	1045,47	4323,95	0,24	0,56	0,90	1,06	
		2,55	334,79	1045,59	6690,42	0,16	0,44	0,83	1,07	
		3,05	478,95	1045,59	9571,34	0,11	0,36	0,78	1,08	
		3,55	648,85	1045,59	12966,71	0,08	0,31	0,74	1,08	
		4,05	844,50	1045,59	16876,53	0,06	0,27	0,71	1,09	
		4,55	1065,89	1045,59	21300,80	0,05	0,23	0,68	1,10	
	SCB	1	0,65	18,03	530,54	360,24	1,47	1,46	1,47	1,46
			1,15	56,43	879,87	1127,60	0,78	1,11	1,18	1,08
			1,65	116,16	912,82	2321,29	0,39	0,75	0,91	1,07
			2,15	197,22	912,82	3941,28	0,23	0,55	0,76	1,06
2,65			299,62	912,82	5987,59	0,15	0,44	0,66	1,06	
3,15			423,35	912,82	8460,22	0,11	0,37	0,59	1,06	
3,65			568,41	912,82	11359,16	0,08	0,31	0,54	1,06	
4,15			734,81	912,82	14684,42	0,06	0,27	0,50	1,06	
0		0,85	39,12	804,01	781,75	1,03	1,18	1,17	1,03	
		1,35	98,68	1141,83	1971,95	0,58	0,93	1,05	1,13	
		1,85	185,31	1141,83	3703,15	0,31	0,65	0,83	1,08	
		2,35	299,01	1141,83	5975,35	0,19	0,50	0,70	1,07	
		2,85	439,78	1141,83	8788,55	0,13	0,40	0,62	1,06	
		3,35	607,62	1141,83	12142,75	0,09	0,34	0,56	1,06	
		3,85	802,54	1141,83	16037,95	0,07	0,29	0,52	1,06	
		4,35	1024,53	1141,83	20474,15	0,06	0,26	0,48	1,06	
-1		1,05	62,02	1000,29	1239,43	0,81	1,07	1,11	0,97	
		1,55	135,15	1287,15	2700,89	0,48	0,86	1,02	1,14	
		2,05	236,41	1287,15	4724,45	0,27	0,63	0,84	1,11	
		2,55	365,80	1287,15	7310,11	0,18	0,49	0,72	1,09	
		3,05	523,31	1287,15	10457,87	0,12	0,40	0,65	1,08	
		3,55	708,95	1287,15	14167,73	0,09	0,34	0,59	1,08	
		4,05	922,72	1287,15	18439,69	0,07	0,30	0,54	1,07	
		4,55	1164,62	1287,15	23273,75	0,06	0,26	0,51	1,06	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.14 – Resultados numéricos e estimativas – V_{m7}.

Condição de apoio	Ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{\text{Rdist-AISI}}}$	$\frac{M_u}{M_{\text{Rdist-Martins}}}$	$\frac{M_u}{M_{\text{Rdist}}}$	
SCA	1	0,65	18,37	212,62	203,12	1,05	1,03	1,05	1,03	
		1,15	57,51	475,69	635,79	0,75	1,06	1,18	1,06	
		1,65	118,39	475,69	1308,84	0,36	0,69	0,96	1,03	
		2,15	201,01	475,69	2222,27	0,21	0,51	0,86	1,03	
		2,65	305,37	475,69	3376,07	0,14	0,41	0,79	1,04	
		3,15	431,47	475,69	4770,24	0,10	0,34	0,75	1,05	
		3,65	579,32	475,69	6404,79	0,07	0,29	0,71	1,06	
		4,15	748,91	475,69	8279,72	0,06	0,25	0,69	1,06	
	0	0,85	38,54	435,17	426,07	1,02	1,17	1,15	0,85	
		1,35	97,21	598,01	1074,76	0,56	0,90	1,09	1,04	
		1,85	182,56	598,01	2018,32	0,30	0,62	0,94	1,05	
		2,35	294,58	598,01	3256,73	0,18	0,48	0,85	1,07	
		2,85	433,26	598,01	4790,00	0,12	0,39	0,79	1,08	
		3,35	598,62	598,01	6618,13	0,09	0,32	0,75	1,09	
		3,85	790,65	598,01	8741,12	0,07	0,28	0,72	1,10	
		4,35	1009,34	598,01	11158,98	0,05	0,25	0,69	1,11	
	-1	1,05	61,29	616,65	677,60	0,91	1,21	1,28	1,07	
		1,55	133,56	622,04	1476,58	0,42	0,76	1,01	1,04	
		2,05	233,62	622,04	2582,86	0,24	0,55	0,89	1,04	
		2,55	361,48	622,04	3996,44	0,16	0,43	0,82	1,05	
		3,05	517,14	622,04	5717,32	0,11	0,36	0,77	1,06	
		3,55	700,59	622,04	7745,50	0,08	0,30	0,74	1,06	
		4,05	911,84	622,04	10080,98	0,06	0,26	0,71	1,07	
		4,55	1150,88	622,04	12723,76	0,05	0,23	0,68	1,08	
	SCB	1	0,65	18,28	262,98	202,11	1,30	1,28	1,30	1,28
			1,15	57,22	509,73	632,64	0,81	1,15	1,22	1,19
			1,65	117,80	510,63	1302,36	0,39	0,75	0,91	1,10
			2,15	200,01	510,63	2211,27	0,23	0,55	0,75	1,08
2,65			303,86	510,63	3359,35	0,15	0,44	0,66	1,07	
3,15			429,34	510,63	4746,63	0,11	0,36	0,59	1,06	
3,65			576,45	510,63	6373,08	0,08	0,31	0,54	1,06	
4,15			745,20	510,63	8238,73	0,06	0,27	0,50	1,05	
0		0,85	42,68	510,36	471,86	1,08	1,24	1,23	0,98	
		1,35	107,66	651,69	1190,26	0,55	0,88	0,99	1,05	
		1,85	202,18	651,69	2235,20	0,29	0,61	0,78	1,03	
		2,35	326,23	651,69	3606,69	0,18	0,47	0,66	1,02	
		2,85	479,82	651,69	5304,72	0,12	0,38	0,59	1,02	
		3,35	662,94	651,69	7329,30	0,09	0,32	0,53	1,02	
		3,85	875,61	651,69	9680,43	0,07	0,27	0,49	1,03	
		4,35	1117,81	651,69	12358,10	0,05	0,24	0,45	1,03	
-1		1,05	72,69	689,79	803,60	0,86	1,14	1,18	1,04	
		1,55	158,39	704,26	1751,16	0,40	0,73	0,86	1,01	
		2,05	277,07	704,26	3063,16	0,23	0,53	0,71	1,01	
		2,55	428,70	704,26	4739,61	0,15	0,41	0,61	1,02	
		3,05	613,30	704,26	6780,50	0,10	0,34	0,55	1,02	
		3,55	830,87	704,26	9185,84	0,08	0,29	0,50	1,03	
		4,05	1081,40	704,26	11955,62	0,06	0,25	0,46	1,04	
		4,55	1364,90	704,26	15089,85	0,05	0,22	0,43	1,04	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.15 – Resultados numéricos e estimativas – V_{M8}.

Condição de apoio	Ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-AISI}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-Martins}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist}}}$	
SCA	1	0,45	8,65	143,60	128,04	1,12	1,02	1,12	1,02	
		0,95	38,55	499,82	570,66	0,88	1,08	1,10	0,97	
		1,45	89,82	683,33	1329,43	0,51	0,88	1,12	1,08	
		1,95	162,44	699,27	2404,36	0,29	0,64	1,00	0,99	
		2,45	256,42	699,27	3795,44	0,18	0,50	0,91	0,93	
		2,95	371,77	699,27	5502,68	0,13	0,41	0,85	0,92	
		3,45	508,47	699,27	7526,07	0,09	0,34	0,81	0,94	
		3,95	666,53	699,27	9865,62	0,07	0,30	0,78	0,99	
	0	0,65	21,63	324,84	320,16	1,01	1,00	1,01	1,00	
		1,15	67,71	631,12	1002,15	0,63	0,90	0,99	0,95	
		1,65	139,38	715,94	2063,03	0,35	0,66	0,92	0,99	
		2,15	236,65	715,94	3502,79	0,20	0,49	0,82	0,97	
		2,65	359,52	715,94	5321,44	0,13	0,39	0,76	0,96	
		3,15	507,99	715,94	7518,97	0,10	0,32	0,71	0,96	
		3,65	682,05	715,94	10095,39	0,07	0,28	0,68	0,96	
		4,15	881,72	715,94	13050,69	0,05	0,24	0,65	0,96	
	-1	0,85	38,86	554,19	575,14	0,96	1,11	1,08	0,94	
		1,35	98,02	730,52	1450,78	0,50	0,81	0,99	0,97	
		1,85	184,07	756,07	2724,45	0,28	0,58	0,88	0,99	
		2,35	297,01	756,07	4396,13	0,17	0,45	0,80	1,00	
		2,85	436,84	756,07	6465,83	0,12	0,36	0,74	1,00	
		3,35	603,56	756,07	8933,56	0,08	0,30	0,70	1,01	
		3,85	797,17	756,07	11799,30	0,06	0,26	0,67	1,02	
		4,35	1017,67	756,07	15063,07	0,05	0,23	0,65	1,02	
	SCB	1	0,45	8,90	159,73	131,81	1,21	1,10	1,21	1,10
			0,95	39,69	552,23	587,43	0,94	1,16	1,17	0,95
			1,45	92,46	689,88	1368,50	0,50	0,86	1,00	1,07
			1,95	167,21	689,88	2475,01	0,28	0,61	0,80	1,06
2,45			263,96	689,88	3906,97	0,18	0,48	0,69	1,05	
2,95			382,69	689,88	5664,37	0,12	0,39	0,61	1,05	
3,45			523,41	689,88	7747,22	0,09	0,33	0,55	1,05	
3,95			686,12	689,88	10155,51	0,07	0,28	0,51	1,05	
0		0,65	24,11	424,40	356,90	1,19	1,18	1,19	1,18	
		1,15	75,48	799,81	1117,17	0,72	1,02	1,08	1,07	
		1,65	155,38	852,90	2299,80	0,37	0,71	0,86	1,05	
		2,15	263,81	852,90	3904,81	0,22	0,52	0,71	1,03	
		2,65	400,78	852,90	5932,19	0,14	0,42	0,62	1,02	
		3,15	566,29	852,90	8381,93	0,10	0,34	0,56	1,02	
		3,65	760,33	852,90	11254,05	0,08	0,29	0,51	1,01	
		4,15	982,91	852,90	14548,53	0,06	0,26	0,47	1,01	
-1		0,85	43,98	655,64	650,99	1,01	1,16	1,14	0,91	
		1,35	110,94	917,82	1642,13	0,56	0,90	1,01	1,03	
		1,85	208,34	972,00	3083,78	0,32	0,66	0,85	1,05	
		2,35	336,18	972,00	4975,94	0,20	0,51	0,72	1,04	
		2,85	494,45	972,00	7318,62	0,13	0,41	0,64	1,02	
		3,35	683,16	972,00	10111,81	0,10	0,34	0,57	1,02	
		3,85	902,31	972,00	13355,52	0,07	0,30	0,53	1,01	
		4,35	1151,90	972,00	17049,74	0,06	0,26	0,49	1,00	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.16 – Resultados numéricos e estimativas – V_{m8} .

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,45	8,70	56,83	52,22	1,09	0,90	1,09	0,90	
		0,95	38,78	226,67	232,75	0,97	1,20	1,22	1,02	
		1,45	90,34	267,24	542,23	0,49	0,84	1,07	1,08	
		1,95	163,38	267,24	980,66	0,27	0,60	0,94	1,08	
		2,45	257,91	267,24	1548,04	0,17	0,46	0,86	1,09	
		2,95	373,93	267,24	2244,37	0,12	0,38	0,80	1,09	
		3,45	511,42	267,24	3069,65	0,09	0,32	0,76	1,10	
		3,95	670,40	267,24	4023,88	0,07	0,28	0,73	1,11	
	0	0,65	23,42	143,89	140,54	1,02	1,00	1,02	1,00	
		1,15	73,29	330,63	439,93	0,75	1,07	1,19	1,02	
		1,65	150,88	333,32	905,64	0,37	0,70	0,97	1,03	
		2,15	256,19	333,32	1537,67	0,22	0,52	0,87	1,05	
		2,65	389,20	333,32	2336,03	0,14	0,41	0,80	1,06	
		3,15	549,92	333,32	3300,72	0,10	0,34	0,76	1,07	
		3,65	738,35	333,32	4431,73	0,08	0,29	0,72	1,08	
		4,15	954,49	333,32	5729,06	0,06	0,25	0,69	1,09	
	-1	0,85	41,97	258,81	251,94	1,03	1,18	1,16	0,91	
		1,35	105,88	347,41	635,51	0,55	0,88	1,07	1,03	
		1,85	198,83	347,63	1193,43	0,29	0,61	0,92	1,03	
		2,35	320,83	347,63	1925,70	0,18	0,47	0,84	1,03	
		2,85	471,88	347,63	2832,32	0,12	0,38	0,78	1,04	
		3,35	651,98	347,63	3913,29	0,09	0,32	0,74	1,05	
		3,85	861,12	347,63	5168,61	0,07	0,27	0,71	1,05	
		4,35	1099,31	347,63	6598,28	0,05	0,24	0,68	1,06	
	SCB	1	0,45	9,40	82,06	56,43	1,45	1,20	1,45	1,20
			0,95	41,90	243,61	251,52	0,97	1,20	1,21	1,08
			1,45	97,62	284,20	585,95	0,49	0,83	0,96	1,07
			1,95	176,56	284,36	1059,72	0,27	0,59	0,77	1,04
2,45			278,70	284,36	1672,84	0,17	0,46	0,66	1,02	
2,95			404,07	284,36	2425,30	0,12	0,37	0,59	1,02	
3,45			552,65	284,36	3317,11	0,09	0,32	0,53	1,01	
3,95			724,44	284,36	4348,26	0,07	0,27	0,49	1,01	
0		0,65	25,54	196,30	153,28	1,28	1,25	1,28	1,25	
		1,15	79,94	352,43	479,80	0,73	1,04	1,11	1,05	
		1,65	164,56	357,09	987,72	0,36	0,69	0,84	1,02	
		2,15	279,40	357,09	1677,04	0,21	0,51	0,70	1,01	
		2,65	424,47	357,09	2547,76	0,14	0,41	0,61	1,01	
		3,15	599,76	357,09	3599,88	0,10	0,34	0,54	1,01	
		3,65	805,27	357,09	4833,40	0,07	0,29	0,50	1,01	
		4,15	1041,01	357,09	6248,32	0,06	0,25	0,46	1,01	
-1		0,85	46,73	296,97	280,47	1,06	1,21	1,20	0,96	
		1,35	117,87	372,92	707,48	0,53	0,85	0,96	1,01	
		1,85	221,35	372,92	1328,58	0,28	0,59	0,75	1,00	
		2,35	357,17	372,92	2143,78	0,17	0,45	0,64	1,01	
		2,85	525,32	372,92	3153,07	0,12	0,37	0,57	1,01	
		3,35	725,81	372,92	4356,46	0,09	0,31	0,51	1,02	
		3,85	958,64	372,92	5753,95	0,06	0,26	0,47	1,03	
		4,35	1223,81	372,92	7345,53	0,05	0,23	0,44	1,03	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.17 – Resultados numéricos e estimativas – V_{M9} .

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,55	14,24	345,91	310,85	1,11	1,06	1,11	1,06	
		1,05	51,92	897,62	1132,93	0,79	1,05	1,11	1,01	
		1,55	113,13	1115,48	2468,81	0,45	0,82	1,09	1,05	
		2,05	197,89	1130,06	4318,49	0,26	0,60	0,97	0,97	
		2,55	306,20	1130,06	6681,97	0,17	0,47	0,89	0,92	
		3,05	438,05	1130,06	9559,25	0,12	0,39	0,84	0,92	
		3,55	593,44	1130,06	12950,33	0,09	0,33	0,80	0,94	
		4,05	772,38	1130,06	16855,21	0,07	0,29	0,77	1,00	
	0	0,75	30,24	655,86	659,87	0,99	1,05	1,02	1,01	
		1,25	84,00	1075,29	1832,97	0,59	0,89	1,04	1,02	
		1,75	164,63	1182,10	3592,62	0,33	0,66	0,95	1,05	
		2,25	272,14	1183,53	5938,82	0,20	0,50	0,86	1,03	
		2,75	406,54	1183,53	8871,57	0,13	0,40	0,80	1,03	
		3,25	567,81	1183,53	12390,87	0,10	0,33	0,76	1,03	
		3,75	755,96	1183,53	16496,72	0,07	0,29	0,72	1,03	
		4,25	970,98	1183,53	21189,12	0,06	0,25	0,69	1,03	
	-1	0,95	51,60	896,23	1125,96	0,80	0,98	1,00	0,87	
		1,45	120,20	1153,06	2623,08	0,44	0,75	0,96	0,97	
		1,95	217,39	1219,40	4744,00	0,26	0,56	0,88	1,02	
		2,45	343,17	1219,40	7488,72	0,16	0,44	0,81	1,03	
		2,95	497,53	1219,40	10857,24	0,11	0,36	0,76	1,03	
		3,45	680,48	1219,40	14849,56	0,08	0,30	0,72	1,04	
		3,95	892,01	1219,40	19465,68	0,06	0,26	0,69	1,05	
		4,45	1132,13	1219,40	24705,60	0,05	0,23	0,66	1,05	
	SCB	1	0,55	14,33	372,36	312,69	1,19	1,13	1,19	1,13
			1,05	52,22	987,55	1139,65	0,87	1,15	1,19	1,02
			1,55	113,80	1095,65	2483,46	0,44	0,80	0,95	1,07
			2,05	199,07	1095,65	4344,12	0,25	0,58	0,77	1,05
2,55			308,02	1095,65	6721,63	0,16	0,45	0,67	1,05	
3,05			440,65	1095,65	9615,99	0,11	0,37	0,60	1,05	
3,55			596,97	1095,65	13027,20	0,08	0,32	0,55	1,05	
4,05			776,97	1095,65	16955,26	0,06	0,28	0,50	1,05	
0		0,75	33,80	841,15	737,49	1,14	1,21	1,19	1,07	
		1,25	93,88	1289,39	2048,59	0,63	0,95	1,04	1,08	
		1,75	184,00	1360,99	4015,24	0,34	0,68	0,85	1,07	
		2,25	304,16	1360,99	6637,44	0,21	0,51	0,71	1,05	
		2,75	454,36	1360,99	9915,19	0,14	0,41	0,63	1,05	
		3,25	634,60	1360,99	13848,49	0,10	0,34	0,56	1,04	
		3,75	844,88	1360,99	18437,34	0,07	0,29	0,52	1,04	
		4,25	1085,21	1360,99	23681,74	0,06	0,26	0,48	1,04	
-1		0,95	56,58	1133,56	1234,80	0,92	1,13	1,15	0,95	
		1,45	131,82	1514,30	2876,64	0,53	0,90	1,04	1,11	
		1,95	238,41	1530,55	5202,58	0,29	0,65	0,85	1,09	
		2,45	376,34	1530,55	8212,62	0,19	0,50	0,73	1,07	
		2,95	545,62	1530,55	11906,76	0,13	0,41	0,64	1,06	
		3,45	746,25	1530,55	16285,00	0,09	0,35	0,59	1,05	
		3,95	978,23	1530,55	21347,34	0,07	0,30	0,54	1,04	
		4,45	1241,56	1530,55	27093,78	0,06	0,26	0,50	1,04	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.18 – Resultados numéricos e estimativas – V_{m9}.

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-AISI}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist-Martins}}$	$\frac{M_u}{M_{Rdist}}$	
SCA	1	0,55	15,00	162,23	151,20	1,07	0,96	1,07	0,96	
		1,05	54,67	498,08	551,07	0,90	1,20	1,27	1,09	
		1,55	119,14	506,00	1200,87	0,42	0,76	1,01	1,05	
		2,05	208,40	506,00	2100,58	0,24	0,55	0,89	1,05	
		2,55	322,45	506,00	3250,21	0,16	0,43	0,82	1,06	
		3,05	461,30	506,00	4649,76	0,11	0,36	0,77	1,07	
		3,55	624,94	506,00	6299,23	0,08	0,30	0,74	1,08	
		4,05	813,38	506,00	8198,63	0,06	0,26	0,71	1,09	
	0	0,75	33,33	344,16	335,91	1,02	1,09	1,06	0,82	
		1,25	92,57	608,93	933,08	0,65	0,99	1,15	1,05	
		1,75	181,44	609,80	1828,83	0,33	0,67	0,97	1,06	
		2,25	299,93	609,80	3023,17	0,20	0,50	0,87	1,07	
		2,75	448,04	609,80	4516,10	0,14	0,40	0,81	1,09	
		3,25	625,77	609,80	6307,61	0,10	0,34	0,76	1,10	
		3,75	833,13	609,80	8397,70	0,07	0,29	0,73	1,11	
		4,25	1070,11	609,80	10786,38	0,06	0,25	0,70	1,11	
	-1	0,95	57,10	603,06	575,56	1,05	1,30	1,31	1,05	
		1,45	133,02	640,09	1340,85	0,48	0,82	1,04	1,03	
		1,95	240,58	640,25	2425,01	0,26	0,58	0,91	1,03	
		2,45	379,78	640,25	3828,03	0,17	0,45	0,83	1,04	
		2,95	550,60	640,25	5549,93	0,12	0,37	0,78	1,05	
		3,45	753,07	640,25	7590,70	0,08	0,31	0,74	1,06	
		3,95	987,17	640,25	9950,34	0,06	0,27	0,71	1,06	
		4,45	1252,90	640,25	12628,85	0,05	0,24	0,68	1,07	
	SCB	1	0,55	15,30	217,03	154,26	1,41	1,26	1,41	1,26
			1,05	55,78	511,25	562,23	0,91	1,21	1,25	1,16
			1,55	121,55	525,98	1225,18	0,43	0,78	0,92	1,07
			2,05	212,62	525,98	2143,11	0,25	0,56	0,75	1,04
2,55			328,98	525,98	3316,01	0,16	0,44	0,65	1,03	
3,05			470,64	525,98	4743,90	0,11	0,36	0,58	1,03	
3,55			637,60	525,98	6426,77	0,08	0,31	0,53	1,02	
4,05			829,85	525,98	8364,62	0,06	0,27	0,49	1,02	
0		0,75	37,33	440,33	376,24	1,17	1,24	1,22	0,95	
		1,25	103,68	656,63	1045,11	0,63	0,95	1,04	1,05	
		1,75	203,22	656,63	2048,41	0,32	0,64	0,80	1,01	
		2,25	335,94	656,63	3386,15	0,19	0,48	0,67	1,01	
		2,75	501,83	656,63	5058,33	0,13	0,39	0,59	1,01	
		3,25	700,91	656,63	7064,94	0,09	0,32	0,53	1,01	
		3,75	933,16	656,63	9405,98	0,07	0,28	0,49	1,01	
		4,25	1198,59	656,63	12081,46	0,05	0,24	0,45	1,01	
-1		0,95	62,96	615,84	634,62	0,97	1,20	1,21	1,01	
		1,45	146,67	692,72	1478,44	0,47	0,80	0,93	1,03	
		1,95	265,27	692,72	2673,84	0,26	0,57	0,74	1,03	
		2,45	418,75	692,72	4220,84	0,16	0,44	0,64	1,03	
		2,95	607,10	692,72	6119,42	0,11	0,36	0,57	1,04	
		3,45	830,34	692,72	8369,60	0,08	0,30	0,52	1,05	
		3,95	1088,46	692,72	10971,37	0,06	0,26	0,48	1,06	
		4,45	1381,46	692,72	13924,72	0,05	0,23	0,44	1,06	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.19 – Resultados numéricos e estimativas – V_{M10}.

Condição de apoio	Ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-AISI}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-Martins}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist}}}$	
SCA	1	0,50	12,33	364,05	320,00	1,14	1,06	1,14	1,06	
		1,00	49,31	1061,15	1280,00	0,83	1,06	1,10	0,99	
		1,50	110,96	1360,41	2880,00	0,47	0,83	1,08	1,04	
		2,00	197,26	1392,03	5120,00	0,27	0,61	0,97	0,96	
		2,50	308,21	1392,03	8000,00	0,17	0,48	0,89	0,92	
		3,00	443,82	1392,03	11520,00	0,12	0,39	0,84	0,91	
		3,50	604,09	1392,03	15680,00	0,09	0,33	0,79	0,93	
		4,00	789,02	1392,03	20480,00	0,07	0,29	0,76	0,98	
	0	0,70	27,04	731,15	701,78	1,04	1,06	1,05	1,14	
		1,20	79,46	1293,29	2062,37	0,63	0,92	1,05	1,02	
		1,70	159,46	1456,89	4139,06	0,35	0,69	0,97	1,06	
		2,20	267,06	1460,16	6931,85	0,21	0,51	0,88	1,05	
		2,70	402,24	1460,16	10440,74	0,14	0,41	0,81	1,04	
		3,20	565,02	1460,16	14665,73	0,10	0,34	0,77	1,04	
		3,70	755,38	1460,16	19606,82	0,07	0,29	0,73	1,04	
		4,20	973,33	1460,16	25264,01	0,06	0,26	0,70	1,04	
	-1	0,90	47,61	1032,42	1235,82	0,84	1,00	0,99	0,86	
		1,40	115,21	1387,36	2990,37	0,46	0,77	0,96	0,96	
		1,90	212,20	1508,62	5507,78	0,27	0,59	0,90	1,03	
		2,40	338,57	1508,81	8788,03	0,17	0,45	0,82	1,04	
		2,90	494,34	1508,81	12831,14	0,12	0,37	0,77	1,05	
		3,40	679,49	1508,81	17637,09	0,09	0,31	0,73	1,05	
		3,90	894,04	1508,81	23205,90	0,07	0,27	0,70	1,06	
		4,40	1137,98	1508,81	29537,55	0,05	0,24	0,67	1,07	
	SCB	1	0,50	12,56	391,40	326,10	1,20	1,12	1,20	1,12
			1,00	50,25	1173,49	1304,40	0,90	1,15	1,18	0,98
			1,50	113,07	1366,21	2934,90	0,47	0,82	0,96	1,05
			2,00	201,02	1366,21	5217,60	0,26	0,59	0,78	1,04
2,50			314,09	1366,21	8152,50	0,17	0,46	0,67	1,04	
3,00			452,29	1366,21	11739,60	0,12	0,38	0,60	1,04	
3,50			615,61	1366,21	15978,90	0,09	0,32	0,54	1,03	
4,00			804,06	1366,21	20870,40	0,07	0,28	0,50	1,03	
0		0,70	30,32	919,40	786,99	1,17	1,19	1,18	1,13	
		1,20	89,10	1552,94	2312,78	0,67	0,99	1,06	1,07	
		1,70	178,83	1685,02	4641,63	0,36	0,71	0,87	1,09	
		2,20	299,49	1685,02	7773,52	0,22	0,53	0,73	1,07	
		2,70	451,09	1685,02	11708,47	0,14	0,42	0,64	1,06	
		3,20	633,62	1685,02	16446,46	0,10	0,35	0,57	1,05	
		3,70	847,10	1685,02	21987,51	0,08	0,30	0,53	1,05	
		4,20	1091,52	1685,02	28331,60	0,06	0,26	0,49	1,05	
-1		0,90	52,24	1336,59	1356,02	0,99	1,17	1,17	0,95	
		1,40	126,41	1782,39	3281,24	0,54	0,90	1,03	1,07	
		1,90	232,83	1890,74	6043,50	0,31	0,67	0,87	1,10	
		2,40	371,50	1890,74	9642,82	0,20	0,52	0,74	1,08	
		2,90	542,42	1890,74	14079,18	0,13	0,42	0,66	1,07	
		3,40	745,59	1890,74	19352,60	0,10	0,36	0,60	1,06	
		3,90	981,00	1890,74	25463,06	0,07	0,31	0,55	1,06	
		4,40	1248,66	1890,74	32410,58	0,06	0,27	0,51	1,05	

Fonte: Autor (2023).

Tabela A.20 Resultados numéricos e estimativas – V_m10.

Condição de apoio	ψ	λ_{dist}	f_y (kN/cm ²)	M_u (kN.cm)	M_y (kN.cm)	$\frac{M_u}{M_y}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-AISI}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist-Martins}}}$	$\frac{M_u}{M_{R\text{dist}}}$	
SCA	1	0,50	12,88	179,23	163,60	1,10	0,95	1,10	0,95	
		1,00	51,52	618,37	654,41	0,94	1,21	1,25	1,06	
		1,50	115,92	657,11	1472,42	0,45	0,78	1,02	1,04	
		2,00	206,07	657,11	2617,64	0,25	0,56	0,90	1,04	
		2,50	321,99	657,11	4090,06	0,16	0,44	0,82	1,05	
		3,00	463,66	657,11	5889,69	0,11	0,36	0,77	1,06	
		3,50	631,10	657,11	8016,52	0,08	0,31	0,73	1,07	
		4,00	824,29	657,11	10470,56	0,06	0,27	0,70	1,08	
	0	0,70	30,34	398,00	385,35	1,03	1,05	1,04	0,94	
		1,20	89,15	797,99	1132,46	0,70	1,04	1,18	1,04	
		1,70	178,92	800,93	2272,78	0,35	0,69	0,98	1,05	
		2,20	299,65	800,93	3806,32	0,21	0,51	0,88	1,07	
		2,70	451,33	800,93	5733,07	0,14	0,41	0,81	1,08	
		3,20	633,97	800,93	8053,04	0,10	0,34	0,77	1,09	
		3,70	847,56	800,93	10766,23	0,07	0,29	0,73	1,10	
		4,20	1092,11	800,93	13872,63	0,06	0,26	0,70	1,11	
	-1	0,90	53,62	701,81	681,08	1,03	1,23	1,22	0,96	
		1,40	129,74	841,40	1648,05	0,51	0,85	1,06	1,03	
		1,90	238,96	841,84	3035,43	0,28	0,60	0,91	1,03	
		2,40	381,28	841,84	4843,24	0,17	0,46	0,83	1,04	
		2,90	556,70	841,84	7071,46	0,12	0,37	0,78	1,05	
		3,40	765,21	841,84	9720,11	0,09	0,31	0,74	1,05	
		3,90	1006,82	841,84	12789,18	0,07	0,27	0,71	1,06	
		4,40	1281,53	841,84	16278,66	0,05	0,24	0,68	1,06	
	SCB	1	0,50	13,11	242,55	166,49	1,46	1,26	1,46	1,26
			1,00	52,43	638,39	665,97	0,96	1,23	1,26	1,14
			1,50	117,96	692,45	1498,43	0,46	0,81	0,95	1,09
			2,00	209,71	692,45	2663,88	0,26	0,58	0,77	1,05
2,50			327,68	692,45	4162,31	0,17	0,46	0,67	1,04	
3,00			471,85	692,45	5993,73	0,12	0,37	0,59	1,03	
3,50			642,24	692,45	8158,13	0,08	0,32	0,54	1,03	
4,00			838,85	692,45	10655,52	0,06	0,28	0,50	1,03	
0		0,70	33,82	545,24	429,63	1,27	1,30	1,28	1,02	
		1,20	99,40	860,60	1262,59	0,68	1,00	1,08	1,05	
		1,70	199,48	860,71	2533,95	0,34	0,66	0,82	1,01	
		2,20	334,08	860,71	4243,71	0,20	0,50	0,68	1,01	
		2,70	503,20	860,71	6391,87	0,13	0,40	0,60	1,01	
		3,20	706,82	860,71	8978,43	0,10	0,33	0,54	1,01	
		3,70	944,96	860,71	12003,39	0,07	0,28	0,49	1,01	
		4,20	1217,61	860,71	15466,75	0,06	0,25	0,46	1,01	
-1		0,90	58,30	771,18	740,57	1,04	1,24	1,24	1,01	
		1,40	141,07	908,82	1791,99	0,51	0,84	0,96	1,04	
		1,90	259,83	908,82	3300,55	0,28	0,59	0,76	1,04	
		2,40	414,58	908,82	5266,25	0,17	0,46	0,65	1,04	
		2,90	605,32	908,82	7689,09	0,12	0,37	0,58	1,05	
		3,40	832,04	908,82	10569,08	0,09	0,31	0,52	1,06	
		3,90	1094,76	908,82	13906,20	0,07	0,27	0,48	1,06	
		4,40	1393,46	908,82	17700,46	0,05	0,24	0,45	1,07	

Fonte: Autor (2023).