



Universidade Federal
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA**

KAROLINA CARVALHO KHATER PEREIRA

PAULA TAÍS REZENDE SANTOS

Análise dos estados limites dominantes de viga em perfil U enrijecido com mesa superior inclinada em 30° aplicado em um telhado de galpão industrial

Ouro Branco – MG

Junho de 2023



Universidade Federal
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA**

KAROLINA CARVALHO KHATER PEREIRA

PAULA TAÍS REZENDE SANTOS

Análise dos estados limites dominantes de viga em perfil U enrijecido com mesa superior inclinada em 30° aplicado em um telhado de galpão industrial

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João Del-Rei, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Lucas Roquete

Ouro Branco – MG

Junho de 2023

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P436a

Pereira, Karolina Carvalho Khater.

Análise dos estados limites dominantes de viga em perfil U enrijecido com mesa superior inclinada em 30° aplicado em um telhado de galpão industrial./ Karolina Carvalho Khater Pereira; Paula Taís Rezende Santos; orientador Lucas Roquete. -- Ouro Branco, MG, 2023. 30 p. il.

Trabalho de Conclusão (Graduação - Engenharia Civil) - Universidade Federal de São João del-Rei, 2023.

1. Perfil formado a frio 2. Modo de instabilidade 3. Método da seção efetiva 4. Método da resistência direta 5. Resistências de cálculo I. Santos, Paula Taís Rezende. II. Roquete, Lucas, orient. III. Título.



Universidade Federal
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAPEBA**

Karolina Carvalho Khater Pereira

Paula Taís Rezende Santos

Análise dos estados limites dominantes de viga em perfil U enrijecido com mesa superior inclinada em 30° aplicado em um telhado de galpão industrial

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João Del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____ / ____ / _____

Prof. Dr. Lucas Roquete Amparo
(Orientador)

Prof. Me. Anderson Ravik dos Santos - UFSJ
(Banca Examinadora)

Eng. Me. Matheus Miranda de Oliveira - UFOP
(Banca Examinadora)



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho só foi possível em virtude dessas pessoas e entidades. Dessa forma, gostaríamos de dedicar nosso muito obrigado a:

Deus, que em sua magnitude nos fez reencontrar depois de anos e anos, fazendo com que nosso caminho fosse grandiosamente protegido a fim de que pudéssemos cursar esses anos de universidade juntas.

Nossos pais e irmãs, que idealizaram conosco esse sonho e hoje podemos realizá-lo nos tornando Engenheiras Civis.

Nossos familiares, parceiros e amigos que nos apoiaram e tiveram paciência, força e sabedoria para nos ajudar nessa caminhada.

Nosso professor orientador Lucas Roquete, que em sua paciência, disponibilidade e alegria, dividiu conosco todo conhecimento necessário para realizarmos esse trabalho. UFSJ e todo corpo docente, pela excelência técnica que nos proporcionou muito aprendizado durante esses anos de curso.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do perfil Ue com a mesa superior inclinada em 30°	8
Figura 2 - Vista longitudinal da estrutura industrial	11
Figura 3 - Vista transversal da estrutura industrial	11
Figura 4 - Galpão industrial em estrutura metálica	12
Figura 5 - Detalhe perfil U utilizado no software	12
Figura 6 - Gráfico comprimento x perfil	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características perfil U <i>Robot</i>	13
Tabela 2 - Momentos fletores solicitantes nas vigas biapoiadas	14
Tabela 3 - Perfis analisados	14
Tabela 4 - Esforços resistentes MSE x MRD	15
Tabela 5 - Esforços resistentes MSE x MRD e modo de instabilidade	18
Tabela 6 - Comparação de modos de instabilidade	19

LISTA DE SIGLAS

PFF	Perfil Formado a Frio;
MSE	Método da seção efetiva;
MRD	Método da resistência direta;
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
NBR	Norma Brasileira;
b_f	Largura nominal da mesa;
b_w	Largura nominal da alma;
t	Espessura do elemento;
N_c, R_d	Força axial de compressão resistente de cálculo;
N_c, S_d	Força axial de compressão solicitante de cálculo;
MR_d	Momento fletor resistente de cálculo;
MS_d	Momento fletor solicitante de cálculo;
k_l	Coefficiente de flambagem local.



Universidade Federal
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. METODOLOGIA	9
3. DESENVOLVIMENTO	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
5. CONCLUSÃO	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
APÊNDICE A	25
APÊNDICE B.....	30



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

Análise dos estados limites dominantes de viga em perfil U enrijecido com mesa superior inclinada em 30° aplicado em um telhado de galpão industrial

Pereira, K. C. K.; Santos, P. T. R.; Roquete, L.

Universidade Federal de São João del Rei – UFSJ, Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil - DTECH, Ouro Branco – Minas Gerais – Brasil.

RESUMO

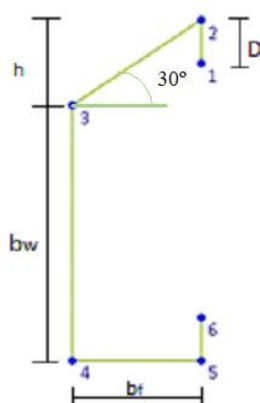
O presente trabalho faz o estudo de uma viga metálica de Perfil U enrijecido, com a mesa superior inclinada em 30° não normatizado, aplicado a uma estrutura industrial. Nos trabalhos já realizados, o perfil não normatizado também foi analisado em diferentes espessuras e mostrou-se aplicável na prática, porém a instabilidade predominante foi a flambagem global. Sendo assim, foi avaliada a predominância de flambagem local, por meio da variação de comprimentos e espessura do perfil, para possibilitar a aplicação do Método da Seção Efetiva, em que se pode determinar os valores de resistência do perfil de maneira rápida e prática. Para isso, foram analisadas vigas com 8 comprimentos diferentes, menores que o comprimento de 3,00m utilizado anteriormente e 7 espessuras de perfil. Para a análise dos esforços, fixou-se a carga axial no valor encontrado na análise da estrutura industrial e calculou-se os momentos solicitantes utilizando o *software Ftool*. Em seguida, fazendo uso dos métodos de cálculo da resistência direta (MRD) e da seção efetiva (MSE), utilizando-se os valores de coeficiente de Flambagem local (k_1) obtidos a partir de equações propostas em trabalhos anteriores e as propriedades geométricas obtidas pelo *software GBTUL 2.06* foram calculados os momentos resistentes e as resistências à força axial de compressão. Com os resultados obtidos, e a partir da análise dos fatores de redução do momento (χ) e dos coeficientes de esbeltez (λ), foi possível identificar a instabilidade predominante em cada comprimento e espessura de perfil. Foi desenvolvida uma comparação, envolvendo as variações de tamanho e espessura e os resultados apresentaram que foi possível dimensionar a viga também a partir do método da seção efetiva, desde que os carregamentos sejam menores.

Palavras-chave: Estruturas Metálicas, Modos de falha, Método da Seção Efetiva, Flambagem Local, Perfil Ue.

1. INTRODUÇÃO

A ampla utilização de perfis metálicos na construção civil e a possibilidade de fabricação em variadas seções transversais, motivou o estudo realizado em Roquete *et al.* (2021) em que foi analisada uma tipologia de PFF (Perfil Formado a Frio) em U_e (U Enrijecido) com a mesa superior inclinada em 30°, não padronizada por norma, para aplicação em telhados e coberturas (Figura 1).

Figura 1 - Representação do perfil Ue com a mesa superior inclinada em 30°



Os estados limites podem ser analisados como estados limites últimos (ELU) ou estados limites de serviço (ELS). Conforme a NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações –, os estados limites últimos estão relacionados à segurança da estrutura quando aplicadas às combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a vida útil da estrutura, durante a construção ou quando uma ação excepcional atuar. Já os estados limites de serviço estão relacionados com o desempenho da estrutura quando submetida a condições normais de utilização.

Anteriormente, foram estudadas dimensões diferentes para seção transversal e comprovou-se a viabilidade de uso do perfil na prática. Entretanto, a instabilidade dominante em todos os perfis foi a flambagem global e, dessa forma, um dimensionamento a partir dos resultados obtidos pelo Método da Seção Efetiva com o coeficiente de flambagem local (k_1) proposto não seria eficiente. Não alcançando, assim, o objetivo principal em relação ao uso do método.

O Método da Seção Efetiva proporciona o cálculo da carga axial de compressão de flambagem local, bem como o cálculo do momento fletor que acarreta flambagem local

de um perfil de aço, por intermédio das propriedades geométricas efetivas da seção transversal e, portanto, de maneira rápida e prática, conforme descreve a NBR14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo, buscar a predominância de flambagem local como modo de instabilidade nas vigas em uso prático. Avaliando a aplicação da formulação proposta e o efeito da flambagem local no dimensionamento da viga.

2. METODOLOGIA

A etapa inicial para a execução desse material, foi o estudo bibliográfico de artigos anteriores que trataram da temática proposta. Essa etapa foi fundamental no que se refere à compreensão do intuito do perfil, das deduções necessárias para a adoção da metodologia de cálculo, da estrutura real em que foi aplicado, bem como problemas que foram encontrados e que se busca solucionar com o desdobramento deste trabalho.

Após o entendimento de todo o projeto, utilizou-se o *software Robot* (2022), para análise do telhado da estrutura industrial desenvolvida por Júnior, Resende e Roquete (2022), na qual seria aplicado o PFF Ue com mesa inclinada em 30°, estudado anteriormente em Roquete *et al.* (2021). Com a utilização do *software*, pôde-se obter os esforços solicitantes de momento e carga axial.

Para este estudo, a variação dos comprimentos destravados das vigas foi definida como um parâmetro para tentativa de isolar a instabilidade associada à flambagem local. Assim, com o resultado da carga distribuída sobre a viga, *software Robot*, foi necessário o uso do *software Ftool* (2023) para obtenção dos momentos solicitantes resultantes, equivalentes a cada comprimento de viga a ser analisada. Também foi encontrada a carga axial solicitante, a qual será mantida para todos os comprimentos.

As características geométricas, referentes a cada dimensão de seção transversal, foram desenvolvidas por intermédio do *software* GBTUL 2.06 (BEBIANO *et al.*, 2010). Com base nesses dados, avançou-se para o cálculo das resistências a partir do Método da Resistência Direta e do Método da Seção Efetiva, conforme apresenta a ABNT NBR 16239:2013 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares.

O Método da Resistência Direta, utiliza as propriedades da seção bruta do perfil para, por intermédio de análises numéricas ou analíticas, determinar as cargas críticas de flambagem local, distorcional ou global (NBR14762:2010). Os dados necessários para se calcular os esforços resistentes por esse método, foram obtidos também por meio do *software* GBTUL 2.06 (BEBIANO *et al.*, 2010) e com referência nos estudos do artigo Roquete *et al.* (2021).

O Método da Seção Efetiva, permite determinar os esforços resistentes de maneira mais prática. Por meio desse método é possível adquirir os valores da carga axial de compressão e do momento fletor que provocam flambagem local de um perfil de aço, utilizando as propriedades geométricas efetivas da seção transversal da barra. Sendo assim, para atingir o objetivo do trabalho buscou-se a combinação entre as características geométricas para a seção transversal, o comprimento das vigas e a carga solicitante, que permitissem a predominância de flambagem local em uma viga com esse perfil.

Após o desenvolvimento dos cálculos da capacidade resistente aos esforços de flexão e compressão, pôde-se constatar se o perfil seria aplicável com base em suas respectivas dimensões de comprimento e seção transversal. Durante essa etapa foi possível analisar os modos de instabilidade de cada um dos modelos e fazer uma comparação e avaliação desses dados.

3. DESENVOLVIMENTO

Diante do proposto, em Roquete *et al.* (2021) e Júnior e Resende (2022) realizou-se uma aplicação do perfil como terça do telhado de um galpão industrial com dimensões reais conforme é apresentado nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Vista longitudinal da estrutura industrial

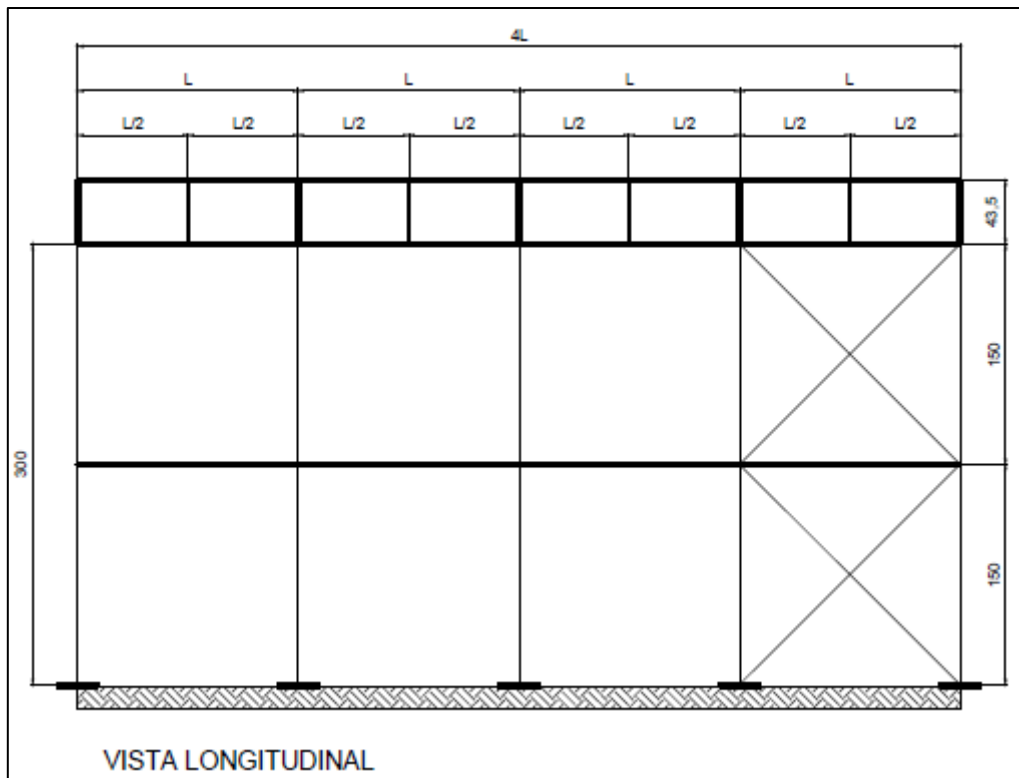
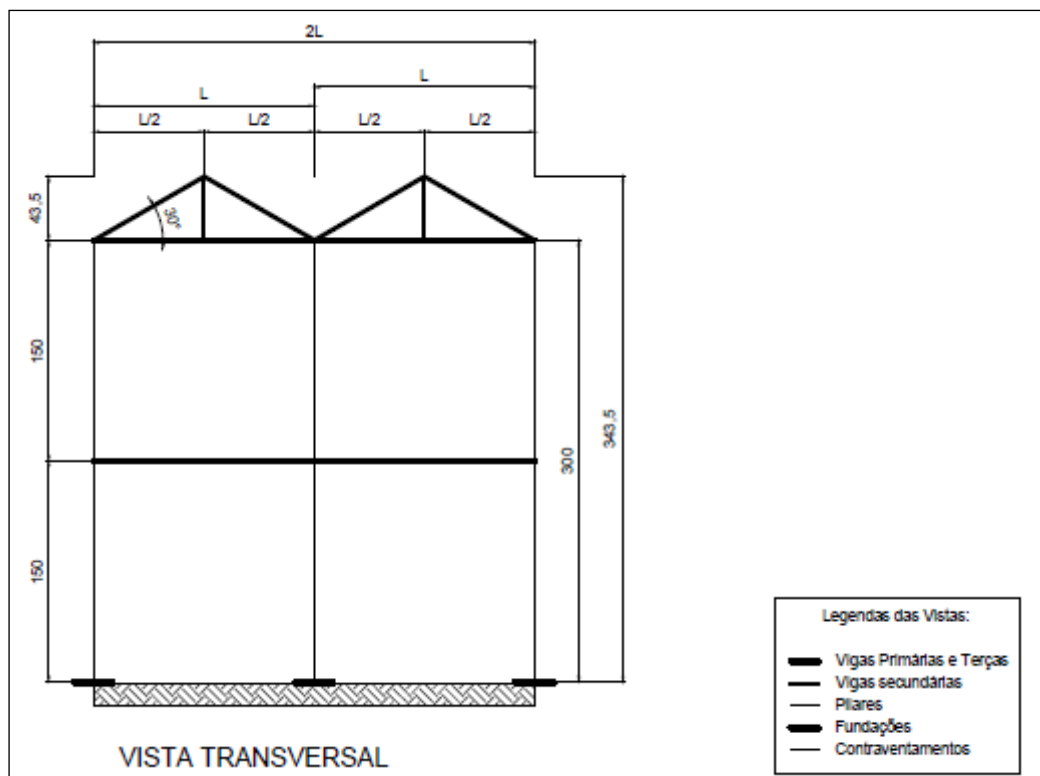


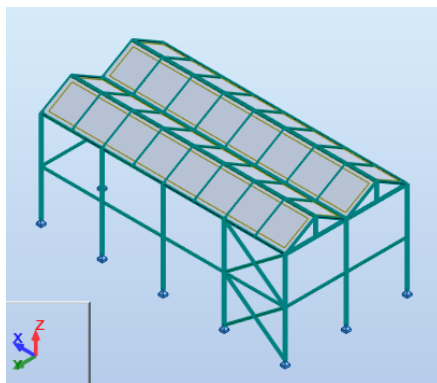
Figura 3 - Vista transversal da estrutura industrial



Para o desenvolvimento deste trabalho, adotou-se como base o perfil proposto por Roquete *et al.* (2021), utilizado para suportar a cobertura de um telhado de estrutura em aço e carga estrutural de $0,75\text{kN/m}^2$ aplicado a laje, com medida do vão livre entre as

terças de 3,00m x 3,46m (área igual a 10,38m²), conforme apresenta a Figura 4. Iniciando-se o dimensionamento mediante os resultados obtidos pelo software *Robot*.

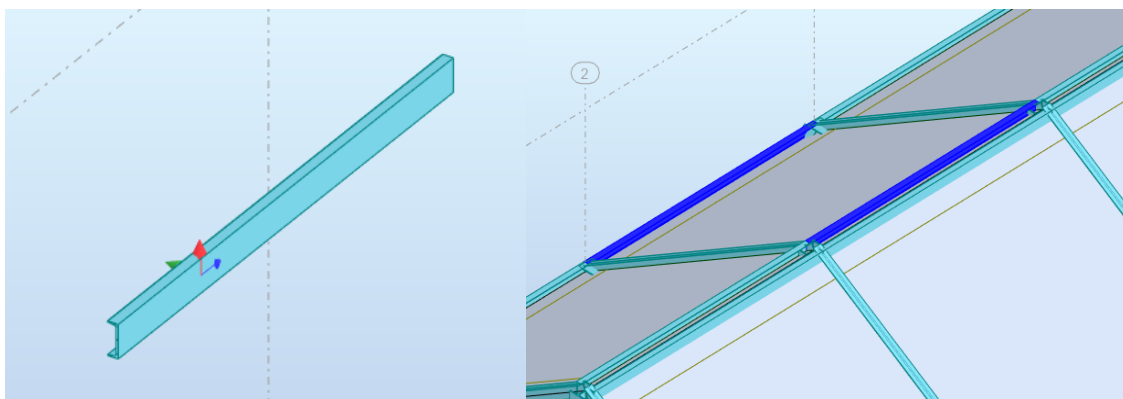
Figura 4 - Galpão industrial em estrutura metálica



Fonte: Júnior, Resende e Roquete (2022).

A estrutura projetada no *software Robot* (um perfil U laminado a quente) para resistir aos esforços solicitantes está apresentada na Figura 5. Porém, como explica Júnior, Resende e Roquete (2022), o perfil estudado não é normatizado, sendo que a mesa superior inclinada não é um elemento que se possa alterar no *software Robot*. Assim, para um pré-dimensionamento utilizou o mesmo princípio adotado por Júnior, Resende e Roquete (2022), aplicar um perfil U padrão do *software* e obter as solicitações. Na Figura 5 é apresentado o perfil aplicado na viga de cobertura.

Figura 5 - Detalhe perfil U utilizado no software



Fonte: *Robot* (2023).

É demonstrado na Tabela 1 as características geométricas, força axial e momento fletor do perfil com a melhor solução, apresentado pelo *software Robot*.

Tabela 1 - Características perfil U Robot

Perfil	bw[mm]	bf[mm]	tw[mm]	tf[mm]	D[mm]	Iy[mm ⁴]	A[mm ²]	Wc[mm ³]
U	203	64	1,2	1	0	18272600	3555	16430
Axial de compressão			68,36 kN					
Momento Fletor em Y			3,91 kN.m					

Fonte: Júnior, Resende e Roquete (2022)

Com base nos dados iniciais adotados e com NBR14762:2010, calculou-se a carga aplicada para a viga de 3,00m de comprimento destravado apresentada no projeto inicial, conforme a Equação 1.

$$P = \frac{(q.A)}{2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

P é a carga distribuída na viga (em kN/m);

q é a carga distribuída na laje (igual a 0,75kN/m²);

A é a área da laje (igual a 10,38m²).

Dessa forma, encontra-se que P é igual a 3,89kN/m.

De posse desse dado, foram calculados os momentos fletores solicitantes de cada comprimento destravado proposto para a viga biapoiada em estudo por intermédio da Equação 2 e dos comprimentos destravados adotados para análise de: 2,80m; 2,40m; 2,00m; 1,80m; 1,60m; 1,50m; 1,30m e 1,00m.

$$M = \frac{(q.l^2)}{8} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

M é o momento fletor solicitante da viga (em kN.m);

q é a carga distribuída na viga (em kN/m²);

l é o comprimento destravado da viga (em metro).

Com os comprimentos definidos, o próximo passo realizado foi a utilização do software *Ftool* para cálculo dos momentos fletores solicitantes para os comprimentos destravados definidos. Com isso, encontrou-se os seguintes resultados discriminados na Tabela 2:

Tabela 2 - Momentos fletores solicitantes nas vigas biapoiadas

Comprimento (m)	Momento Fletor (kN.m)
2,80	3,81
2,40	2,80
2,00	1,95
1,80	1,58
1,60	1,25
1,50	1,09
1,30	0,82
1,00	0,49

Obtidos os parâmetros iniciais definidos na Tabela 2, para realização das comparações e avaliações dos esforços, foram definidos sete perfis Ue formados a frio com mesa inclinada em 30° calculados por meio do software GBTUL 2.06, com variações geométricas, conforme apresenta a Tabela 3.

Tabela 3 - Perfis analisados

Perfil	D[mm]	bw[mm]	bf[mm]	tw[mm]	tf[mm]	Iy[mm ⁴]	A[mm ²]	Wc[mm ³]
1	15	75	40	2,65	2,65	677529,6	506,6	15642,31
2	17	100	35	2,25	2,25	767050,1	471,19	16751,67
3	17	100	40	2	2	910793,3	440,38	16377,58
4	15	75	40	3	3	767050,1	573,6	17709,09
5	17	100	40	2,25	2,25	1024512	495,42	18423,46
6	17	100	40	3	3	1366088	660,56	24565,91
7	17	100	50	1,2	1,2	667566,9	290,1	11695,67

Para o dimensionamento, realizou-se as verificações conforme as prescrições da ABNT NBR 14762:2010 pelo MSE e MRD, comparando as resistências dos perfis com suas cargas solicitantes, utilizando a formulação do coeficiente de flambagem local (k_l) proposto por Roquete *et al.* (2021), onde na situação de o perfil proposto não atender algum dos métodos de cálculo, ele será reprovado iniciando-se às verificações no perfil seguinte utilizando-se os mesmos parâmetros de cálculo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por intermédio do programa *Excel* foram obtidos os resultados dos esforços resistentes para os métodos de cálculo MRD e MSE, perfil e comprimentos destravados analisados. Os resultados de $N_{c,Rd}$ e M_{Rd} encontrados para cada método e a relação entre eles está resumido na Tabela 4.

Tabela 4 - Esforços resistentes MSE x MRD (continua)

PERFIL	Comprimento 2,80m					
	Método da Seção Efetiva		Método da Resistência Direta		$N_{c,Rd} - MSE / N_{c,Rd} - MRD$	$M_{Rd} - MSE / M_{Rd} - MRD$
	$N_{c,Rd}$ (kN)	M_{Rd} (kN.m)	$N_{c,Rd}$ (kN)	M_{Rd} (kN.m)		
1	77,361	2,974	84,394	2,974	0,917	1,00
2	79,33	3,306	86,542	3,306	0,917	1,00
3	75,044	3,359	81,866	3,359	0,917	1,00
4	87,575	3,368	95,536	3,368	0,917	1,00
5	84,425	3,779	92,1	3,779	0,917	1,00
6	105,272	4,653	114,843	4,653	0,917	1,00
7	37,443	2,22	40,939	2,448	0,915	0,91
PERFIL	Comprimento 2,40m					
	Método da Seção Efetiva		Método da Resistência Direta		$N_{c,Rd} - MSE / N_{c,Rd} - MRD$	$M_{Rd} - MSE / M_{Rd} - MRD$
	$N_{c,Rd}$ (kN)	M_{Rd} (kN.m)	$N_{c,Rd}$ (kN)	M_{Rd} (kN.m)		
1	84,008	3,232	91,646	3,232	0,917	1,00
2	83,942	3,55	91,574	3,55	0,917	1,00
3	79,153	3,564	86,349	3,564	0,917	1,00
4	95,101	3,659	103,747	3,659	0,917	1,00
5	89,048	4,01	97,143	4,01	0,917	1,00
6	113,028	5,063	123,303	5,063	0,917	1,00
7	38,642	2,391	42,25	2,527	0,915	0,95
PERFIL	Comprimento 2,00m					
	Método da Seção Efetiva		Método da Resistência Direta		$N_{c,Rd} - MSE / N_{c,Rd} - MRD$	$M_{Rd} - MSE / M_{Rd} - MRD$

Tabela 4 - Esforços resistentes MSE x MRD (continua)

PERFIL	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)		
1	90,078	3,45	98,266	3,45	0,917	1,00
2	88,054	3,757	96,059	3,757	0,917	1,00
3	82,806	3,722	90,334	3,722	0,917	1,00
4	101,973	3,906	111,243	3,906	0,917	1,00
5	93,157	4,187	101,626	4,187	0,917	1,00
6	120,034	5,409	130,946	5,409	0,917	1,00
7	39,684	2,312	43,391	2,551	0,915	0,91
Comprimento 1,80m						
PERFIL	Método da Seção Efetiva		Método da Resistência Direta		Nc,Rd - MSE / Nc,Rd - MRD	MRd - MSE / MRd - MRD
	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)		
1	92,832	3,545	101,271	3,545	0,917	1,00
2	89,891	3,807	98,063	3,807	0,917	1,00
3	84,435	3,722	92,111	3,722	0,917	1,00
4	105,092	4,013	114,646	4,013	0,917	1,00
5	94,99	4,187	103,625	4,187	0,917	1,00
6	123,193	5,559	134,392	5,559	0,917	1,00
7	40,143	2,312	43,892	2,551	0,915	0,91
Comprimento 1,60m						
PERFIL	Método da Seção Efetiva		Método da Resistência Direta		Nc,Rd - MSE / Nc,Rd - MRD	MRd - MSE / MRd - MRD
	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)		
1	95,368	3,555	104,038	3,555	0,917	1,00
2	91,567	3,807	99,891	3,807	0,917	1,00
3	85,919	3,722	93,73	3,722	0,917	1,00
4	107,963	4,025	117,778	4,025	0,917	1,00
5	96,66	4,187	105,447	4,187	0,917	1,00
6	126,089	5,583	137,552	5,583	0,917	1,00
7	40,557	2,312	44,345	2,551	0,915	0,91

Tabela 4 - Esforços resistentes MSE x MRD (continua)

PERFIL	Comprimento 1,50m					
	Método da Seção Efetiva		Método da Resistência Direta		Nc,Rd - MSE / Nc,Rd - MRD	MRd - MSE / MRd - MRD
	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)		
1	96,547	3,555	105,324	3,555	0,917	1,00
2	92,342	3,807	100,736	3,807	0,917	1,00
3	86,605	3,722	94,478	3,722	0,917	1,00
4	109,298	4,025	119,234	4,025	0,917	1,00
5	97,431	4,187	106,288	4,187	0,917	1,00
6	127,432	5,583	139,017	5,583	0,917	1,00
7	40,747	2,312	44,553	2,551	0,915	0,91
PERFIL	Comprimento 1,30m					
	Método da Seção Efetiva		Método da Resistência Direta		Nc,Rd - MSE / Nc,Rd - MRD	MRd - MSE / MRd - MRD
	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)		
1	98,714	3,555	107,688	3,555	0,917	1,00
2	93,757	3,807	102,281	3,807	0,917	1,00
3	87,788	3,722	95,844	3,722	0,916	1,00
4	111,751	4,025	121,91	4,025	0,917	1,00
5	98,839	4,187	107,825	4,187	0,917	1,00
6	129,894	5,583	141,703	5,583	0,917	1,00
7	41,093	2,312	44,931	2,551	0,915	0,91
PERFIL	Comprimento 1,00m					
	Método da Seção Efetiva		Método da Resistência Direta		Nc,Rd - MSE / Nc,Rd - MRD	MRd - MSE / MRd - MRD
	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)		
1	101,451	3,555	110,673	3,555	0,917	1,00
2	95,531	3,807	104,216	3,807	0,917	1,00
3	88,865	3,722	97,058	3,722	0,916	1,00
4	114,85	4,025	125,291	4,025	0,917	1,00

Tabela 4 - Esforços resistentes MSE x MRD (conclusão)

5	100,603	4,187	109,748	4,187	0,917	1,00
6	132,993	5,583	145,084	5,583	0,917	1,00
7	41,523	2,312	45,401	2,551	0,915	0,91

Comparando os valores de resistência à compressão axial obtidos pelo MRD e os valores obtidos pelo MSE observou-se que a relação de MSE / MRD conforme apresentado na Tabela 4, teve média entre elas de 0,917, valor muito próximo de 1,00. Indicando uma boa relação entre os resultados obtidos.

Já a relação de resistência ao momento fletor para os métodos MSE e MRD, os valores apresentados foram iguais, dessa forma, média obtida é igual a 1,00. Essa igualdade se dá em virtude do dimensionamento, em ambos os métodos, serem realizados em função da predominância de flambagem global. Somente o perfil 7 não apresenta relação de MSE / MRD igual a 1,00. Sendo a média desse perfil igual a 0,915. Porém, ainda assim o perfil apresenta boa relação entre os dois métodos de cálculo.

Mesmo com as reduções de comprimentos destravados para os sete perfis inicialmente propostos não foi possível isolar a flambagem local. Esse isolamento de modo de instabilidade só foi de fato observado quando proposto fixar as dimensões do perfil 7 e comprimento o destravado da viga em 2,80m, realizando iterações somente nos esforços solicitantes.

Dessa forma, foram aplicados esforços solicitantes de compressão e momento fletor inferiores aos analisados anteriormente, até que fosse possível alcançar a aceitabilidade do perfil e a instabilidade predominante de flambagem local, conforme resultado apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Esforços resistentes MSE x MRD e modo de instabilidade (continua)

PERFIL	Comprimento 2,80m					MRd - MSE / MRd - MRD
	Método da Seção Efetiva		Método da Resistência Direta		Nc,Rd - MSE / Nc,Rd - MRD	
	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	MRd (kN.m)		

Tabela 5 - Esforços resistentes MSE x MRD e modo de instabilidade (conclusão)

7	37,44	2,22	40,94	2,45	0,915	0,906
	Aceito	Aceito	Aceito	Aceito	Flambagem Local	

Os modos de instabilidade dominantes apresentados para os sete perfis propostos inicialmente, nos variados comprimentos propostos, bem como a aceitabilidade ou não desses, foram determinados em função da relação entre esforços solicitantes e resistentes ($N_c, S_d / N_c, R_d$ e $M S_d / M R_d$), conforme apresentado na Tabela 4, e encontram-se resumidos na Tabela 6.

Tabela 6 - Comparação de modos de instabilidade (continua)

PERFIL	Comprimento 2,80m			Comprimento 2,40m		
	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos		Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos	
		$N_c, S_d \leq N_c, R_d$	$M S_d \leq M R_d$		$N_c, S_d \leq N_c, R_d$	$M S_d \leq M R_d$
1	FLT Inel.	Aceito	Não aceito	FLT Inel.	Aceito	Aceito
2	FLT Inel.	Aceito	Não aceito	FLT Inel.	Aceito	Aceito
3	FLT Inel.	Aceito	Não aceito	FLT Inel.	Aceito	Aceito
4	FLT Inel.	Aceito	Não aceito	FLT Inel.	Aceito	Aceito
5	FLT Inel.	Aceito	Não aceito	FLT Inel.	Aceito	Aceito
6	FLT Inel.	Aceito	Aceito	FLT Inel.	Aceito	Aceito
7	Fl. Local	Não aceito	Não aceito	Fl. Local	Não aceito	Não aceito
PERFIL	Comprimento 2,00m			Comprimento 1,80m		
	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos		Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos	
		$N_c, S_d \leq N_c, R_d$	$M S_d \leq M R_d$		$N_c, S_d \leq N_c, R_d$	$M S_d \leq M R_d$
1	FLT Inel.	Aceito	Aceito	FLT Inel.	Aceito	Aceito
2	FLT Inel.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito
3	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito
4	FLT Inel.	Aceito	Aceito	FLT Inel.	Aceito	Aceito
5	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito
6	FLT Inel.	Aceito	Aceito	FLT Inel.	Aceito	Aceito
7	Plastif.	Não aceito	Aceito	Plastif.	Não aceito	Aceito
PERFIL	Comprimento 1,60m			Comprimento 1,50m		

Tabela 6 - Comparação de modos de instabilidade (conclusão)

PERFIL	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos		Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos		
		Nc,Sd <=	MSd <=		Nc,Sd <=	MSd <=	
		Nc,Rd	MRd		Nc,Rd	MRd	
1	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
2	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
3	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
4	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
5	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
6	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
7	Plastif.	Não aceito	Aceito	Plastif.	Não aceito	Aceito	
		Comprimento 1,30m				Comprimento 1,00m	
PERFIL	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos		Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos		
		Nc,Sd <=	MSd <=		Nc,Sd <=	MSd <=	
		Nc,Rd	MRd		Nc,Rd	MRd	
1	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
2	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
3	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
4	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
5	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
6	Plastif.	Aceito	Aceito	Plastif.	Aceito	Aceito	
7	Plastif.	Não aceito	Aceito	Plastif.	Não aceito	Aceito	

Onde as abreviações são determinadas por:

FLT Inel. → Flambagem Lateral por Torção Inelástica;

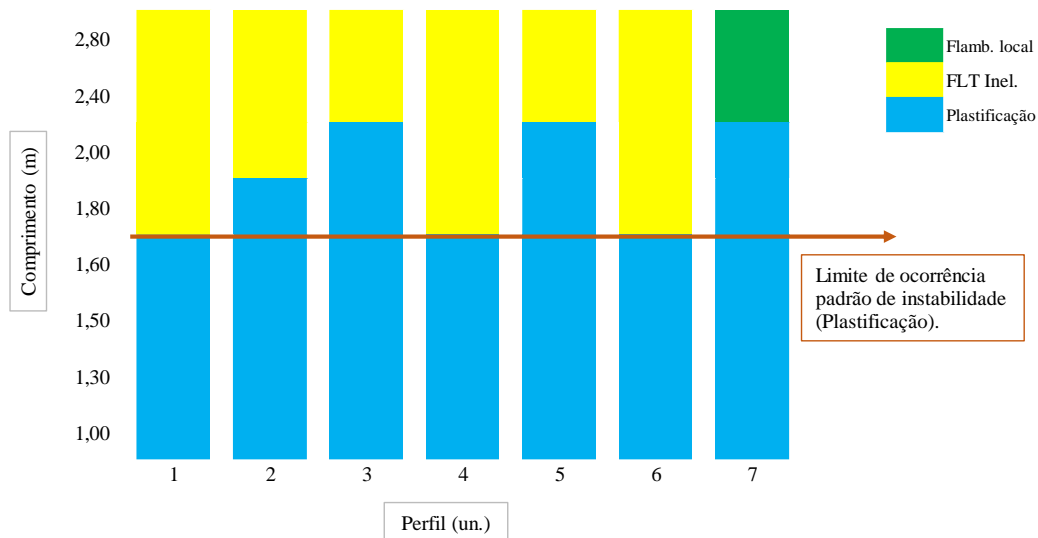
Fl. Local → Flambagem Local (seja ela da Alma ou da Mesa);

Plastif. → Plastificação total da seção transversal.

Os modos de falha dominantes dos perfis 1, 4 e 6 seguiram um padrão onde, na mudança de comprimento destravado de 1,60m para 1,80m, esses deixaram de apresentar Plastificação da Seção Transversal e passaram a apresentar FLT Inelástica. Já os perfis 2, 3 e 5 apresentaram Plastificação da Seção Transversal até os comprimentos de 1,80m, 2,00m e 2,00m quando passaram, então, a apresentar FLT Inelástica. O perfil 7 foi o único, dentro dos comprimentos destravados propostos, a não apresentar FLT Inelástica.

Sendo assim, ele apresentou Plastificação da Seção Transversal até o comprimento de 2,00m e para 2,40m e 2,80 passou a apresentar Flambagem Local. Conforme apresenta o gráfico da Figura 6.

Figura 6 - Gráfico comprimento x perfil



Onde:

Flamb. local → Flambagem local;

FLT Inel. → FLT Inelástica;

Plastificação → Plastificação da Seção Transversal.

Dessa forma, observou-se que para a viga de comprimento 2,8m submetida as solicitações mencionadas, os perfis de 1 a 5 analisados apresentaram FLT inelástica como modo dominante, conforme apresenta a Figura 6, e resultados satisfatórios para os esforços normais tendo somente limitações quanto a resistência aos esforços de momento fletor, não sendo, com isso, aceitos para aplicação. Para esse comprimento, somente o perfil 6 pode ser usado. Apresentando como modo de falha dominante a FLT Inelástica e aplicabilidade tanto para os esforços normais quanto para o momento fletor. Isso se torna verdade, pois a seção transversal do perfil 6 é mais robusta que as demais.

Já o perfil 7 com comprimento de 2,80m apresentou resistências de 37,44kN (NcRd) e 2,22kN.m (MRd) para o MSE e 40,94kN (NcRd) e 2,45kN.m (MRd) para o MRD. E com comprimento de 2,40m apresentou resistências de 38,64kN (NcRd) e 2,39kN.m (MRd) para o MSE e 42,25kN (NcRd) e 2,53kN.m (MRd) para o MRD, dessa forma, a instabilidade dominante apresentada nesses dois comprimentos foi de flambagem local

conforme apresenta a Tabela 5. Porém esse perfil não foi aceito em nenhuma das condições, evidenciando a esbeltez da seção transversal. E, portanto, não apresenta resistências suficientes aos esforços nela aplicados.

Para o comprimento da viga de 2,40m, os perfis 1 a 6 ainda apresentam flambagem lateral por torção (FLT Inelástica) e passaram a ser aceitos tanto para os esforços axiais como para os de momento fletor. Nesse comprimento destravado, somente o perfil 7 apresenta flambagem local, e conforme é apresentado nas Tabelas 4 e 6 ainda continua sendo recusado para uso nas condições avaliadas. Entretanto, como discutido, quando proposto esforços solicitantes inferiores aos iniciais, ele torna-se aceito, aplicável pra uso e apresenta flambagem local como instabilidade dominante, conforme indica a Tabela 5.

A partir do comprimento de 2,00m os perfis de menor espessura começaram a apresentar plastificação. Para esse comprimento ainda, o perfil de menor espessura proposto (Perfil 7) apresentou resistência ao momento fletor, porém não apresentou resistência axial desejada em nenhum dos comprimentos calculados. Evidenciando que, mesmo com as condições propostas esse perfil não pode ser aplicado ao modelo estudado.

As vigas de comprimentos menores ou iguais a 1,60m apresentaram como modo de falha dominante a plastificação total da seção transversal ilustrando que, a partir desse ponto, elas deixam de ser esbeltas e passam a se caracterizar como compactas, não sendo mais dimensionadas a partir da carga crítica de flambagem, e passam a ser dimensionadas a partir da tensão de escoamento, sem fazer usos das propriedades efetivas.

5. CONCLUSÃO

Diante do objetivo proposto para este trabalho, foram planilhados e executados os cálculos que tinham como base os métodos de cálculo MRD e MSE. As características geométricas e os resultados de esforços resistentes obtidos para cada perfil e comprimento destravados proposto estão apresentados nas tabelas do Apêndice A.

Por meio dos resultados obtidos a partir das simulações de cálculos realizados no PFF Ue de mesa inclinada em 30° não normatizado, foi possível inferir que devido as diferenças geométricas, características de cada perfil e comprimento destravado estudados, os modos

de falha observados variaram entre FLT Inelástica, Flambagem Local e Plastificação Total da Seção Transversal.

Foi possível observar ainda, que os perfis se tornaram mais resistentes à medida que os comprimentos adotados para a viga se tornavam menores. De forma que a partir do comprimento de 1,60m todos eles apresentaram plastificação total da seção transversal.

Além disso, as vigas de comprimento menores ou iguais a 2,40m foram consideradas resistentes aos esforços solicitantes nos dois métodos de cálculo analisados, de maneira que, somente o perfil mais esbelto (perfil 7 com 1,2mm de espessura) não foi considerado resistente a esses esforços para nenhuma das condições propostas inicialmente no estudo de resistência axial, resistindo somente ao momento fletor, conforme é apresentado na Tabela 4.

Somente quando proposto um perfil com b_f igual a 0,05m; b_w igual a 0,1m; t igual a 0,0012m, N_c, S_d igual a 37,44kN e M, S_d igual a 2,2kN.m, conforme detalhado no Apêndice B (Perfil 7 - proposto com novo carregamento), é que se tornou possível isolar o modo de falha de flambagem local, de maneira que o perfil suportasse as solicitações submetidas, atendendo, assim, o objetivo principal deste trabalho.

Com isso, conclui-se que para o dimensionamento da viga considerando a flambagem local é preciso utilizar perfis de seção transversal esbeltas e de comprimentos destravados próximo aos 3,00m inicialmente analisado, pois à medida que os comprimentos diminuía a viga se tornava mais compacta atingindo a tensão de escoamento antes de apresentar qualquer tipo de flambagem. Além disso, é preciso que o carregamento nela aplicado seja menor do que o utilizado inicialmente para que as tensões resistentes sejam maiores que as solicitantes fazendo com que o perfil atenda o modo de falha proposto por este trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. NBR14762:2010. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação – NBR10520:2002**. Rio de Janeiro. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Informação e documentação — Referências — Elaboração – NBR 6023:2018**. Rio de Janeiro. 2018.

AUTODESK, **AutoCad. Versão 2019**. [S.I.]: Autodesk, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações – NBR 8800:2008**. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares – NBR 16239:2013**. Rio de Janeiro. 2013.

AUTODESK, **AutoCad. Versão 2019**. [S.I.]: Autodesk, 2023.

AUTODESK, **Robot Structural Analysis Professional. Versão 2023**. [S.I.]: Autodesk, 2023.

BEBIANO, R.; SILVESTRE, N.; CAMOTIM, D., 2010. **GBT theoretical background**. Disponível em: <<http://www.civil.ist.utl.pt/gbt/>>. Acesso em: 14 de abril de 2023.

FTOOL. **Programa gráfico-interativo de Engenharia Civil desenvolvido para auxiliar no ensino do comportamento estrutural de pórticos planos**. Acesso em: 15 de abril de 2023.

JÚNIOR, C. F. A DE S.; RESENDE, J. L. O.; ROQUETE, L. **Análise das resistências de viga em perfil U enrijecido com mesa superior inclinada em 30° aplicado em um telhado de galpão industrial**. Ouro Branco, 2022.

ROQUETE, L.; OLIVEIRA, M. M. de; COSTA, F. N. da S.; MARINHO, L. V.; SARMANHO, A. M. C. **Local buckling coefficient for thin-walled lipped channel section with top flange inclined**. *Research, Society and Development*. 2021. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20254>>. Acesso em 02 de março de 2023.

APÊNDICE A

- Características dos perfis utilizados e esforços solicitantes.

Perfil 1

SOLICITANTE (RETIRADO DO ROBOT)		
My,Sd=	3,8146	kN.m
Nc,Sd=	68,36	kN.m
	250000	Kpa
$\sigma=M/W \rightarrow W=M/f_y$		
w=	1,52584E-05	m ³
w=	15258,40	mm ³

DADOS DE ENTRADA		
fy=	250000	kPa
v=	0,3	
Iy=	6,77653E-07	m ⁴
L=	?	m
bw=	0,075	m
bf=	0,04	m
t=	0,00265	m
E=	200000000	kPa
Área seção:	0,000507	m ²
Iz=	1,27539E-07	m ⁴
ry=	-0,021	m
rz=	0,032	m
y0=	0,0152927	m
z0=	0,043317	m

PERFIL PROPOSTO ESCOLHIDO		
Perfil 1 (t=2,65mm) w=	15642,31	mm ³
PROPRIEDADES GEOMETRICAS (GBTUL)		
MI=	41701,26	kN*mm
Mdist=	15738,23	kN*mm
NI=	607,01	kN
Ndist=	504,18	kN

Perfil 2

SOLICITANTE (RETIRADO DO ROBOT)		
My,Sd=	3,8122	kN.m
Nc,Sd=	68,36	kN.m
	250000	Kpa
$\sigma=M/W \rightarrow W=M/f_y$		
w=	1,52488E-05	m ³
w=	15248,80	mm ³

DADOS DE ENTRADA		
fy=	250000	kPa
v=	0,3	
Iy=	9,19331E-07	m ⁴
L=	?	m
bw=	0,1	m
bf=	0,035	m
t=	0,00225	m
E=	200000000	kPa
Área seção:	0,000471	m ²
Iz=	9,42509E-08	m ⁴
ry=	-0,0011	m
rz=	0,04527	m
y0=	0,01198	m
z0=	0,05488	m

PERFIL PROPOSTO ESCOLHIDO		
Perfil 2 (t=2,25mm) w=	16751,67	mm ³
PROPRIEDADES GEOMETRICAS (GBTUL)		
MI=	37630,13	kN*mm
Mdist=	20038,19	kN*mm
NI=	243,970	kN
Ndist=	328,56	kN

Perfil 3

SOLICITANTE (RETIRADO DO ROBOT)		
My,Sd=	3,8122	kN.m
Nc,Sd=	68,36	kN.m
	250000	Kpa
$\sigma=M/W \rightarrow W=M/f_y$		
w=	1,52488E-05	m ³
w=	15248,80	mm ³

DADOS DE ENTRADA		
fy=	250000	kPa
v=	0,3	
ly=	9,10793E-07	m ⁴
L=	?	m
bw=	0,1	m
bf=	0,04	m
t=	0,002	m
E=	200000000	kPa
Área seção:	0,000440	m ²
lz=	1,12677E-07	m ⁴
ry=	-0,020	m
rz=	0,04465	m
y0=	0,014	m
z0=	0,05561	m

PERFIL PROPOSTO ESCOLHIDO		
Perfil 3 (t=2,00mm) w=	16377,58	mm ³
PROPRIEDADES GEOMETRICAS (GBTUL)		
MI=	24082,77	kN*mm
Mdist=	13463,73	kN*mm
NI=	175,38	kN
Ndist=	256,03	kN

Perfil 4

SOLICITANTE (RETIRADO DO ROBOT)		
My,Sd=	3,8122	kN.m
Nc,Sd=	68,36	kN.m
	250000	Kpa
$\sigma=M/W \rightarrow W=M/f_y$		
w=	1,52488E-05	m ³
w=	15248,80	mm ³

DADOS DE ENTRADA		
fy=	250000	kPa
v=	0,3	
ly=	7,6705E-07	m ⁴
L=	?	m
bw=	0,075	m
bf=	0,04	m
t=	0,003	m
E=	200000000	kPa
Área seção:	0,000574	m ²
lz=	1,44443E-07	m ⁴
ry=	-0,021	m
rz=	0,032	m
y0=	0,0152927	m
z0=	0,043317	m

PERFIL PROPOSTO ESCOLHIDO		
Perfil 4 (t=3,0m) w=	17709,1	mm ³
PROPRIEDADES GEOMETRICAS (GBTUL)		
MI=	59498,9	kN*mm
Mdist=	20995,55	kN*mm
NI=	878,74	kN
Ndist=	664,67	kN

Perfil 5

SOLICITANTE (RETIRADO DO ROBOT)		
My,Sd=	3,8122	kN.m
Nc,Sd=	68,36	kN.m
	250000	Kpa
$\sigma=M/W \rightarrow W=M/f_y$		
w=	1,52488E-05	m ³
w=	15248,80	mm ³

DADOS DE ENTRADA		
fy=	250000	kPa
v=	0,3	
Iy=	1,02466E-06	m ⁴
L=	?	m
bw=	0,1	m
bf=	0,04	m
t=	0,00225	m
E=	200000000	kPa
Área seção:	0,000495	m ²
Iz=	1,26791E-07	m ⁴
ry=	-0,020	m
rz=	0,04465	m
y0=	0,014	m
z0=	0,05561	m

PERFIL PROPOSTO ESCOLHIDO		
Perfil 5 (t=2,25mm) w=	18423,46	mm ³
PROPRIEDADES GEOMETRICAS (GBTUL)		
MI=	34157,96	kN*mm
Mdist=	17434,38	kN*mm
NI=	249,37	kN
Ndist=	333,12	kN

Perfil 6

SOLICITANTE (RETIRADO DO ROBOT)		
My,Sd=	3,8122	kN.m
Nc,Sd=	68,36	kN.m
	250000	Kpa
$\sigma=M/W \rightarrow W=M/f_y$		
w=	1,52488E-05	m ³
w=	15248,80	mm ³

DADOS DE ENTRADA		
fy=	250000	kPa
v=	0,3	
Iy=	1,02466E-06	m ⁴
L=	?	m
bw=	0,1	m
bf=	0,04	m
t=	0,003	m
E=	200000000	kPa
Área seção:	0,000661	m ²
Iz=	1,26791E-07	m ⁴
ry=	-0,020	m
rz=	0,04465	m
y0=	0,014	m
z0=	0,05561	m

PERFIL PROPOSTO ESCOLHIDO		
Perfil 6 (t=3,00mm) w=	24565,91	mm ³
PROPRIEDADES GEOMETRICAS (GBTUL)		
MI=	79745,43	kN*mm
Mdist=	31604,96	kN*mm
NI=	588,02	kN
Ndist=	635,3	kN

Perfil 7

SOLICITANTE (RETIRADO DO ROBOT)		
My,Sd=	3,8122	kN.m
Nc,Sd=	68,36	kN.m
	250000	Kpa
$\sigma=M/W \rightarrow W=M/fy$		
w=	1,52488E-05	m ³
w=	15248,80	mm ³
DADOS DE ENTRADA		
fy=	250000	kPa
v=	0,3	
ly=	6,67567E-07	m ⁴
L=	?	m
bw=	0,1	m
bf=	0,05	m
t=	0,0012	m
E=	200000000	kPa
Área seção:	0,000290	m ²
lz=	1,11459E-07	m ⁴
ry=	-0,025	m
rz=	0,043454	m
y0=	0,018174	m
z0=	0,0570781	m
PERFIL PROPOSTO ESCOLHIDO		
Perfil 7 (t=1,2mm) w=	11695,67401	mm ³
PROPRIEDADES GEOMETRICAS (GBTUL)		
MI=	4260,6234	kN*mm
Mdist=	40940,69	kN*mm
NI=	40,68	kN
Ndist=	79,867511	kN

Tabela - Esforços resistentes MSE x MRD e modos de instabilidade

Perfil	Comprimento 2,8m									
	Método da seção efetiva		Método da resistência direta		Nc,Rd - MSE /	MRd - MSE /	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos		
	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc,Rd - MRD	MRd - MRD		Nc,Sd<=Nc,Rd	My,Sd<=My,Rd	
1	77,361	2,974	84,394	2,974	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Não aceito	
2	79,33	3,306	86,542	3,306	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Não aceito	
3	75,044	3,359	81,866	3,359	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Não aceito	
4	87,575	3,368	95,536	3,368	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Não aceito	
5	84,425	3,779	92,1	3,779	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Não aceito	
6	105,272	4,653	114,843	4,653	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito	
7	37,443	2,22	40,939	2,448	0,915	0,91	Flambagem Local	Não aceito	Não aceito	

Perfil	Comprimento 2,4m									
	Método da seção efetiva		Método da resistência direta		Nc,Rd - MSE /	MRd - MSE /	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos		
	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc,Rd - MRD	MRd - MRD		Nc,Sd<=Nc,Rd	My,Sd<=My,Rd	
1	84,008	3,232	91,646	3,232	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito	
2	83,942	3,55	91,574	3,55	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito	
3	79,153	3,564	86,349	3,564	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito	
4	95,101	3,659	103,747	3,659	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito	
5	89,048	4,01	97,143	4,01	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito	
6	113,028	5,063	123,303	5,063	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito	
7	38,642	2,391	42,25	2,527	0,915	0,95	Flambagem Local	Não aceito	Não aceito	

Perfil	Comprimento 2 m								
	Método da seção efetiva		Método da resistência direta		Nc,Rd - MSE /	MRd - MSE /	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos	
	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc,Rd - MRD	MRd - MRD		Nc,Sd<=Nc,Rd	My,Sd<=My,Rd
1	90,078	3,45	98,266	3,45	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito
2	88,054	3,757	96,059	3,757	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito
3	82,806	3,722	90,334	3,722	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
4	101,973	3,906	111,243	3,906	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito
5	93,157	4,187	101,626	4,187	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
6	120,034	5,409	130,946	5,409	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito
7	39,684	2,312	43,391	2,551	0,915	0,91	Plastificação	Não aceito	Aceito

Perfil	Comprimento 1,8 m								
	Método da seção efetiva		Método da resistência direta		Nc,Rd - MSE /	MRd - MSE /	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos	
	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc,Rd - MRD	MRd - MRD		Nc,Sd<=Nc,Rd	My,Sd<=My,Rd
1	92,832	3,545	101,271	3,545	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito
2	89,891	3,807	98,063	3,807	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
3	84,435	3,722	92,111	3,722	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
4	105,092	4,013	114,646	4,013	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito
5	94,99	4,187	103,625	4,187	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
6	123,193	5,559	134,392	5,559	0,917	1,00	FLT Inelástica	Aceito	Aceito
7	40,143	2,312	43,892	2,551	0,915	0,91	Plastificação	Não aceito	Aceito

Perfil	Comprimento 1,6m								
	Método da seção efetiva		Método da resistência direta		Nc,Rd - MSE /	MRd - MSE /	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos	
	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc,Rd - MRD	MRd - MRD		Nc,Sd<=Nc,Rd	My,Sd<=My,Rd
1	95,368	3,555	104,038	3,555	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
2	91,567	3,807	99,891	3,807	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
3	85,919	3,722	93,73	3,722	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
4	107,963	4,025	117,778	4,025	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
5	96,66	4,187	105,447	4,187	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
6	126,089	5,583	137,552	5,583	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
7	40,557	2,312	44,345	2,551	0,915	0,91	Plastificação	Não aceito	Aceito

Perfil	Comprimento 1,5m								
	Método da seção efetiva		Método da resistência direta		Nc,Rd - MSE /	MRd - MSE /	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos	
	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc,Rd - MRD	MRd - MRD		Nc,Sd<=Nc,Rd	My,Sd<=My,Rd
1	96,547	3,555	105,324	3,555	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
2	92,342	3,807	100,736	3,807	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
3	86,605	3,722	94,478	3,722	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
4	109,298	4,025	119,234	4,025	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
5	97,431	4,187	106,288	4,187	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
6	127,432	5,583	139,017	5,583	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
7	40,747	2,312	44,553	2,551	0,915	0,91	Plastificação	Não aceito	Aceito

Perfil	Comprimento 1,3m								
	Método da seção efetiva		Método da resistência direta		Nc,Rd - MSE /	MRd - MSE /	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos	
	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc,Rd - MRD	MRd - MRD		Nc,Sd<=Nc,Rd	My,Sd<=My,Rd
1	98,714	3,555	107,688	3,555	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
2	93,757	3,807	102,281	3,807	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
3	87,788	3,722	95,844	3,722	0,916	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
4	111,751	4,025	121,91	4,025	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
5	98,839	4,187	107,825	4,187	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
6	129,894	5,583	141,703	5,583	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
7	41,093	2,312	44,931	2,551	0,915	0,91	Plastificação	Não aceito	Aceito

Perfil	Comprimento 1,0m								
	Método da seção efetiva		Método da resistência direta		Nc,Rd - MSE /	MRd - MSE /	Modo de instabilidade	Verificação entre os métodos	
	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc, Rd (kN)	Mc, Rd (kN.m)	Nc,Rd - MRD	MRd - MRD		Nc,Sd<=Nc,Rd	My,Sd<=My,Rd
1	101,451	3,555	110,673	3,555	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
2	95,531	3,807	104,216	3,807	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
3	88,865	3,722	97,058	3,722	0,916	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
4	114,85	4,025	125,291	4,025	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
5	100,603	4,187	109,748	4,187	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
6	132,993	5,583	145,084	5,583	0,917	1,00	Plastificação	Aceito	Aceito
7	41,523	2,312	45,401	2,551	0,915	0,91	Plastificação	Não aceito	Aceito

APÊNDICE B

Perfil 7 – Perfil proposto com novo carregamento

CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS - Método da seção efetiva (MSE)			
Cálculo da força axial de compressão resistente de		Cálculo do momento resistente	
Ney=	168,077 kN	Início de escoamento da seção efetiva	
Equação:	$KI = 7,6347 \cdot 5,3696 \eta - 93,839 \eta^2 + 679,08 \eta^3 - 1883,4 \eta^4 + 2396,3 \eta^5 - 1164,5 \eta^6 - \text{onde: } \eta = hf / bw$	Equação:	$KI = -1276,2 + 18509 \eta - 105239 \eta^2 + 311754 \eta^3 - 513225 \eta^4 + 447141 \eta^5 - 161357 \eta^6 - \text{onde: } \eta = hf / bw$
KI=	5,352	KI=	13,190625
Área seção=	0,000290 m ²	MI=	4,016 kN*m
fy=	250000 kPa	Wc=	1,16957E-05 m ³
v=	0,3	λp=	0,853
ly=	6,67567E-07 m ⁴	W=	1,16957E-05 m ³
L=	2,8 m	γ=	1,1
bw=	0,1 m	Wef=	1,01726E-05 m ³
bf=	0,05 m		
t=	0,0012 m		
γ=	1,2		
E=	200000000 kPa		
λ0=	0,66		
x=	0,834765986		
NI=	40,41		
λp=	1,22397118		
Aef=	0,000215 m ²	MRd=	2,312 kN*m
Nc,Rd=	37,443 kN	MRd=	2,220 kN*m

CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS - Método da resistência direta (MRD)			
Cálculo da força axial de compressão resistente de cálculo			
Flambagem Global		Flambagem Local	
A=	0,000290 m ²	NI=	40,68 kN
fy=	250000 kPa	Nc,Re=	60,541 kN
Ney=	168,077 kN	λl=	1,2199
λ0=	0,6569		
Nc,Re=	60,541 kN	Nc,RI=	45,033 kN
Nc,Rd=	55,038 kN	Nc,Rd=	40,939 kN
Nc,Rd=	40,939		kN

CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS - Método da resistência direta (MRD)			
Cálculo do momento resistente			
Flambagem lateral com torção		Flambagem Local	
W=	0,00001170 m ³	MI=	4,261 kN*m
fy=	250000 kPa	Mc,Re=	2,753
Me=	5,362 kN*m	λl=	0,8039
λ0=	0,7385		ocorre local
XFLT=	0,941714497		ocorre distorcional
Mc,Re=	2,753 kN*m	Mc,RI=	2,693 kN*m
Mc,Rd=	2,503 kN*m	Mc,Rd=	2,448 kN*m
Mc,Rd=	2,448		kN*m