

**RODRIGO DORTA FIGUEIREDO
TIAGO GABRIEL EGYDIO**

**ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE PILARES EM AÇO PARA
GALPÕES INDUSTRIAIS**

**SÃO CARLOS
2019**

**RODRIGO DORTA FIGUEIREDO
TIAGO GABRIEL EGYDIO**

**ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE PILARES EM AÇO PARA GALPÕES
INDUSTRIAIS**

**Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
ao Curso de Graduação de Engenharia Civil do
Centro Universitário Central Paulista, como
requisito para a obtenção do título de bacharel
em Engenharia Civil.**

**Orientador: Prof. MSc. Sineval Esteves Pereira
Junior**

SÃO CARLOS

2019

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares que sempre nos apoiaram especialmente durante o período da graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, pela dádiva da vida, e por todas as oportunidades. Aos nossos pais, pelo incentivo em todos os momentos, amor e dedicação. Ao nosso orientador, Professor M.Sc. Sineval Esteves Pereira Junior, pela ajuda na pesquisa e elaboração do trabalho, pelos conhecimentos e pela confiança. Aos professores e colegas do Centro Universitário Central Paulista.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”

Isaac Newton.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VII
RESUMO.....	VIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
3 MATERIAL E MÉTODO	3
4 RESULTADOS.....	4
5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	5
REFERÊNCIAS.....	6

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1.1 - PONTE DE COALBROOKDALE.....	09
FIGURA 1.2 - PONTE MENAI	10
FIGURA 2.1 - PERFIS UTILIZADOS EM PILARES DE ALMA CHEIA	16
FIGURA 2.2 - TIPOLOGIA DE COLUNAS TRELIÇADAS	17
FIGURA 3.1 - VALOR DE X EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE ESBELTEZ λ_0.....	23
FIGURA 3.2 - VALOR DE X EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE ESBELTEZ λ_0.....	24
FIGURA 3.3 - COEFICIENTE DE FLAMBAGEM POR FLEXÃO DE ELEMENTOS ISOLADOS.....	27
FIGURA 3.4 - VALORES DE $(b/f)_{lim}$.....	31

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar as principais soluções estruturais aplicadas em sistemas de pilares para galpões industriais e avaliar a viabilidade técnica destas soluções através da análise teórica do dimensionamento de pilares submetidos a força axial de compressão. Como objetivo específico, pretende-se desenvolver uma rotina de cálculo automatizado para dimensionamento de pilares com seção I e H (perfis laminados), capaz de oferecer ao usuário uma análise comparativa entre os perfis.

O processo de desenvolvimento e execução da pesquisa para o presente trabalho consiste em ampla revisão bibliográfica do estado da arte e da ampliação, conceitos fundamentais de sistemas construtivos em aço, características técnicas dos sistemas estruturais e seus elementos. Esta etapa inicial contempla ainda uma pesquisa sobre informações históricas da aplicabilidade do aço na construção civil, observando a evolução da utilização do material, promovendo o seu conhecimento, de forma a facilitar a compreensão do trabalho. Na segunda etapa são definidas as características geométricas do pilar a ser dimensionado. A partir das prescrições da NBR 8800 (ABNT, 2008), descreveremos os procedimentos de dimensionamento dos pilares utilizando seções em perfis laminados, considerando as seções de perfis I e H. A terceira etapa concentra-se na análise de todos os resultados obtidos no processo analítico com objetivo de desenvolver um procedimento numérico de cálculo a partir de planilha eletrônica utilizando o programa comercial *Microsoft Excel*[®]. A rotina de dimensionamento eletrônico pretende otimizar o cálculo em relação às várias seções geométricas disponíveis para perfis I e H laminados. Na fase final do trabalho são apresentadas as conclusões e análises dos resultados obtidos, assim como as avaliações sobre a contribuição técnico-científicas do trabalho desenvolvido.

Com os resultados obtidos através da elaboração de uma planilha para otimização dos cálculos, fazendo um comparativo com um cálculo analítico para a verificação da veracidade das afirmações da planilha, foi possível verificar a contribuição do método otimizado através da eficiência do processo de dimensionamento, que permitiu a escolha do perfil ideal a partir dos critérios e requisitos de segurança e economia de material. O presente trabalho possibilitou ainda um maior entendimento sobre a sequência de passos e análises dos cálculos relacionados aos pilares metálicos e contribuiu no conhecimento sobre o programa de planilhas de cálculo.

Palavras-chave: Perfil; excel; NBR; axial; estrutural; dimensionamento; laminados.

1 INTRODUÇÃO

As primeiras informações da utilização de metais ferrosos aconteceram em civilizações antigas como Egito, Babilônia e Índia há 8.000 anos. Essas civilizações usavam o ferro como adorno ou para fins militares (CHAMBERLAIN, Z; FICANHA, R; FABEANE, R., 2013). Mas o primeiro material siderúrgico aplicado na construção foi o ferro fundido.

Na Inglaterra, entre o final do século XVIII e início do século XIX, pontes em arco e treliçadas foram contruídas com elementos em ferro fundido trabalhando a compressão (PFEIL, 2009). Após as primeiras aplicações do ferro a partir de técnicas de fundição, logo surgiu o ferro forjado, empregado em elementos estruturais como correntes de barras, formando os elementos portantes das pontes suspensas (PFEIL, 2009). A ponte de Coalbrookdale, contruída em ferro fundido em 1779 na Inglaterra (Figura 1.1), e a ponte Menai construída entre 1819 e 1826 no País de Gales, a partir de barras de ferro forjado, são exemplos de obras que ainda se encontram em estado de utilização (Figura 1.2). O uso do ferro em escala industrial aconteceu em meados do século XIX, decorrente da Revolução Industrial na Inglaterra, França e Alemanha (CHAMBERLAIN, Z; FICANHA, R; FABEANE, R. 2013). Segundo Bellei (2010), as primeiras obras com elementos de aço em edifícios deram-se por volta de 1880 em Chicago, nos Estados Unidos.

Figura 1.1 - Ponte de Coalbrookdale



Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Ironbridge_6.jpg

Acessado em 25/06/2019.

Figura 1.2 - Ponte Menai



Fonte: www.geograph.org.uk/photo/5423780

Acessado em 25/06/2019.

No Brasil, a aplicação do aço está relacionada diretamente à história do país em que duas fases são consideradas relevantes: a primeira fase de uso do material, em fins do século XIX, por não ter indústrias siderúrgicas, importava-se da Inglaterra. A segunda fase surgiu entre o período das duas guerras mundiais (CHAMBERLAIN; FICANHA; FABEANE, 2013). Consequente à paralisação das importações, tornou-se imperativo iniciar o processo de criação e desenvolvimento de empresas siderúrgicas nacionais. Com esse desenvolvimento também surgiu todo o complexo de indústrias derivadas, como as de fabricação e montagem de estruturas metálicas (CHAMBERLAIN; FICANHA; FABEANE, 2013).

Os principais aspectos positivos de estrutura em aço na construção civil são: flexibilidade arquitetônica, redução do prazo de execução, redução das cargas de fundação, produto industrializado, otimização da área útil, racionalização da construção, organização do canteiro de obras e confecção de trabalhos em paralelo (CHAMBERLAIN; FICANHA; FABEANE, 2013). E os principais aspectos negativos deste tipo de estrutura são: Pouco indicado em construção pequena, dificuldade de transporte, desembolso em curto espaço de tempo devido aos prazos serem pequenos e maior precisão em projetos e dimensionamentos (CHAMBERLAIN; FICANHA; FABEANE, 2013).

Atualmente, as principais aplicações de elementos estruturais em aço na construção civil ocorrem em projetos de pontes, edifícios industriais, comerciais, rurais, residenciais, galpões, hangares, torres de transmissão, plataformas e etc (CHAVES, 2007).

Devido aos diversos aspectos positivos identificados na construção de estruturas metálicas, são cada vez mais frequente o interesse por edifícios “Galpões” em estrutura de aço. No Brasil, esta demanda tem desenvolvido soluções que visam a industrialização padronizada da fabricação de galpões em aço e alternativas estruturais que possam aliar a segurança estrutural, considerando a alta resistência do material, racionalização da mão-de-obra e materiais e redução de custos.

A estrutura metálica para galpões são estruturas formadas por associação de peças metálicas ligadas entre si por meio de conectores ou solda. Em galpões há diversas soluções para estruturas metálicas, seja por pórticos formados de perfis de alma cheia laminados ou soldáveis, ou seja, por estruturas compostas por treliças que empregam perfis leves laminados e/ou formados a frio (MADEIRA, 2009).

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o desenvolvimento deste estudo, espera-se contribuir na compreensão do comportamento de pilares em aço, apresentar as principais concepções estruturais e desenvolver uma ferramenta de dimensionamento otimizada que possa auxiliar na predileção do perfil estrutural mais adequados em relação à capacidade resistente.

1.2 OBJETIVO

O trabalho tem como objetivo principal apresentar as soluções estruturais aplicadas em sistemas de pilares para galpões industriais e avaliar a viabilidade técnica destas soluções através da análise teórica do dimensionamento de pilares submetidos a força axial de compressão.

Desenvolver uma rotina de cálculo automatizado para dimensionamento de pilares com seção I e H (perfis laminados), capaz de oferecer ao usuário uma análise comparativa entre os perfis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre alguns aspectos de projetos de galpões de uso geral em aço, os sistemas estruturais encontrados com maior frequência e uma descrição das estruturas principais mais utilizadas.

Geralmente, os galpões de uso geral são construções de um único pavimento que se estendem por grandes áreas e são constituídos por pórticos planos regularmente espaçados com cobertura na parte superior e fechamento lateral.

O projeto de um galpão em estrutura metálica envolve a definição do sistema estrutural, a avaliação das ações atuantes, a análise estrutural e o dimensionamento dos elementos estruturais.

Nos últimos anos, o aço é o material mais utilizado para construção de edifícios industriais no Brasil, devido às vantagens econômicas e construtivas que oferece.

2.1 GALPÕES DE USO GERAL

De acordo com o Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas (MIC/STI, 1986), os galpões são, geralmente, construções de um pavimento, com a finalidade de fechar e cobrir grandes áreas, protegendo as instalações, os produtos armazenados ou, simplesmente, fornecendo abrigo em relação às condições climáticas externas. Destinam-se a diversos fins, como fábricas, almoxarifado, feiras, estádios, hangares, etc.

Na maioria das vezes os galpões de uso geral se estendem por grandes áreas em um único pavimento e são constituídos por pórticos planos regularmente espaçados com cobertura na parte superior e fechamento lateral.

Deve-se considerar também a possibilidade de ampliação e modificações futuras e, eventualmente, de aquecimento ou resfriamento de ar, de forma a garantir adequadas condições de trabalho (higiene, segurança e conforto) no interior do edifício.

2.2 - SISTEMAS ESTRUTURAIS DE GALPÕES INDUSTRIAIS

Contando com várias possibilidades de concepção e da finalidade a que se destinam, vários são os sistemas estruturais que podem ser usados no projeto de galpões industriais.

Dentre os diversos sistemas estruturais aplicáveis aos galpões de uso geral, o sistema formado por pórticos planos transversais, formando a estrutura principal, é um dos mais comuns e amplamente difundidos.

2.3 – PÓRTICOS PLANOS

De acordo com (BELLEI, 2006) um pórtico plano típico de um galpão é formado por duas colunas e uma viga de cobertura. A diferenciação entre as soluções estruturais se dá, basicamente, pela variação de alternativas para composição das colunas e vigas que formam esta estrutura principal.

A distância entre pórticos transversais é outro parâmetro importante na definição dos sistemas estruturais. Esta distância é condicionada pela finalidade do galpão. Caso não haja restrições, escolhe-se o espaçamento que conduz à maior economia no custo global de pórticos transversais. Os Pórticos Planos, dividem-se em duas áreas, Pórticos de Alma Cheia e Pórticos treliçados.

2.3.1 – Pórticos de Alma Cheia

Os galpões constituídos de perfis de alma cheia são muito utilizados na construção devido à sua ótima relação entre vão e peso próprio (D'ALAMBERT, 2005).

Tipo duas águas, estrutura simples e simétrica com cobertura inclinada, as concepções de alma cheia são as mais limpas, com menor número de elementos, têm a fabricação facilitada, sua montagem é mais rápida, a manutenção é mais simples, mas consomem mais aço.

Como consomem muito menos serviços para a sua execução, os custos finais são competitivos e são indicadas para os galpões industriais.

2.3.2 – Pórticos Treliçados

De acordo com Bellei (2010), as vigas treliçadas de banzos paralelos e outros elementos de cobertura podem ser constituídos por perfis abertos de chapas dobradas, diminuindo o consumo total de aço.

Os galpões com colunas treliçadas são utilizados, em geral, para receber a coluna da cobertura e servir de apoio para a viga de rolamento de pontes rolantes. São utilizados também quando se deseja colunas com grande inércia em substituição aos perfis de alma cheia pesados.

2.4 – PILARES

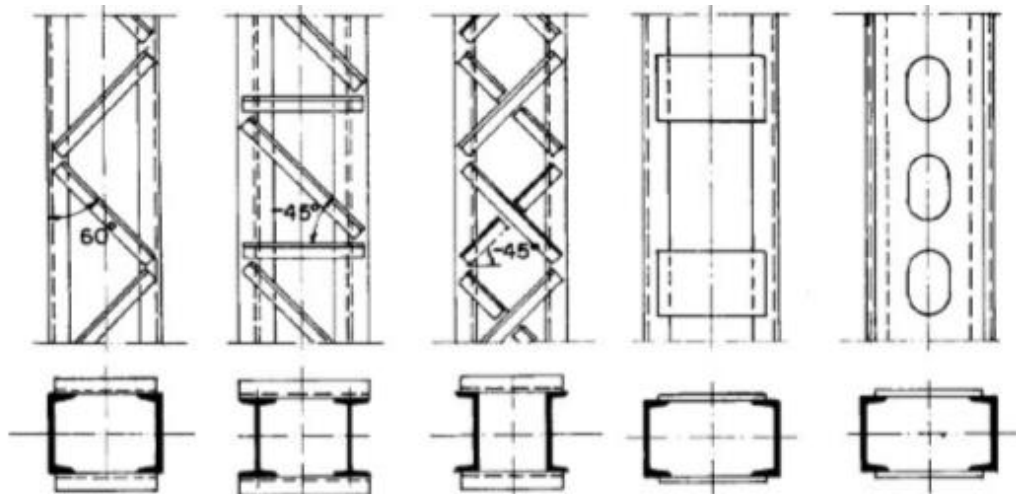
Segundo Dias (2006) o pré-dimensionamento de um pilar metálico (barra submetida a um esforço de compressão axial) depende da carga no pilar, do comprimento da peça entre os travamentos e da forma de sua seção transversal (área e momento de inércia).

Os pilares são a parte da estrutura responsável por transmitir as cargas da estrutura para os elementos de fundação, trabalham predominantemente à compressão e à flexo-compressão. Podem ser de perfis treliçados ou alma cheia. Sua ligação com a fundação é feita através de chumbadores afixados na placa de base.

2.4.1 - Pilar Treliçado

Colunas treliçadas são combinações de vários perfis, que são unidos no plano da mesa, formando o fuste do mesmo (BELLEI ,1997). Apesar de maior complexidade de execução, a resistência de um pilar treliçado se equipara a um pilar de alma cheia, porém com um peso muito mais baixo. Há uma grande quantidade de possíveis combinações para esses pilares, sendo o U e o I e as cantoneiras os mais utilizados.

Figura 2.1 - Tipologia de colunas treliçadas

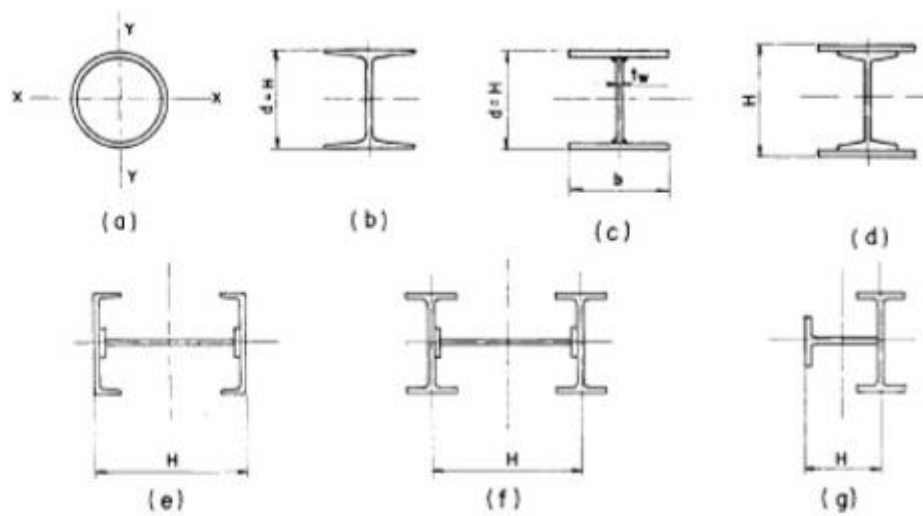


Fonte: BELLEI (1997)

2.4.2 – Pilar de alma cheia

Nas colunas de alma cheia são usados perfis únicos, em sua maioria seções I e H e algumas seções são formadas por combinações de perfis (BELLEI, 1997). Perfis tubulares tem uma melhor eficiência estrutural, porém suas ligações são mais difíceis de serem executadas e seu preço é mais elevado em relação a outros perfis de alma cheia.

Figura 2.2 - Perfis utilizados em pilares de alma cheia



a) Perfil tubular, b) Perfil H Laminado, c) Perfil Soldado, d) Perfil I Laminado, e) Composição de Perfil U Laminado, f) Composição de Perfil I Laminado, g) Composição usada em Pontes Rolantes.

Fonte: BELLEI 1997

3 - MATERIAIS E MÉTODO

O processo de desenvolvimento e execução da pesquisa para o presente trabalho será dividido em três etapas:

A primeira etapa consiste em ampla revisão bibliográfica do estado da arte e da ampliação, conceitos fundamentais de sistemas contrutivos em aço, características técnicas dos sistemas estruturais e seus elementos. Esta etapa inicial contempla ainda uma pesquisa sobre informações históricas da aplicabilidade do aço na construção civil, observando a evolução da utilização do material, promovendo o seu conhecimento, de forma a facilitar a compreensão do trabalho.

Na segunda etapa serão definidas as características geométricas do pilar a ser dimensionado. A partir das prescrições da NBR 8800 (ABNT, 2008), descreveremos os procedimentos de dimensionamento dos pilares utilizando seções em perfis laminados, considerando as seções de perfis I e H.

A terceira etapa consiste na análise de todos os resultados obtidos no processo analítico com objetivo de desenvolver um procedimento numérico de cálculo a partir de planilha eletrônica utilizando o programa Excel. A rotina de dimensionamento eletrônico pretende otimizar o cálculo em relação às várias seções geométricas disponíveis para perfis I e H laminados.

Na fase final do trabalho serão apresentadas as conclusões e análises dos resultados obtidos, assim como as avaliações sobre a contribuição técnico-científicas do trabalho desenvolvido.

Todos os cálculos usados para a confecção da planilha têm como base a NBR 8800 (ABNT, 2008) que segue abaixo:

3.1. Condições específicas para o dimensionamento de elementos de aço

Condições gerais

3.1.1 Aplicabilidades

Esta seção trata do dimensionamento de elementos estruturais de aço submetidos a ações estáticas.

3.1.2 Relações entre largura e espessura em elementos comprimidos dos perfis de aço

3.1.2.1 Classificação das seções transversais

3.1.2.1.1 Dependendo do valor do parâmetro de esbeltez λ dos componentes comprimidos em relação a λ_p e λ_r (ver 3.1.2.1.2) as seções transversais são classificadas em:

- a) compactas: seções cujo elementos comprimidos possuem λ não superior a λ_p e cujas mesas são ligadas continuamente à(s) alma(s) (ver 3.1.2.1.3);
- b) semicompactas: seções que possuem um ou mais elementos comprimidos com λ excedendo λ_p , mas não λ_r (ver 3.1.2.1.4);
- c) esbeltas: seções que possuem um ou mais elementos comprimidos com λ excedendo λ_r (ver 3.1.2.1.5).

3.1.2.1.2 O parâmetro de esbeltez dos elementos comprimidos é definido em 3.1.2.2 e os parâmetros de esbeltez λ_p e λ_r são fornecidos para os diversos tipos de solicitação ao longo desta Norma.

3.1.2.1.3. As seções compactas são capazes de desenvolver uma distribuição de tensões totalmente plástica, com grande rotação antes do início da flambagem local. Essas seções são adequadas para análise plástica, devendo, no entanto, para esse tipo de análise, ter um eixo de simetria no plano do carregamento quando submetidas à flexão, e ser duplamente simétricas quando submetidas à força axial de compressão.

3.1.2.1.4. Nas seções semicompactas, os elementos comprimidos podem atingir a resistência ao escoamento, levando-se em conta as tensões residuais, antes que a flambagem local ocorra, mas não apresentam grande capacidade de rotação.

3.1.2.1.5. Nas seções esbeltas, um ou mais elementos comprimidos flambam em regime elástico, levando-se em conta as tensões residuais.

3.1.2.2 Tipos e parâmetro de esbeltez de elementos componentes

3.1.2.2.1. Para efeito de flambagem local, os elementos componentes das seções transversais usuais, exceto as seções tubulares circulares, são classificados em AA, quando possuem duas bordas longitudinais vinculadas, e AL quando possuem apenas uma borda longitudinal vinculada.

3.1.2.2.2 O parâmetro de esbeltez dos elementos componentes da seção transversal é definido pela relação entre largura e espessura (relação b/t).

3.1.2.2.3 A largura b de alguns dos elementos AA mais comuns deve ser tomada como a seguir:

- a) para almas de seções I, H ou U laminadas, a distância livre entre mesas menos os dois raios de concordância entre mesa e alma:
- b) para almas de seções I, H, U ou caixão soldadas, a distância livre entre mesas:
- c) para mesas de seção caixão soldadas, a distância livre entre as faces internas das almas:
- d) para almas e mesas de seções tubulares retangulares, o comprimento da parte plana do elemento (esse comprimento não é conhecido, pode ser tomado como a largura total medida externamente menos três vezes a espessura);
- e) para chapas, a distância entre linhas paralelas de parafusos ou solda.

3.1.2.2.4 A largura b de alguns elementos AL mais comuns deve ser tomada como a seguir:

- a) para mesas de seções I, H e T, a metade da largura total da mesa:
- b) para abas de cantoneiras e mesas de seções U, a largura total do elemento:
- c) para chapas, a distância da borda livre à primeira linha de parafusos ou de solda:
- d) para almas de seções T, a altura total da seção transversal (altura da alma mais a espessura da mesa).

3.3 Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão

No dimensionamento dessas barras, deve ser atendida a condição:

(Equação 1)

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd}$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ é a força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$ é a força axial de compressão resistente de cálculo, determinada conforme 3.3.2.

Devem ainda ser observadas as condições estabelecidas em 3.3.4, relacionadas a limitação da esbeltez.

3.3.1 Força axial resistente de cálculo

A força axial de compressão resistente de cálculo, $N_{c,Rd}$, de uma barra, associada aos estados-limites últimos de instabilidade por flexão, por torção ou flexo-torção e de flambagem local, deve ser determinada pela expressão:

(Equação 2)

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

χ é o fator de redução associado à compressão, dado em 3.3.3;

Q é o fator de redução total associado à flambagem local, cujo valor deve ser obtido no Anexo F:

A_g é a área bruta da secção transversal da barra.

3.3.3 Fator de redução χ

3.3.3.1 O fator de redução associado à resistência à compressão, X , é dado por:

- Para $\lambda_0 \leq 1,5$: $X = 0,658\lambda_0^2$

- Para $\lambda_0 > 1,5$: $X = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$

Onde:

λ_0 é o índice de esbeltez reduzido, dado em 3.3.3.2.

O valor de X pode ser também obtido da Figura 11 ou da Tabela 4, para os casos em que λ_0 não supere 3,0.

3.3.3.2 O índice de esbeltez reduzido, λ_0 , é dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{\left(\frac{QAgfy}{Ne}\right)}$$

Onde Ne é a força axial de flambagem elástica.

Figura 3.1 – Valor de X em função do índice de esbeltez λ_0

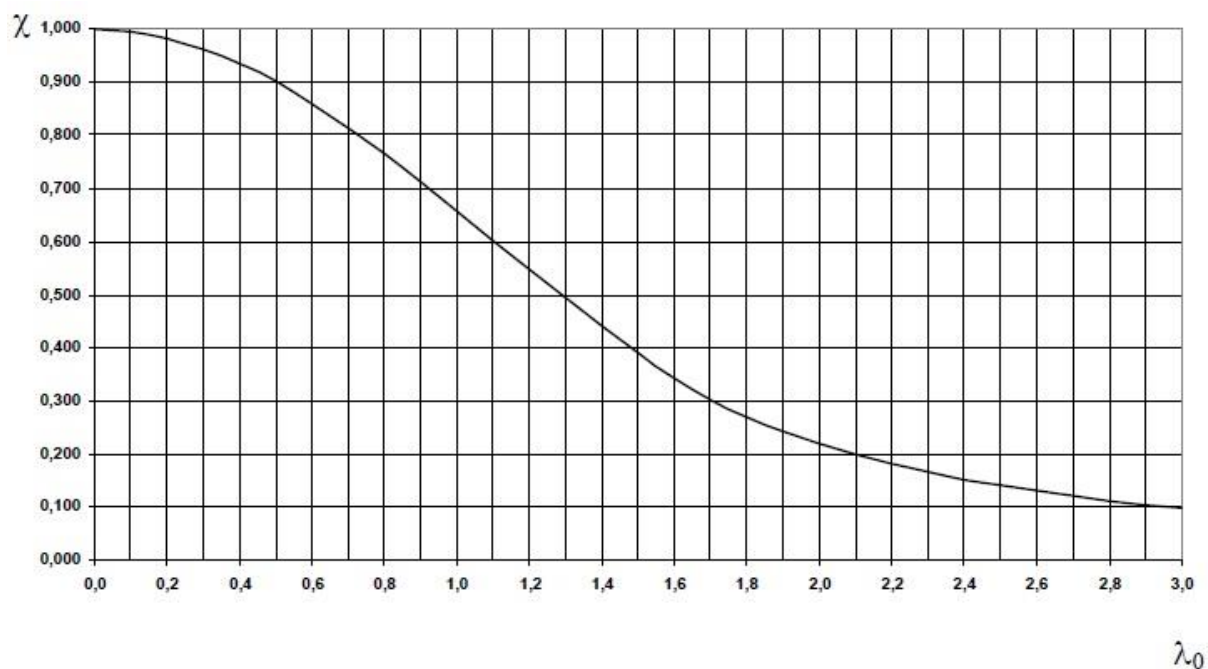


Figura 11 — Valor de χ em função do índice de esbeltez λ_0

Fonte: NBR 8.800 (2008)

Figura 3.2 – Valor de X em função do índice de esbeltez λ_0 .Tabela 4 – Valor de χ em função do índice de esbeltez λ_0

λ_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ_0
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,0
0,1	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	0,987	0,985	0,1
0,2	0,983	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968	0,965	0,2
0,3	0,963	0,961	0,958	0,955	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,3
0,4	0,935	0,932	0,929	0,926	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,4
0,5	0,901	0,897	0,893	0,889	0,885	0,881	0,877	0,873	0,869	0,864	0,5
0,6	0,860	0,856	0,851	0,847	0,842	0,838	0,833	0,829	0,824	0,819	0,6
0,7	0,815	0,810	0,805	0,800	0,795	0,790	0,785	0,780	0,775	0,770	0,7
0,8	0,765	0,760	0,755	0,750	0,744	0,739	0,734	0,728	0,723	0,718	0,8
0,9	0,712	0,707	0,702	0,696	0,691	0,685	0,680	0,674	0,669	0,664	0,9
1,0	0,658	0,652	0,647	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,614	0,608	1,0
1,1	0,603	0,597	0,592	0,586	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558	0,553	1,1
1,2	0,547	0,542	0,536	0,531	0,525	0,520	0,515	0,509	0,504	0,498	1,2
1,3	0,493	0,488	0,482	0,477	0,472	0,466	0,461	0,456	0,451	0,445	1,3
1,4	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	0,400	0,395	1,4
1,5	0,390	0,385	0,380	0,375	0,370	0,365	0,360	0,356	0,351	0,347	1,5
1,6	0,343	0,338	0,334	0,330	0,326	0,322	0,318	0,314	0,311	0,307	1,6
1,7	0,303	0,300	0,296	0,293	0,290	0,286	0,283	0,280	0,277	0,274	1,7
1,8	0,271	0,268	0,265	0,262	0,259	0,256	0,253	0,251	0,248	0,246	1,8
1,9	0,243	0,240	0,238	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	1,9
2,0	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,203	0,201	2,0
2,1	0,199	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185	0,183	2,1
2,2	0,181	0,180	0,178	0,176	0,175	0,173	0,172	0,170	0,169	0,167	2,2
2,3	0,166	0,164	0,163	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,154	2,3
2,4	0,152	0,151	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,141	2,4
2,5	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	2,5
2,6	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	2,6
2,7	0,120	0,119	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	2,7
2,8	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	2,8
2,9	0,104	0,104	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	2,9
3,0	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0

Fonte: NBR 8.800 (2008).

(Normativo)

3.4 Força axial de flambagem elástica e coeficiente de flambagem

3.4.1 Valores da força axial de flambagem elástica

Seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto. A força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto é dada por:

- a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

- b) Para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

- c) Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z :

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right]$$

Onde:

$K_x L_x$ é o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo x (o coeficiente de flambagem K_x é dado em E.2.1);

I_x é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x ;

$K_y L_y$ é o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo y (o coeficiente de flambagem K_y é dado em E.2.1);

I_y é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y ;

$K_z L_z$ é o comprimento de flambagem por torção (o coeficiente de flambagem K_z é dado em E.2.2);

E é o módulo de elasticidade do aço;

C_w é a constante de empenamento da seção transversal;

G é o módulo de elasticidade transversal do aço;

J é a constante de torção da seção transversal;

r_0 é o raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento, dado por:

$$r_0 = \sqrt{rx^2 + ry^2 + x_0^2 + y_0^2}$$

Onde:

r_x e r_y são os raios de giração em relação aos eixos centrais x e y , respectivamente, e x_0 e y_0 são as coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos centrais x e y , respectivamente, em relação ao centro geométrico da seção.

E.1.2 Seções monossimétricas, exceto o caso de cantoneiras simples previsto em E.1.4

A força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal monossimétrica, cujo eixo y é o eixo de simetria, é dada por:

- a) Para flambagem elástica por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2}$$

- b) Para flambagem elástica por flexo-torção:

$$N_{eyz} = \frac{N_{ey} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ey} N_{ez} \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ey} + N_{ez})^2}} \right]$$

Onde:

N_{ey} e N_{ez} são forças axiais de flambagem elástica conforme E.1.1b) e E.1.1c), respectivamente.

Caso o eixo x seja o eixo de simetria, basta substituir x por y em a) e y por x e y_0 por x_0 em b).

E.1.3 Seções assimétricas, exceto o caso de cantoneiras simples previsto em E.1.4

A força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal assimétrica (sem nenhum eixo de simetria) é dada pela menor das raízes da seguinte equação cúbica:

$$(N_e - N_{ex}) \cdot (N_e - N_{ey}) \cdot (N_e - N_{ez}) - N_e^2 (N_e - N_{ey}) \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 - N_e^2 (N_e - N_{ex}) \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 = 0$$

E.2 Valores do coeficiente de flambagem

E.2.1 Coeficiente de flambagem por flexão

E.2.1.1 Na tabela E.1 são fornecidos os valores teóricos do coeficiente de flambagem por flexão, K_x ou K_y , para seis casos ideais de condições de contorno de elementos isolados, nos quais a rotação e a translação das extremidades são totalmente livres ou totalmente impedidas. Caso não se possa assegurar a perfeição do engaste, devem ser usados os valores recomendados apresentados.

E.2.1.2 Nos elementos contraventados, o coeficiente de flambagem por flexão deve ser tomado igual a 1,0, a menos que se demonstre que pode ser utilizado um valor menor.

E.2.1.3 Nas barras das subestruturas de contraventamento analisados de acordo com as prescrições, o coeficiente de flambagem por flexão deve ser tomado igual a 1,0.

Figura 3.3 – Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados.

Tabela E.1 — Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	<ul style="list-style-type: none"> Rotação e translação impedidas Rotação livre, translação impedida Rotação impedida, translação livre Rotação e translação livres 					

Fonte: NBR 8800 (2008).

E.2.2 Coeficiente de flambagem por torção

O coeficiente de flambagem por torção, K_z , função das condições de contorno, deve ser determinado por análise estrutural, ou, simplificada, tomado igual a:

- a) 1,00 quando ambas as extremidades da barra possuem rotação em torno do eixo longitudinal impedida e empenamento livre:
- b) 2,00 quando uma das extremidades da barra possuir rotação em torno do eixo longitudinal e empenamento livres e, a outra extremidade, rotação e empenamento impedidos.

(NORMATIVO)

3.5 Flambagem local de barras axialmente comprimidas

Generalidades

F.1.1 Os elementos que fazem parte das seções transversais usuais, exceto as seções tubulares circulares, para efeito de flambagem local, são classificados em AA (duas bordas longitudinais vinculadas) e AL (apenas uma borda longitudinal vinculada), conforme 3.1.2.2.1.

F.1.2 As barras submetidas á força axial de compressão, nas quais todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (relação b/t) que não superam os valores de (b/t) lim dados na Tabela F.1, têm o fator de redução Q igual a 1,00.

F.1.3 As barras submetidas á força axial de compressão, nas quais os elementos componentes da seção transversal possuem relações b/t maiores que os valores de (b/t) lim dados na Tabela F.1 (elementos esbeltos), têm o fator de redução total Q dado por:

$$Q=Q_s.Q_a$$

Onde:

Q_s e Q_a são fatores de redução que levam em conta a flambagem local dos elementos AL e AA, cujo valores devem ser determinados como mostrado em F.2 e F.3, respectivamente. Deve-se ainda considerar que:

- a) Se a seção possuir apenas elemtos AL:

$$Q=Q_s$$

- b) Se a seção possuir apenas elementos AA:

$$Q=Q_s$$

F.2 Elementos comprimidos AL

Os valores de Q_s a serem usados para os elementos comprimidos AL são os seguintes.

- a) Elementos de grupo 3 da tabela F.1:

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < b/t \leq \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,53E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } b/t > 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

b) Elementos do grupo 4 da tabela F.1:

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,69E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

c) Elementos do grupo 5 da tabela F.1:

$$Q_s = 1,415 - 0,65 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{K_c E}}, \text{ para } 0,64 \sqrt{\frac{E}{\left(\frac{f_y}{K_c}\right)}} < \frac{b}{t} \leq \sqrt{\frac{E}{\left(\frac{f_y}{K_c}\right)}}$$

$$Q_s = \frac{0,90 E K_c}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,17 \sqrt{\frac{E}{\left(\frac{f_y}{K_c}\right)}}$$

Com o coeficiente K_c dado por

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{tw}}}, \text{ sendo } 0,35 \leq K_c \leq 0,76$$

d) Elementos do grupo 6 da tabela F.1:

$$Q_s = 1,908 - 1,22 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,69E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Onde:

h é a altura da alma;

tw é a espessura da alma;

b e t são a largura e a espessura do elemento, respectivamente.

Se existirem dois ou mais elementos AL com fatores de redução Q_s diferentes, deve-se adotar o menor destes fatores.

Figura 3.4 – Valores de (b/f) lim.Tabela F.1 – Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	<ul style="list-style-type: none"> Mesas ou almas de seções tubulares retangulares Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas 		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	<ul style="list-style-type: none"> Almas de seções I, H ou U Mesas ou almas de seção-caixão Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1 		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	<ul style="list-style-type: none"> Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travessamento 		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	<ul style="list-style-type: none"> Mesas de seções I, H, T ou U laminadas Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas 		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	<ul style="list-style-type: none"> Mesas de seções I, H, T ou U soldadas * 		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$
	6	<ul style="list-style-type: none"> Almas de seções T 		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

* O coeficiente k_c é dado em F.2.

Fonte: NBR 8.800 (2008).

F.3 Elementos comprimidos AA

F.3.1 O fator de redução Q_s das seções transversais com elementos comprimidos AA, cuja relação entre largura e espessura ultrapassa os valores indicados na tabela F.1, é definido como:

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$$

Onde:

A_g é a área bruta e A_{ef} a área efetiva da seção transversal, dada por $A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef})t$, com o somatório estendendo-se a todos os elementos AA. Nessa expressão b e t são, respectivamente, a largura e a espessura de um elemento comprimido AA, conforme tabela F.1: b_{ef} é a largura efetiva de um elemento comprimido AA, conforme F.3.2

F.3.2 A largura efetiva dos elementos AA é igual a:

$$B_{ef} = 1,92t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[1 - \frac{ca}{b} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \leq b$$

Onde:

ca é um coeficiente, igual a 0,38 para mesas ou almas de seções tubulares retangulares e 0,34 para todos os outros elementos e σ é a tensão que pode atuar no elemento analisado, tomado igual a:

$$\sigma = Xfy$$

Com X obtido conforme 5.3.3, adotando Q igual a 1,0. Opcionalmente, de forma conservadora, pode-se tomar:

$$\sigma = fx$$

4 RESULTADOS

Dados do perfil analisado:

Aço ASTM A572 Grau 50

Limite de escoamento (f_y) = 345 (MPa)

Limite de ruptura (f_u) = 450 (MPa)






Módulo de elasticidade (E) = 200000 (MPa)

$N_{c,sd}$ = 45,60 KN

Pilar (WH 200x35,9)

Figura 4.1 – Memorial de cálculo.

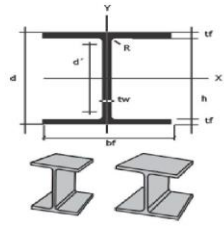
Memorial de Calculo

Material

Aço do Perfil				
Tensão de Escoamento (f_y)	345	MPa	Módulo de Elasticidade (E_a)	200000
Coefficiente de Poisson (ν)	0,3		Módulo de Elasticidade transversal (G)	76923,08

Dados Geométricos do Perfil

Bitola do Perfil:	012 - W 200 x 35,9 (H)	mm x kg/m			
Altura (d):	201	mm			
Alt. Alma (h):	181	mm			
Alt. Alma Livre (d'):	161	mm			
Esp. Alma (t_w):	6,2	mm			
Larg. Mesa (b):	165	mm			
Esp. Mesa (t_f):	10,2	mm			
Propriedades do Perfil:					
u:	1,03	m ² /m	Inércia y (I_y):	764	cm ⁴
Massa:	35,9	kg/m	Módulo Resistente (W_y):	92,6	cm ³
Área:	45,7	cm ²	Raio de Giração y (r_y):	4,09	cm
Inércia x (I_x):	3437	cm ⁴	Módulo Plástico y (Z_y):	141	cm ³
Módulo Resistente x (W_x):	342	cm ³	Raio de Giração Torção (r_t):	4,5	cm
Raio de Giração x (r_x):	8,67	cm	Inércia Torção (I_t):	14,51	cm ⁴
Módulo Plástico (Z_x):	379,2	cm ³	Coef. Empenamento (C_w):	69502,00	cm ⁶
			r_o^2	9189,70	mm ²

Fator de Redução total associado a Flambagem local (Q)

Mesa (AL - Grupo 4)		Alma (AA - Grupo 2)	
(b/f) _{lim}	13,48	(b/f) _{lim}	35,87
(b/f)	8,09	(b/f)	25,90
(b/f) < (b/f) _{lim}	APROVADO	(b/f) < (b/f) _{lim}	APROVADO
Q	1		

Comprimentos de flambagem e Carregamentos

Comprimento destravado (cm):	900,00	Esforço normal de cálculo (N_{ed}) (kN):	45,6
Coef. Flambagem direção Kx:	0,70	Comprimento destravado em x (cm):	630
Coef. Flambagem direção Ky:	0,70	Comprimento destravado em y (cm):	630
Coef. Flambagem torção Kz:	1,00	Comprimento destravado em z (cm):	900

Verificações

Esforços Normais		Esbeltezes		
Cargas de Flambagem				
N_{ex}	1709338,89	N	λ_0	4488,20
N_{ey}	379963,61	N	λ_x	2,02
N_{ez}	1398877,01	N	λ_y	0,215
N_e	379963,61	N		

Determinação da força resistente de calculo

Normal Resistente (kN)			
N_{Rd}	302,93	kN	
N_{Sd}/N_{Rd}	APROVADO		

Fonte: Planilha otimizada de cálculo – Excel.

Verificação da veracidade do cálculo efetuado na planilha elaborada

Determinação do fator de redução total associado a flambagem local:

Mesa: (AL Grupo 4)

$$b_f=165; t_f= 10,2$$

$$b/f = \frac{165/2}{10,2}$$

$$b/f = 8,09$$

$$(b/f) \text{ lim} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(b/f) \text{ lim} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{345}}$$

$$(b/f) \text{ lim} = 13,48$$

$$b/f < (b/f) \text{ lim}$$

$$8,09 < 13,48 - \text{VERIFICAÇÃO OK!}$$

ALMA: (AA Grupo 2)

$$d' = 161; t_w = 6,2$$

$$b/f = \frac{161}{6,2}$$

$$b/f = 25,90$$

$$(b/f) \text{ lim} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(b/f) \text{ lim} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{345}}$$

$$(b/f) \text{ lim} = 35,87$$

$$b/f < (b/f) \text{ lim}$$

$$25,90 < 35,87 - \text{VERIFICAÇÃO OK!}$$

$$Q=1$$

Determinação da força axial de flambagem elástica:**Eixo central de inercia X**

$$I_x = 3437 \text{ cm}^4$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(L \cdot K)^2}$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 3437 \times 10^4}{(9000 \cdot 0,7)^2}$$

$$N_{ex} = 1709338,89 \text{ N}$$

Eixo central de inercia Y

$$I_y = 764 \text{ cm}^4$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot I_y}{(L \cdot K)^2}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 764 \times 10^4}{(9000 \cdot 0,7)^2}$$

$$N_{ey} = 379963,61 \text{ N}$$

Eixo longitudinal Z (Flambagem por torção):

$$r_x = 8,67 \text{ cm} = 86,70 \text{ mm}; r_y = 4,09 \text{ cm} = 40,90 \text{ mm}$$

$$c_w = 69502 \text{ cm}^6; I_f = 14,51 \text{ cm}^4$$

$$\nu = \epsilon_{\text{lateral}} / \epsilon_{\text{longitudinal}} = 0,3$$

Módulo de Elasticidade transversal (G):

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$G = \frac{200000}{2(1+0,3)}$$

$$G = 76923,08 \text{ MPA}$$

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2}$$

$$r_0 = \sqrt{86,7^2 + 40,9^2}$$

$$r_0 = 95,86$$

$$r_0^2 = 9189,14 \text{ mm}^2$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot c_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot I_f \right]$$

$$N_{ez} = \frac{1}{9189,14} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 69502 \times 10^6}{(1,09000)^2} + (76923,08 \cdot 14,51 \times 10^4) \right]$$

$$N_{ez} = 1398962,31 \text{ N}$$

Usando para cálculo o menor valor de Ne temos:

$$N_{ey} = 379963,61 \text{ N}$$

$$A_g = (t_f \cdot B_f) \cdot 2 + h \cdot t_w$$

$$A_g = (10,2 \cdot 165) \cdot 2 + 181 \cdot 6,2$$

$$A_g = 4488,20 \text{ mm}^2$$

Fator de redução (χ)

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1.4488,20 \cdot 345}{379963,61}}$$

$$\lambda_0 = 2,02$$

$$\lambda_0 > 1,5 \text{ Portanto}$$

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\chi = \frac{0,877}{(2,02)^2}$$

$$\chi = 0,215$$

Determinação da força resistente de cálculo:

$$N_{e, rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{e, rd} = \frac{0,215 \cdot 1.4488,20 \cdot 345}{1,1}$$

$$N_{e, rd} = 302647,49 \text{ N}$$

$$N_{e, rd} = 302,65 \text{ KN}$$

Portanto:

$$N_c, sd \leq N_c, rd$$

$$45,60 \leq 302,65$$

VERIFICAÇÃO OK!

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O presente trabalho possibilitou, a partir de uma análise a elaboração de uma planilha de otimização de cálculo, um maior entendimento sobre a sequência de passos e análises dos cálculos relacionados aos pilares metálicos. Em contrapartida também adicionou um conhecimento sobre o programa Excel que excedeu todas as expectativas.

Foi elaborado uma planilha de cálculo, como o proposto, utilizando as recomendações e restrições da norma ABNT NBR 8800:2008 de forma a instruir sobre a análise dos perfis estruturais propostos, como um critério de aceitação dos perfis adotados.

Para a escolha final do perfil deve ser adotado com base nos cálculos e especificações que considerem não só as análises dos perfis estruturais mais também a força axial de compressão solicitante. Caso a força resistente de cálculo seja menor que a solicitante é recomendada a mudança de perfil até que encontre um perfil ideal para resistência mecânica e eficiente estabilidade estrutural, demonstrando a partir de métodos especificados na ABNT NBR 8800:2008.

REFERÊNCIAS

BELLEI, Ildony H. **Edifícios Industriais em Aço** - Projeto e Cálculo. 5.ed. São Paulo: PINI, 2006.

BELLEI, I. H. **Edifícios Industriais em Aço**: Projeto e cálculo. São Paulo: PINI, 2010.

CHAMBERLAIN, Z; FICANHA, R; FABEANE, R. **Projeto e cálculo de estruturas de aço**: Edifício Industrial Detalhado. CAMPUS, 2013.

CHAVES, M. R. **Avaliação do Desempenho de Soluções Estruturas para Galpões Leves**. Ouro Preto, Editora da Universidade/UFOP. 2007, 111p.

DIAS, L. A. M. **Estruturas de aço**: Conceitos, técnicas e linguagens. ZIGURATE, 2006.

D'ALAMBERT, F. **Gerdau Açominas**: Galpões em pórticos com perfis estruturais. Laminados, 3ª ed, 2005. v.3, 56p.

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial (MIC/STI). **Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas**. Brasília, 1986. v.1

PFEIL, W. **Estruturas de Aço**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

NBR 8.800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.