

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**HALLEF CLEMENTE DE OLIVEIRA
LETÍCIA DE SOUZA GONÇALVES**

**ESTUDO DE DESEMPENHO E VIABILIDADE ECONÔMICA
EM ESTRUTURAS METÁLICAS DE COBERTURAS COM
VIGAS DE ALMA CHEIA OU TRELIÇADAS DE UM GALPÃO
INDUSTRIAL**

ANÁPOLIS / GO

2017

HALLEF CLEMENTE DE OLIVEIRA

LETÍCIA DE SOUZA GONÇALVES

**ESTUDO DE DESEMPENHO E VIABILIDADE ECONÔMICA
EM ESTRUTURAS METÁLICAS DE COBERTURAS COM
VIGAS DE ALMA CHEIA OU TRELIÇADAS DE UM GALPÃO
INDUSTRIAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: ROGÉRIO DOS SANTOS CARDOSO

ANÁPOLIS / GO: 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, HALLEF CLEMENTE DE/ GONÇALVES, LETÍCIA DE SOUZA

Estudo de desempenho e viabilidade econômica em Estruturas Metálicas de coberturas com vigas de alma cheia ou treliçadas de um galpão industrial.

137P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|--------------------------|-------------------------------------|
| 1. Viabilidade Econômica | 2. Vigas treliçadas e de alma cheia |
| 3. Estruturas Metálicas | 4. Galpão Industrial |
| I. ENC/UNI | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, Hallef Clemente de; GONÇALVES, Letícia de Souza. Estudo de desempenho e viabilidade econômica em Estruturas Metálicas de coberturas com vigas de alma cheia ou treliçadas de um galpão industrial. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 137p. 2017.

CESSÃO DE DIREITOS

NOMES DOS AUTORES: Hallef Clemente de Oliveira

Letícia de Souza Gonçalves

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo de desempenho e viabilidade econômica em Estruturas Metálicas de coberturas com vigas de alma cheia ou treliçadas de um galpão industrial

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

Hallef Clemente de Oliveira
E-mail: hallefcdo@gmail.com

Letícia de Souza Gonçalves
E-mail: leti-sougon@hotmail.com

**HALLEF CLEMENTE DE OLIVEIRA
LETÍCIA DE SOUZA GONÇALVES**

**ESTUDO DE DESEMPENHO E VIABILIDADE ECONÔMICA
EM ESTRUTURAS METÁLICAS DE COBERTURAS COM
VIGAS DE ALMA CHEIA OU TRELIÇADAS DE UM GALPÃO
INDUSTRIAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**ROGÉRIO DOS SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**

**CÉSAR AUGUSTO PAIVA GONÇALVES, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**PAULO ALEXANDRE DE OLIVEIRA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 27 de NOVEMBRO de 2017.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dar meu sincero agradecimento primeiramente a Deus que me deu força e perseverança durante estes anos de faculdade, resistindo ao desgaste do trabalho em conjunto com os estudos. Aos meus pais e irmãos que sempre me apoiaram para continuar quando eu queria parar e descansar. E a minha querida esposa que dedicou tempo e carinho me ajudando nas horas mais difíceis para conquistar este grande sonho. Obrigado.

Hallef Clemente de Oliveira

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me presentear com seu amor infinito concedendo-me forças e sabedoria para seguir neste caminho complexo e espinhoso, porém, vencido com muita perseverança e Graça. Não poderia deixar de agradecer à minha bondosa mãe Tânia que, com carinho, paciência, amor e determinação, me sustentou em todos os períodos escolares, incluindo o tão almejado curso superior em engenharia civil. Estendo minha gratidão a Sinthya, amada irmã que não só acreditou no meu potencial, como apoiou meus estudos e com carinho cuidou sempre de tudo.

Agradeço também a todos os meus familiares e amigos, que de uma forma diferente me cativaram a dar continuidade neste projeto. Em especial quero agradecer a Elise, Laureni e Amaury Júnior, grandes amigos que todos os dias deram apoio em meus planos e projetos de vida, além de todos os ensinamentos, correções e companheirismo.

Enfim, agradeço a todos os meus professores em especial nosso Mestre Rogério Cardoso, que desde o início do trabalho se prontificou a nos orientar e dar a direção correta para que as informações fossem transmitidas de forma clara e objetiva.

Minha gratidão se estende também a UniEvangélica, pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional e por garantir parte do meu sustento.

O meu mais franco obrigado, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da realização deste sonho.

“Tudo posso em Deus que me fortalece”.

Letícia de Souza Gonçalves

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar o desempenho de diferentes tipologias estruturais metálicas, adotadas na construção de vigas de coberturas para galpões industriais, buscando identificar qual dessas é a mais viável economicamente, e apresenta melhor eficiência estrutural. A utilização de estruturas em aço vem crescendo cada vez mais, principalmente em coberturas, visto que este material além de ser um forte indicador de desenvolvimento de um país, possui grandes vantagens construtivas, como a economia de tempo. Este estudo pode ser qualificado como sendo quantitativo, com base em resultados numéricos de taxas de aço. Com o auxílio do software "Metálicas 3D", foram analisadas sete tipologias: treliça em arco (tipologia 1), arco paralelo (tipologia 2), treliça com banzo paralelo (tipologia 3), treliça com banzo superior inclinado (tipologia 4), treliça com banzo inferior inclinado (tipologia 5), viga de alma cheia (tipologia 6) e viga vagonada (tipologia 7). A pesquisa realizada em duas etapas, a análise do pré-dimensionamento e do dimensionamento final, onde primeiramente com os conhecimentos técnicos e pesquisas bibliográficas, determinou-se as características iniciais da geometria para o início dos cálculos, como a altura de treliça, a altura do arco, a inclinação da cobertura, a distância entre terças, o perfil e o tipo de aço, por fim a resistência do material. Posteriormente, lançando a estrutura no programa, verificou-se a eficiência de cada tipologia: estabilidade global e aprovação de resistência. Desta forma, aparentemente a tipologia 3, apresentava um melhor desempenho estrutural e menor peso. Ao analisar o dimensionamento final, chega-se à conclusão de que na verdade a tipologia 2, destacou-se em todos os aspectos econômicos e fatores de resistência, com um peso total de apenas 649,24kg. Sendo possível afirmar que a porcentagem de economia entre as tipologias 2 e 3 é de 56%, ou seja, uma diferença relevante. Além de analisar valores numéricos, comprova-se que o projetista e responsável técnico deve sempre realizar comparações entre o pré-dimensionamento e o dimensionamento final, para obter um resultado valioso, quando se tratar da melhor tipologia para um determinado galpão industrial.

PALAVRAS-CHAVE:

Estruturas Metálicas. Vigas treliçadas. Vigas de alma cheia. Galpões Industriais.

ABSTRACT

This work was developed with the objective of analyzing the performance of different metallic structural typologies, adopted in the construction of roofing beams for industrial sheds, seeking to identify which of these is the most economically viable, and presents the best structural efficiency. The use of steel structures has been growing more and more, especially in roofs, since this material, besides being a strong indicator of a country's development, has great constructive advantages, such as saving time. This study can be qualified as being quantitative, based on numerical results of steel rates. With the help of the software "Metálicas 3D", seven types were analyzed: arc truss (typology 1), parallel arc (typology 2), truss (type 3), truss with upper inclined truss (type 4), truss with lower truss (inclination 5), full-width truss (typology 6) and truss beam (typology 7). , the analysis of the pre-dimensioning and the final dimensioning, where first with the technical knowledge and bibliographical research, the initial characteristics of the geometry for the beginning of the calculations were determined, such as the trellis height, the height of the arc, the inclination of the distance between terranes, the profile and the type of steel, finally the resistance of the material, afterwards, launching the structure in the program, the efficiency of each typology was verified: stabilized of global and endorsement approval. In this way, apparently the typology 3, presented better structural performance and lower weight. When analyzing the final sizing, it is concluded that in fact the typology 2, stood out in all economic aspects and resistance factors, with a total weight of only 649.24 kg. It is possible to affirm that the percentage of savings between typologies 2 and 3 is 56%, that is, a relevant difference. In addition to analyzing numerical values, it is proven that the designer and technician must always make comparisons between the pre-dimensioning and the final dimensioning, to obtain a valuable result, when dealing with the best typology for a given industrial warehouse.

KEYWORDS:

Metallic structures. Lattice beams. Full-bodied beams. Industrial Warehouses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ponte Rio-Niterói.....	14
Figura 2 - Estrutura Metálica (Duque de Caxias - RJ)	15
Figura 3 - Esquema de funcionamento do alto-forno	20
Figura 4 - Esquema do Conversor de Oxigênio	21
Figura 5 - Lingoteamento contínuo	21
Figura 6 - Esquemas de laminadores: (a) Seção dos rolos do laminador. (b) Esquema de rolos para laminação de perfil I, com uma altura determinada pela distância entre as chapas fixas. (c) Fases progressivas de laminação do perfil I.....	22
Figura 7 - Diagrama de tensão e deformação de um aço.....	22
Figura 8 - Variação de módulo de elasticidade e resistência com a temperatura.	23
Figura 9 - Tipos de Vigas	25
Figura 10 - Construção de Edifício com Vigas de Alma Cheia	26
Figura 11 - Elementos de uma treliça.....	27
Figura 12- Treliças com banzo superior inclinado.	27
Figura 13 - Ilustração dos espaçamentos s e g entre os furos 1 e 2.....	35
Figura 14 - Fluxograma dos Procedimentos.....	47
Figura 15 - Ábaco para pré-dimensionamento de treliça em arco.....	49
Figura 16 - Recomendação de geometria para Vigas Vagonadas	50
Figura 17 - Tipologia 01	51
Figura 18 - Tipologia 02.....	52
Figura 19 - Tipologia 03.....	52
Figura 20 - Tipologia 04.....	52
Figura 21 - Tipologia 05.....	52
Figura 22 - Tipologia 06.....	53
Figura 23 - Tipologia 07.....	53
Figura 24 - Tipologia 01 – Índice de esbeltez excedido.....	57
Figura 25 - Aprovação de resistência excedida	57
Figura 26 - Tipologia 01 – Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.	58
Figura 27 - Tipologia 02 – Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.	59
Figura 28 - Tipologia 02 – Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.	59
Figura 29 - Tipologia 03 – Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.	60
Figura 30 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.....	61

Figura 31 - Tipologia 04 – Índice de esbeltez excedido.....	62
Figura 32 - Aprovação de resistência do montante/diagonal mais solicitada.....	62
Figura 33 - Tipologia 04 – Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.....	63
Figura 34 - Tipologia 05 – Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.....	64
Figura 35 - Tipologia 05 – Aprovação de resistência do montante/diagonal mais solicitada. .	64
Figura 36 - Tipologia 06 – Aprovação de resistência da seção da viga mais solicitada	65
Figura 37 - Tipologia 07 – Aprovação de resistência da seção do banzo mais solicitado.	67
Figura 38- Tipologia 07 – Aprovação de resistência da seção do montante mais solicitado. ..	67
Figura 39- Tipologia 07 – Indicação do Índice de esbeltez da barra redonda.....	68
Figura 40 - Apresentação de catálogo de perfis para a diagonal mais solicitada.	71
Figura 41 - Apresentação de catálogo de perfis para o banzo mais solicitado.....	72
Figura 42 - Aprovação de resistência da diagonalmais solicitada.....	72
Figura 43 - Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.....	73
Figura 44 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.....	74
Figura 45 - Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.....	74
Figura 46 - Apresentação de catálogo de perfis para a diagonal mais solicitada.	75
Figura 47 - Apresentação de catálogo de perfis para o banzo mais solicitado.....	75
Figura 48 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.....	76
Figura 49- Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.	77
Figura 50 - Apresentação de catálogo de perfis para a diagonal mais solicitada.	77
Figura 51 - Apresentação de catálogo de perfis para o banzo mais solicitado.....	78
Figura 52 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.....	79
Figura 53 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.....	79
Figura 54 - Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.....	80
Figura 55 - Apresentação de catálogo de perfis para a diagonal mais solicitada.	80
Figura 56 - Apresentação de catálogo de perfis para o banzo mais solicitado.....	81
Figura 57 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.....	82
Figura 58 - Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.....	82
Figura 59 - Apresentação de catálogo de perfis para a diagonal mais solicitada.	83
Figura 60 - Apresentação de catálogo de perfis para o banzo mais solicitado.....	83
Figura 61 - Aprovação de resistência da seção da viga mais solicitada.	84
Figura 62 - Apresentação do catálogo de perfis para a seção da viga mais solicitada.	85
Figura 63 - Aprovação de resistência da seção da viga mais solicitada.	86
Figura 64 - Aprovação de resistência da seção do montante mais solicitado.....	86

Figura 65 - Apresentação do catálogo de perfis para a seção da viga mais solicitada.	87
Figura 66 - Apresentação do catálogo de perfis para a seção do montante mais solicitado.	87
Figura 67 - Gráfico dos pesos por tipologia no pré-dimensionamento e no dimensionamento final.	90
Figura 68 - Gráfico do peso das estruturas no dimensionamento final.	90
Figura 69 - Gráfico do Percentual de economia no peso da estrutura entre o pré-dimensionamento e o dimensionamento final.	90
Figura 70 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 01.	90
Figura 71 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 02.	90
Figura 72 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 03.	90
Figura 73 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 04.	90
Figura 74 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 05.	90
Figura 75 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 06.	90
Figura 76 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 07.	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação das Vantagens e Desvantagens das Estruturas Metálicas.....	24
Quadro 2 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 01	56
Quadro 3 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 02	58
Quadro 4 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 03	60
Quadro 5 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 04	61
Quadro 6 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 05	63
Quadro 7 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 06	65
Quadro 8 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 07	66
Quadro 9 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 01.....	73
Quadro 10 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 02.....	76
Quadro 11 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 03.....	78
Quadro 12 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 04.....	81
Quadro 13 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 05.....	84
Quadro 14 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 06.....	85
Quadro 15 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 07.....	88

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Coeficiente de Flambagem por Flexão de Elementos Isolados.....	37
Tabela 2 - Parâmetros referentes ao momento fletor resistente.....	40
Tabela 3 - Nomenclatura e Modelo das Tipologias.....	51
Tabela 4 - Resumo Pré-dimensionamento Tipologia X Peso da Estrutura	69
Tabela 5 - Resumo do Dimensionamento (Tipologia X Peso da Estrutura)	89

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
kg	Quilogramas
cm	Centímetros
mm	Milímetros
kN	Quilo Newtons
a.C.	Antes de Cristo
m	Metros

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS.....	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos.....	17
1.3	METODOLOGIA	18
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	PRODUÇÃO DO AÇO.....	20
2.1.1	Propriedades dos Aços	22
2.1.2	Vantagens e Desvantagens.....	23
2.2	VIGAS.....	24
2.2.1	Conceito Geral	23
2.2.2	Vigas de Alma Cheia	25
2.3	TRELIÇAS.....	26
2.4	CARREGAMENTOS	27
2.4.1	Ações Permanentes.....	28
2.4.1.1	Permanentes Diretas	28
2.4.1.1	Permanentes Indiretas.....	28
2.4.2	Cargas Acidentais.....	28
2.4.3	Ações Variáveis.....	29
2.5	DEFINIÇÕES.....	29
2.5.1	Barlavento	29
2.5.2	Sobrepessão	29
2.5.3	Sotavento	29
2.5.4	Sucção	29
2.5.5	Superfície Frontal.....	29
2.5.6	Vento Básico.....	30
2.5.7	Determinação das forças estáticas devidas ao vento	30
2.5.7.1	Fator V_0	30
2.5.7.2	Fator S_1	30

2.5.7.3	Fator S_2	30
2.5.7.4	Fator S_3	31
2.5.7.5	Coeficientes de Pressão.....	31
2.6	PROPRIEDADES MECÂNICAS GERAIS.....	32
2.7	COMBINAÇÕES DE AÇÕES.....	32
2.7.1	Combinações Últimas	32
2.7.1.1	Combinações Últimas Normais.....	32
2.7.1.2	Combinações Últimas Especiais.....	33
2.7.1.3	Combinações Últimas de Construção.....	33
2.7.1.4	Combinações Últimas Excepcionais.....	34
2.8	DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	34
2.8.1	Peças Tracionadas	34
2.8.2	Peças Comprimidas	35
2.8.2.1	Fator de redução associado à flambagem local (Q).....	36
2.8.2.2	Fator de redução associado à resistência à compressão (X).....	36
2.8.3	Peças Cisalhadas e Flexionadas	37
2.8.3.1	Deslocamento.....	38
2.8.3.2	Verificar a peça quanto ao cisalhamento segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008).....	38
2.8.3.3	Verificação quanto ao momento resistente.....	40
2.8.4	Flambagem Lateral na Mesa (FLM)	42
2.8.5	Flambagem Lateral na Alma (FLA)	43
2.8.6	Flambagem Lateral com Torção (FLT)	44
2.8.7	Verificação quanto a Flexão Composta	45
3	PROCEDIMENTOS E DIMENSIONAMENTO	47
3.1	CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO.....	47
3.2	PLANEJAMENTO DA PESQUISA.....	47
3.3	FLUXOGRAMA DOS PROCEDIMENTOS.....	47
3.4	APRESENTAÇÃO DAS TIPOLOGIAS.....	48
3.4.1	Altura da treliça em duas águas (A)	48
3.4.2	Altura do Arco (B)	49
3.4.3	Inclinação da Cobertura (C)	49
3.4.4	Distância entre Terças (D)	50
3.4.5	Definições para Vigas Vagonadas	50

3.5	MODELAGEM NO AUTOCAD.....	51
4	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS	54
4.1	CÁLCULOS INICIAIS	54
4.2	EXPORTAÇÃO DAS TIPOLOGIAS PARA O SOFTWARE	54
4.3	PRÉ-DIMENSIONAMENTO.....	54
4.3.1	Tipologias 01 a 05	54
4.3.1.1	Diagonais e Montantes (2 X L 45x45x4mm).....	55
4.3.1.2	Banzos (UPE 200).....	55
4.3.2	Tipologia 06 e 07.....	55
4.3.2.1	Montantes (2 X UPE 80).....	55
4.3.2.2	Banzos (IPE 400).....	55
4.4	ANÁLISE DO PESO E DA EFICIÊNCIA DAS TIPOLOGIAS	56
4.4.1	Tipologia 01 – Treliça em Arco	56
4.4.2	Tipologia 02 – Arco Paralelo	58
4.4.3	Tipologia 03 – Treliça Banzo Paralelo.....	60
4.4.4	Tipologia 04 – Treliça Banzo Superior Inclinado	61
4.4.5	Tipologia 05 – Treliça Banzo Inferior Inclinado	63
4.4.6	Tipologia 06 – Viga de Alma Cheia	65
4.4.7	Tipologia 07 – Viga Vagonada	66
4.5	RESUMO DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO	68
5	DIMENSIONAMENTO / REFINAMENTO ESTRUTURAL.....	70
5.1	DIMENSIONAMENTO	70
5.1.1	Dimensionamento Tipologia 01.....	71
5.1.2	Dimensionamento Tipologia 02.....	74
5.1.3	Dimensionamento Tipologia 03.....	76
5.1.4	Dimensionamento Tipologia 04.....	79
5.1.5	Dimensionamento Tipologia 05.....	82
5.1.6	Dimensionamento Tipologia 06.....	84
5.1.7	Dimensionamento Tipologia 07.....	85
5.2	RESUMO DO DIMENSIONAMENTO.....	88

6	ANÁLISE DOS RESULTADOS FINAIS	90
6.1	PESO TOTAL DAS ESTRUTURAS	90
6.2	PERCENTUAL DE ECONOMIA COM RELAÇÃO AO PESO.....	91
6.3	EFICIÊNCIA TOTAL DA ESTRUTURA POR GRUPO DE ELEMENTOS	92
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96

REFERÊNCIAS

APÊNDICE A– Cálculo das Pressões Dinâmicas Devido às Cargas de Vento

APÊNDICE B – Cálculo das solicitações dos esforços axiais de tração, compressão, momento fletor e cortante

ANEXO A–Tabela 1 da NBR 6120 (ABNT, 1980)

ANEXO B – Figura 1 da NBR 6123 (ABNT, 1988)

ANEXO C – Tabela 2 da NBR 6123 (ABNT, 1988)

ANEXO D – Tabela 3 da NBR 6123 (ABNT, 1988)

ANEXO E – Anexo B da NBR 6123 (ABNT, 1988)

ANEXO F – Tabela C.1 da NBR 8800 (ABNT, 2008)

ANEXO G – Tabela F.1 da NBR 8800 (ABNT, 2008)

1 INTRODUÇÃO

Existem algumas evidências do surgimento do ferro, que data de 6 mil anos A.C., no Egito e na Babilônia, por ser um material nobre para a época foi muito utilizado para fins militares. No século XIX, com o início da industrialização este elemento, aproveitado em países como França, Alemanha e Inglaterra, as fábricas começaram a desenvolver técnicas para conformação, como a laminação de pranchas e os perfis de seção I de ferro forjável, que ainda hoje é uma das peças mais usadas nas construções em aço. (BREUNIG, 2008)

Em 1779, a ponte sobre o rio Severn na Inglaterra foi à primeira construção em aço, que existe até os dias atuais, feita por um arco de elementos de ferro fundido, com um vão de 42m. Muitos anos depois, o primeiro prédio com múltiplos andares em aço, foi construído em Paris por Jules Saulnier, nesse mesmo período desenvolveram o sistema de contraventamento.

Na década de 20, com a criação da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, a utilização do aço iniciou no Brasil, onde a produção ficou bem perto de 35 mil toneladas. A fabricação de chapas, trilhos e perfis nas bitolas americanas, foi iniciada em 1940 com a criação da Comissão Executiva do Plano Siderúrgico Nacional. Outras empresas como Usiminas, Cosipa e Gerdau, foram surgindo anos depois. A produção de aço se dava em larga escala, no ano de 1970, por este motivo o produto começou a ser exportado do país, pelo fato de não ter consumidores internos suficientes para atender a oferta.

Com o desenvolvimento rápido de novas tecnologias na construção civil, no Brasil, deve-se citar a Ponte Rio-Niterói (Figura 1), que foi feita de uma estrutura mista e que possui vãos laterais de 200m e vão central de 300m, como uma estrutura metálica de forma funcional e arrojada, sendo considerado um verdadeiro triunfo na construção do país. (BREUNIG, 2008)

Figura 1 - Ponte Rio-Niterói



Fonte: Rio, 2015.

Muito se tem discutido, acerca da utilização do aço em projetos de galpões industriais (Figura 2), principalmente na estrutura da cobertura. A sua produção é um forte indicador do nível de desenvolvimento econômico de um país, o consumo cresce proporcionalmente à execução de obras públicas, instalação de meios de comunicação, produção de equipamentos e construção de edifícios. Quando se trata da economia de um país, vale a pena investir em pesquisas sobre tal material, desempenho e viabilidade econômica. A viabilidade econômica tem relação direta com os recursos financeiros disponibilizados para a realização de um projeto estrutural. O estudo de desempenho e viabilidade de um determinado projeto é feito para minimizar a margem de erro, uma vez que todas as circunstâncias vinculadas a ele são investigadas rigorosamente.

Os galpões ou edifícios industriais são construções em aço geralmente de um único pavimento, constituídos de sistemas estruturais compostos por pórticos regularmente espaçados, com cobertura superior apoiada em sistemas de terças e vigas ou tesouras e treliças, com grandes áreas cobertas e destinadas para uso comercial (lojas, estacionamentos, centros de distribuição, entre outros), uso industrial, agrícola ou outras aplicações. (IABr/CBCA, 2010)

Figura 2 - Estrutura Metálica (Duque de Caxias - RJ)



Fonte: Rio, 2015.

Na elaboração de um projeto, a qualidade e a manutenção da vida útil, deve ser fator de análise, onde se deve definir primeiramente a altura, largura e comprimento que são a configuração dimensional volumétrica do galpão. Com essas dimensões determinadas a partir da função do tipo de uso que se dará à edificação, neste caso um pavilhão industrial, é vantajoso também definir as aberturas fixas e móveis. No dimensionamento do projeto a inclinação da cobertura é determinada pelo tipo de telha a ser utilizada, por exemplo, telhas STANDARD.

Além disso, a análise do local da obra deve ser realizada para avaliar a topografia e o tamanho dos obstáculos nas redondezas. Esses fatores definirão de maneira mais adequada as ações devidas ao vento. Os carregamentos sobre a estrutura devem ser analisados. Além dos pesos próprios dos materiais da estrutura, das lâminas da cobertura, luminárias, devem ser consideradas todas as cargas acidentais que atuarão ao longo da vida útil.

Existe uma combinação entre como projetar, calcular, fabricar, transportar e montar uma estrutura de aço, que fornece a solução mais econômica e mais eficiente, porém deve ser estudada integrada a todas essas fases do projeto, desde a concepção até a sua manutenção para atingir a vida útil esperada. (IABr/CBCA, 2010)

Segundo Pereira (2007), nos dias atuais é muito comum utilizar estruturas treliçadas em projetos de grandes construções. Estas estruturas são bastante utilizadas em situações onde deseja-se obter uma estrutura leve, mas com elevada resistência.

Treliças são estruturas constituídas, basicamente, por barras retas unidas apenas pelas extremidades, através de nós articulados. Como os esforços são aplicados apenas nesses nós, somente esforços axiais de tração e compressão atuam nas barras. Na prática, os nós raramente são rotulados, sendo as barras conectadas através de rebites, parafusos ou soldas.

Para uma mesma situação de vão e carregamento, há inúmeras formas de se dispor as barras na treliça de forma eficaz, e o projetista o fará baseado em sua habilidade, experiência e intuição. Contudo, como ressalta Ribeiro (2008), esse processo nem sempre é o mais satisfatório. Primeiramente, devido às falhas humanas e, conseqüentemente, por não apresentar garantias de que a solução encontrada seja a melhor do ponto de vista econômico.

Fonseca (2007) reforça essa ideia, afirmando que encontrar a melhor solução pelo método da tentativa e do erro é praticamente impossível.

O cenário atual da engenharia é de extrema competitividade e, para um profissional obter vantagem no mercado, é necessário que seus projetos cumpram os requisitos de desempenho e segurança com um custo menor que os concorrentes, buscando-se uma maior eficiência das estruturas. No caso das treliças, que são estruturas de execução fácil e rápida, o custo mais baixo será em função do menor peso da estrutura, proporcionado por um menor consumo de material.

Uma maneira prática e relativamente rápida de se obter esse importante grau de economia é lançar mão de técnicas de otimização estrutural, uma ferramenta matemática e computacional que pode ser bastante útil para identificar as melhores soluções para um determinado problema.

Diante do contexto histórico e das colocações expostas acima, abre-se o questionamento: Qual a formulação tipológica que se pode utilizar para a mais viável estrutura de cobertura em duas águas, a ser escolhida no dimensionamento das estruturas em aço de vigas de alma cheia e treliçadas na arquitetura de um pavilhão industrial sem ponte rolante?

1.1 JUSTIFICATIVA

Este estudo visa dar um auxílio aos novos ingressantes no mercado da construção civil, mais especificamente, engenheiros calculistas da área de metálicas. Com a finalidade de que esses engenheiros possam decidir de forma rápida, quando solicitados para executar projetos de coberturas com vigas treliçadas ou de alma cheia.

Atualmente a principal preocupação, quando se fala em construir, é o fator financeiro. Em contrapartida a melhor aplicabilidade aliada à competência da estrutura. Com a definição do projeto arquitetônico, deve-se analisar qual modelo estrutural, dentro das normas construtivas impostas pelo projeto, possui a melhor eficiência, observando sempre a exigência da economia como fator decisivo na execução do projeto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é analisar o desempenho de diferentes tipologias estruturais metálicas, adotadas na construção de vigas de coberturas para galpões industriais, buscando identificar qual dessas é a mais viável economicamente, e apresenta melhor eficiência estrutural.

1.2.2 Objetivos específicos

- Utilizar um galpão industrial Pré-dimensionado, sem ponte rolante, na região centro-oeste e analisar o desempenho das diferentes tipologias estruturais metálicas da cobertura em duas águas e em arco com telhas STANDARD;

- Verificar, a existência de deslocamentos excessivos e índices de esbeltez elevados, nas diversas tipologias mencionadas;
- Avaliar o consumo de aço da estrutura mais viável para análise financeira;
- Comparar os resultados obtidos em vigas treliçadas e vigas de alma cheia.

1.3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos esperados, será realizada uma pesquisa bibliográfica em literaturas específicas de estruturas metálicas, normas técnicas, sites, periódicos, notas de aulas, dissertações e catálogos técnicos de fornecedores.

Concluída a etapa de pesquisa, o Software Metálicas 3D, será utilizado para análise e dimensionamento de um galpão industrial, mantendo as condições de dimensionamento, alterando apenas a tipologia.

O pavilhão industrial pré-dimensionado possui 26m de largura, por 100m de comprimento, seus pilares são de concreto armado, no Apêndice A, consta a arquitetura desenvolvida no AUTOCAD.

Os resultados finais serão apresentados em gráficos e tabelas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O corpo desta pesquisa foi organizado em sete capítulos. O primeiro capítulo descreve um contexto histórico sobre o surgimento do ferro, que é matéria-prima do aço. Também são destacados alguns conceitos sobre treliças e vigas de alma cheia referenciando os autores, ressaltando também as vantagens da utilização de estruturas metálicas nos dias atuais. Ainda nesse capítulo foi apresentada a justificativa, os objetivos e a metodologia que fundamentaram este trabalho de conclusão de curso.

No início do segundo capítulo “Referencial Teórico”, observa-se conceitos de aço, vigas, e treliças, também com as vantagens e desvantagens. Tem-se neste nível de pesquisa, uma abordagem bem sucinta de itens da NBR 8800 (ABNT, 2008), NBR 6123 (ABNT, 1988) e NBR 6120 (ABNT, 1980), necessários para a compreensão de boa parte do trabalho, onde está explícito sobre carregamentos, ações, definições, forças de vento, propriedades do aço, combinação de ações. Ao final, este capítulo enfatiza o dimensionamento dos elementos estruturais com todos os seus subitens, como o momento fletor e de esforço cortante.

No capítulo três, a parte inicial é uma abordagem sobre os procedimentos no dimensionamento das peças estruturais, onde é detalhado sobre a altura da treliça, a sua inclinação, a distância entre as terças e algumas definições para dimensionar viga vagonada.

A seguir, já no capítulo quatro, tem-se o pré-dimensionamento de cada uma das tipologias em estudo. Além de uma avaliação inicial dos resultados obtidos com a análise das peças.

No capítulo cinco, avalia-se o que não está de acordo no pré-dimensionamento, fazendo um refinamento estrutural e verificação tipologia a tipologia, para obter um resultado final.

A análise final dos resultados alcançados no decorrer da pesquisa, é verificada na seção seis, onde finalmente é designada qual é a melhor tipologia com menor peso e maior eficiência global.

O capítulo sete apresenta as considerações finais onde foram analisados e ponderados os resultados adquiridos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

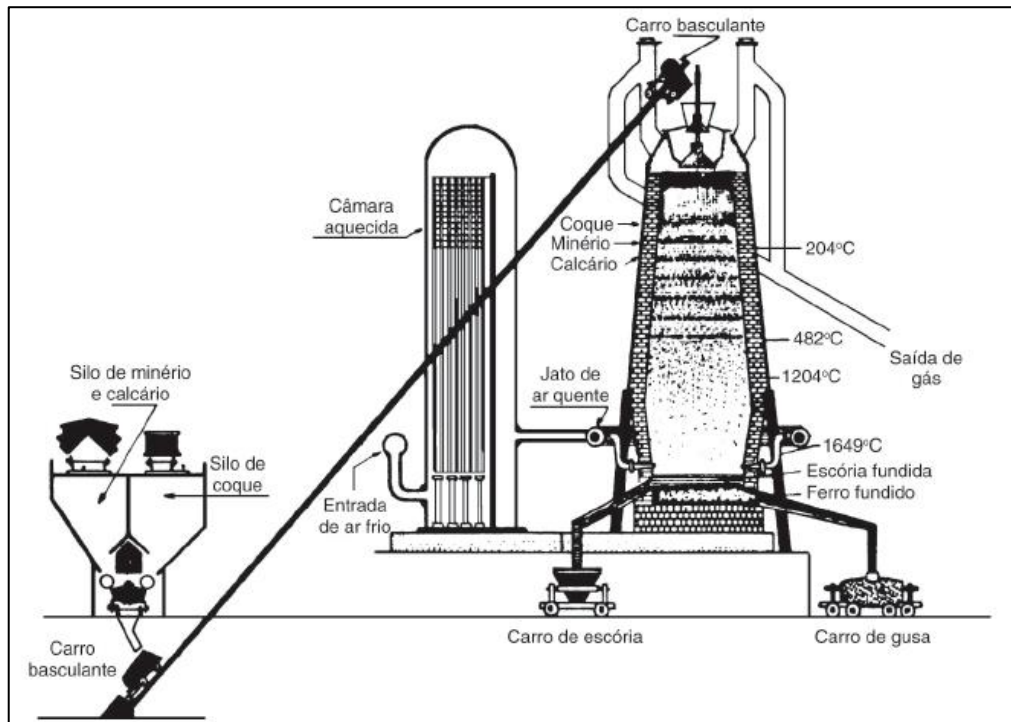
2.1 PRODUÇÃO DO AÇO

Pfeil (2014) considera que as formas mais usuais de metais ferrosos são o aço, o ferro fundido e o ferro forjado, sendo o aço, atualmente, o mais significativo dos três. Ductibilidade, homogeneidade, soldabilidade e resistência são uma das mais importantes propriedades requeridas pela construção civil, quando se trata da utilização do aço que é uma liga metálica composta de ferro com pequenas quantidades de carbono.

De acordo com Chiaverini (1996, p.21) "O aço é a liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes dos processos de fabricação".

Em função da presença, na composição química, de elementos de liga e do teor de elementos residuais, os aços são classificados em aços-carbono, que contêm teores normais de elementos residuais, e em aços-liga, que são aços-carbono acrescidos de elementos de liga ou apresentando altos teores de elementos residuais. (PFEIL,2014)

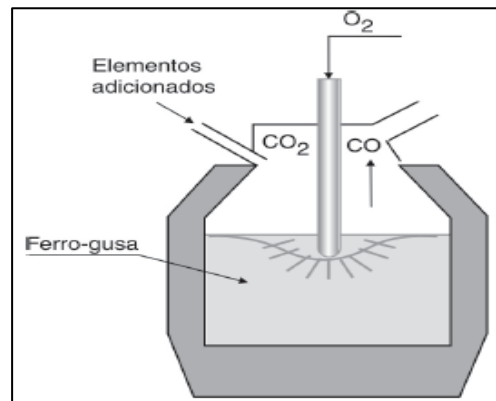
Figura 3 - Esquema de funcionamento do alto-forno



Fonte: PFEIL, 2014.

A respeito da produção do aço, uma das formas mais usuais, é feita através da fundição do ferro em alto-forno (Figura 3) que é um reator metalúrgico de contra corrente, baseado no fato de que o silício indesejável e outras impurezas são mais leves do que o ferro fundido, seu produto principal, designado por ferro gusa, ele é construído na forma semelhante a uma chaminé, numa estrutura alta feita com tijolos refratários, o coque, a pedra calcária e o minério de ferro (óxido de ferro) são inseridos no topo. O ar chega pela base, este fornecimento de ar permite a combustão do combustível no seu interior. Isto reduz o óxido a metal que, sendo mais denso, se concentra na parte inferior do forno. Após a fundição ocorre o posterior refinamento em aço no conversor de oxigênio (Figura 4), que remove o excesso de carbono e reduz a quantidade de impurezas a limites prefixados. O aço também passa pelo tratamento na panela.

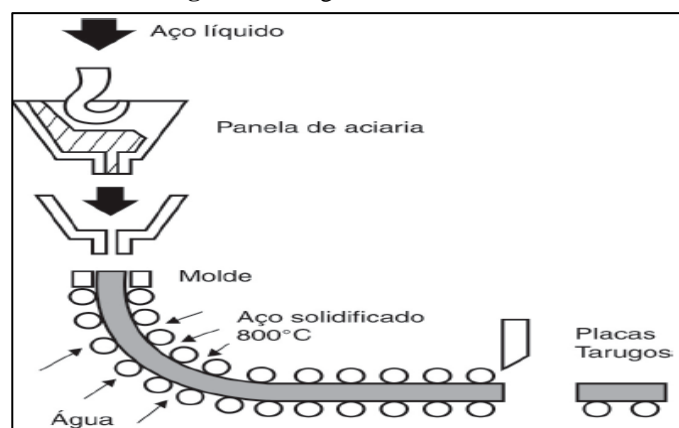
Figura 4 - Esquema do Conversor de Oxigênio



Fonte: PFEIL, 2014.

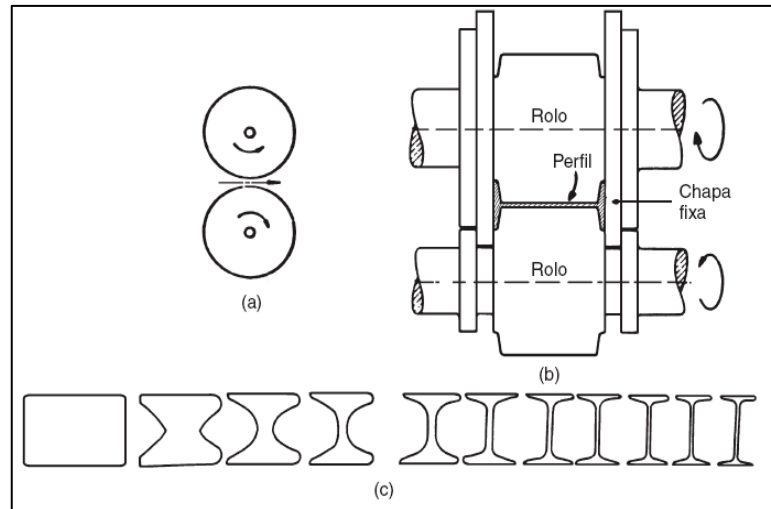
Na figura 3, tem-se o lingoteamento contínuo que antecede, o processo de laminação (Figuras 5 e 6) no qual o aço é transformado nos principais produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de construção, a saber, chapas e perfis laminados. O tratamento térmico é a última etapa da produção do material que estará disponível para comercialização.

Figura 5 - Lingoteamento contínuo



Fonte: PFEIL, 2014.

Figura 6 - Esquemas de laminadores: (a) Seção dos rolos do laminador. (b) Esquema de rolos para laminação de perfil I, com uma altura determinada pela distância entre as chapas fixas. (c) Fases progressivas de laminação do perfil I.

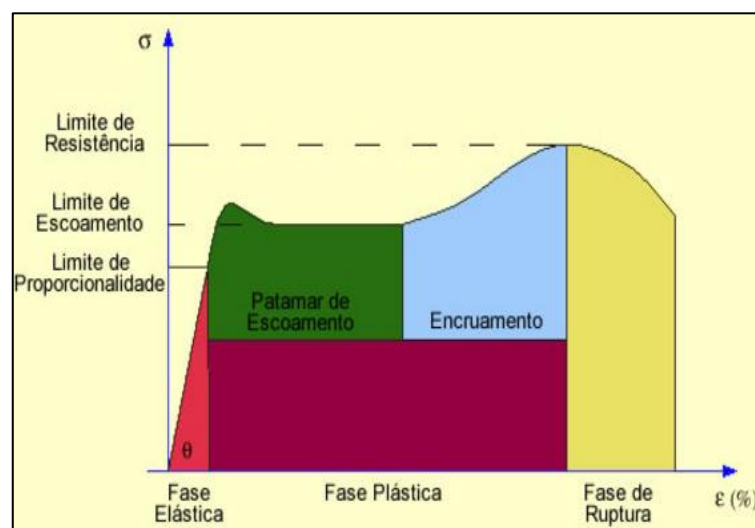


Fonte: PFEIL, 2014.

2.1.1 Propriedades dos Aços

Dias (2006), define as propriedades mecânicas do aço, pelo seu limite de escoamento e resistência, pela sua elasticidade, plasticidade, ductibilidade e tenacidade. O limite de escoamento e resistência está relacionado com o diagrama de tensão-deformação (Ensaio de Tração) do aço (Figura 7).

Figura 7 - Diagrama de tensão e deformação de um aço.



Fonte: PFEIL, 2014.

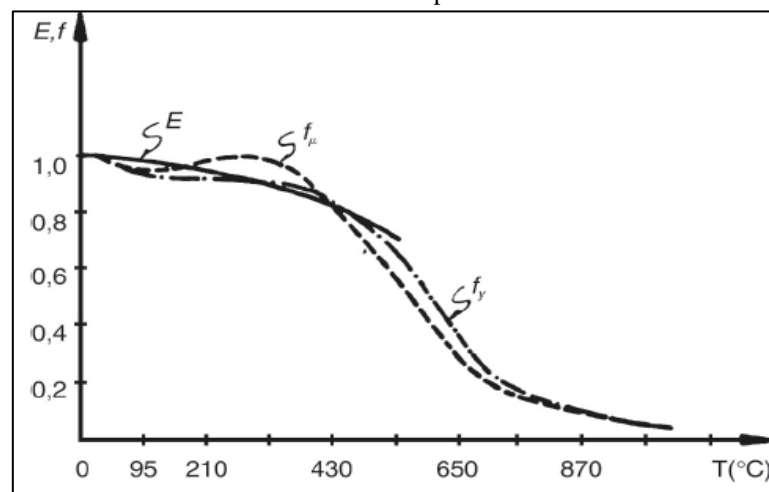
“A elasticidade é a capacidade de um material voltar a sua forma original após sucessivos ciclos de carga e descarga”. (ROSSATO, 2015)

Para Dias (2006) na plasticidade tem-se uma deformação permanente do aço, refletida pela tensão do limite de escoamento ou superior, alterando assim, toda estrutura interna do material. Quando o aço se deforma plasticamente sem que haja ruptura, verifica-se grande ductibilidade neste material, sendo esta uma das propriedades mais desejadas, já que constitui um aviso da presença de elevadas tensões. A tenacidade é um mecanismo no qual o material absorve tanto energia elástica como plástica por unidade de volume até a sua ruptura.

Tais propriedades podem ser modificadas de acordo com os elementos de liga que fazem parte da composição química do aço analisado.

Pfeil (2014) complementa as propriedades mecânicas do aço considerando também: a fragilidade do aço, sua dureza, seu efeito de temperatura elevada, a fadiga (Figura 8) e a corrosão.

Figura 8 - Variação de módulo de elasticidade e resistência com a temperatura.



Fonte: PFEIL, 2014.

2.1.2 Vantagens e Desvantagens

O aço estrutural possui grandes vantagens quando utilizado em construções, as desvantagens são muito poucas, quando comparadas com seus benefícios. Em seus escritos, Pfeil (2014) cita vantagens e desvantagens deste material, conforme observa-se no quadro 1.

Quadro 1 - Relação das Vantagens e Desvantagens das Estruturas Metálicas

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Quando submetido aos diversos estados de solicitações (tração, compressão, flexão e etc.), o aço possui alta resistência, permitindo que o mesmo suporte grandes esforços, com pequenas peças de perfis.	Problemas com meios de transportes, gerando altos custos desde a fabricação até a montagem do produto final.
Estruturas mais leves, possibilidade de infraestruturas menos dispendiosas, devido a sua massa específica estar na ordem de 78,50 KN/m ³ .	Tratamento superficial de peças estruturais contra oxidação, devido ao contato com o ar.
Grande margem de segurança, devido ao processo de fabricação que proporciona um material único e homogêneo, além de possuir limites de escoamento e módulo de elasticidade definidos.	Necessidade de mão-de-obra e equipamentos especializados para a fabricação e montagem.
Montagem mecanizada, prazos mais curtos de execução de obras, pelo elemento estrutural ser fabricado em oficinas especializadas.	Limitação, em algumas ocasiões, na disponibilidade de perfis estruturais, sendo sempre aconselhável antes do início de projetos estruturais, verificar junto ao mercado fornecedor, os perfis que possam estar em falta.
Possível desmontagem da estrutura para reaproveitamento de peças em outros locais.	-
Possibilidade de substituição de perfis, quando houver necessidade de estruturas com maior capacidade de cargas.	-

Fonte: Autores, 2017.

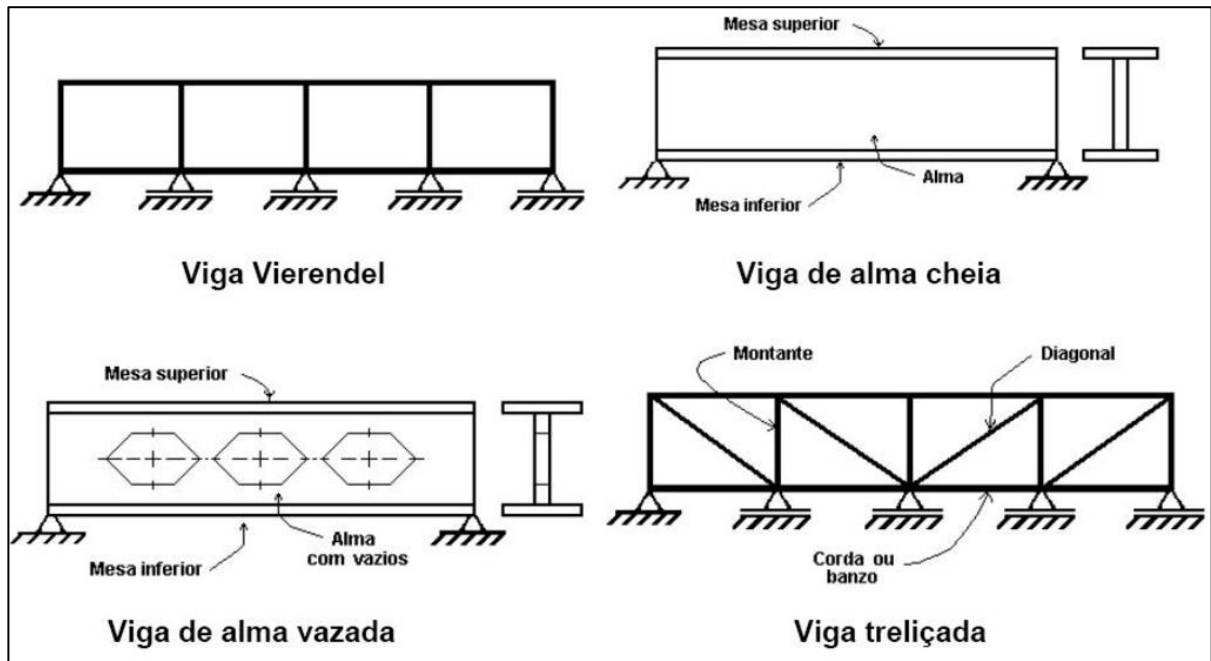
2.2 VIGAS

2.2.1 Conceito geral

As vigas são elementos estruturais rígidos, de alma cheia ou vazada, destinadas a transferir solicitações normais aos seus eixos longitudinais em direção a seus pontos de apoio através do mecanismo de flexão. Enquanto a redução de 50% do vão a ser vencido pela viga reduz pela metade os esforços de flexão, a duplicação de sua altura multiplica por 4 (quatro)

sua resistência. A tensão de tração ou compressão de um ponto qualquer de seção de uma barra, é função do momento fletor, da distância do ponto ao eixo da barra (linha neutra) e de uma quantidade denominada momento de inércia, que mede o afastamento das áreas em relação a um eixo que passa pelo centro da peça. Podem ser: biapoiadas ou contínuas, com ou sem balanço. Existem alguns tipos de vigas, conforme a figura 9 tem-se: a viga Vierendel, viga de alma cheia, viga de alma vazada e viga treliçada.

Figura 9 - Tipos de Vigas



Fonte: Dicionário Ilustrado, 2010.

2.2.2 Vigas de Alma Cheia

As vigas que não possuem vazios em sua alma são chamadas de vigas de alma cheia, onde a alma é um fragmento de sua seção vertical. Esta viga está sujeita a dois esforços: momento fletor e força cortante. Consequentemente, por apresentar momento fletor, que é o esforço mais desfavorável na hierarquia dos esforços, a viga é o sistema estrutural que requer maior utilização de material e grande resistência.

A viga permite soluções que tornam os espaços mais aproveitáveis, assim sua frequente utilização, principalmente como elemento de sustentação de pisos. Os vãos vencidos pela viga de alma cheia são bem menores do que aqueles vencidos pelo cabo e pelo arco. (REBELLO, 2000)

Figura 10 - Construção de Edifício com Vigas de Alma Cheia



Fonte: Metalenge Aço e Estruturas LTDA, 2008.

Estas vigas são formadas por duas mesas paralelas e uma alma (figura 10), preferencialmente soldadas. Adequadas para vãos em torno de 10m, do ponto de vista econômico, porque podem vencer vãos acima de 25m. Sua largura estimada é de 50% da altura.

2.3 TRELIÇAS

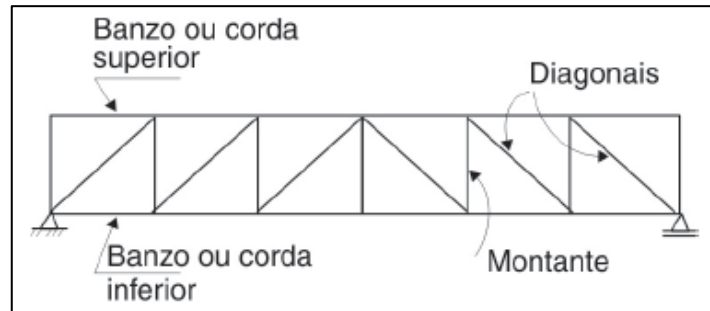
A viga triangulada não permite esbelteza tão grande como a viga de alma cheia, mas permite diminuição de peso e aumento do vão, existindo hoje vigas de pontes metálicas com 500 metros de vão. Essa triangulação é uma disposição especialmente apta para elementos que terão que trabalhar com a flexão. Uma utilização adequada das vigas treliçadas compreende vão entre 12 e 100 metros.

O sistema treliçado metálico é muito utilizado para um melhor desenvolvimento da cobertura dos edifícios industriais.

“As treliças são constituídas de segmentos de hastes, unidos em pontos denominados *nós*, formando uma configuração geométrica estável, de base triangular, que pode ser isostática (estaticamente determinada) ou hiperestática (estaticamente indeterminada).” (PFEIL,2014)

Para Pfeil (2014), as treliças são muito convenientes, devido a sua produção em segmentos limitados do seu comprimento. Na figura 11, pode-se observar a nomenclatura dos elementos que constituem a treliça plana.

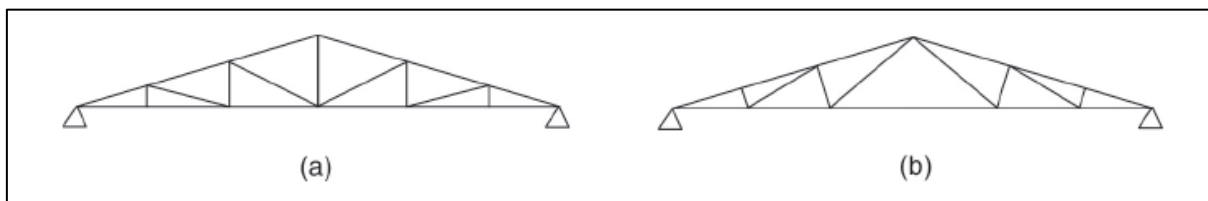
Figura 11 - Elementos de uma treliça



Fonte: PFEIL,2014.

Em geral, para as coberturas são utilizadas treliças com banzo superior inclinado. Na figura 12a observa-se as diagonais comprimidas e os montantes tracionados para cargas de gravidade. Para eficácia financeira, o esquema da figura 12b é uma melhor opção, pelo fato das peças comprimidas (usuais aos banzos superiores) serem mais curtas. (PFEIL,2014)

Figura 12- Treliças com banzo superior inclinado.



Fonte: PFEIL,2014.

2.4 CARREGAMENTOS

De acordo com a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), os carregamentos ou ações como assim descrita na norma, são os valores das cargas a serem utilizadas sobre o modelo estrutural para o dimensionamento nos estado-limites últimos e de serviço dos elementos que compõe o projeto de estrutura das edificações.

Tais carregamentos podem ser descritos como ações permanentes, ações variáveis e ações acidentais.

2.4.1 Ações Permanentes

Conforme NBR 8800 (ABNT, 2008), as ações permanentes são classificadas como diretas e indiretas, sendo os carregamentos ocasionados na estrutura durante toda a sua via útil, podendo também ser classificadas como permanentes os carregamentos com valores crescentes ao passar do tempo.

2.4.1.1 Permanentes diretas

Estas ações conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008), são os valores denominados ao próprio peso dos elementos estruturais e dos materiais e instalações utilizadas para a construção da edificação. No Anexo A, é possível obter valores dos elementos de construção utilizados nas edificações. Na ausência de materiais frequentes na tabela, pode-se partir de modelos experimentais e testes, utilizar-se de valores obtidos nos experimentos no cálculo do modelo estrutural.

2.4.1.2 Permanentes indiretas

São os valores segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), denominados devido a deformações da edificação e em função do concreto, devido ao fenômeno de movimentação do concreto a retração e dilatação, deslocamentos e recalques dos apoios da estrutura.

2.4.2 Cargas Acidentais

De acordo com a norma NBR 6120 (ABNT, 1980), classificam-se como cargas acidentais, os carregamentos sobre o piso ou cobertura devido ao tipo do uso da edificação ou ambiente, ou seja, as cargas atuantes sobre a estrutura. Podem-se obter estes valores em função de estudos estatísticos e do tipo de mobílias e quantidade de pessoas ou automóveis que ocupa tais tipos de edificações e/ou ambientes. A norma também prevê que se faz necessário considerar no modelo de cálculo dos elementos isolados de cobertura (ripas, terças e barras de banzos superiores de treliças), 1kN na região mais desfavorável além da carga permanente, simulando a sobrecarga de um operário durante o período de montagem da estrutura ou cobertura.

2.4.3 Ações Variáveis

Denominadas segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), como variáveis são as ações influenciadas devido ao tipo e uso da edificação e as cargas por pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas causadas por pressões devido ao vento na superfície e internamente a edificação.

As ações variáveis devido ao vento são as cargas prescritas pela norma NBR 6123 (ABNT, 1988) FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES, onde calcula-se as ações estáticas e dinâmicas do vento com efeitos nas edificações comuns.

2.5 DEFINIÇÕES

As definições a seguir estão conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988).

2.5.1 Barlavento

“Regiões de onde sopra o vento, em relação à edificação”.

2.5.2 Sobrepressão

“Pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência (sinal positivo)”.

2.5.3 Sotavento

“Região oposta àquela de onde sopra o vento, em relação à edificação”.

2.5.4 Sucção

“Pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de referência (sinal negativo)”.

2.5.5 Superfície frontal

“Superfície definida pela projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento (superfície de sombra)”.

2.5.6 Vento básico

“Vento a que corresponde à velocidade básica V_0 ”.

2.5.7 Determinação das forças estáticas devidas ao vento

A força estática devida ao vento é determinada por fatores V_0 , S_1 , S_2 e S_3 , cujas características são determinadas pelos valores da velocidade básica devida ao vento, rugosidade do terreno em função do tipo do terreno e quanto à existência de taludes, morros e ou planícies nas proximidades da edificação, rugosidade do terreno em função das dimensões da edificação sobre o terreno e valores estatísticos em função do uso da edificação respectivamente. Segundo a norma NBR 6123 (ABNT, 1988), os produtos dos fatores V_0 , S_1 , S_2 e S_3 denominam-se como a velocidade característica do vento (V_k) para a parte da edificação.

2.5.7.1 Fator V_0

O fator V_0 descrito na norma NBR 6123 (ABNT, 1988), é denominado como a velocidade básica do vento a uma rajada de 3s, no qual ocorre a cada 50 anos em média a uma altura de 10m acima da cota zero do terreno. Tal valor pode ser obtido através da análise do Anexo B.

2.5.7.2 Fator S_1

Este fator é considerado pelas diferentes variações do relevo do terreno em torno da edificação, sendo classificados em duas categorias conforme a norma NBR 6123 (ABNT, 1988), sendo elas devida ao terreno plano o fracamente acidentado, obtendo o valor $S_1 = 1,0$ e terrenos compostos por talude e morros.

2.5.7.3 Fator S_2

Considera-se o fator S_2 , como sendo a variação da velocidade do vento com as dimensões da edificação em função da altura acima da cota zero do terreno e a característica

do terreno que circunda a edificação. No anexo C, é possível visualizar o valor de S_2 em função da Categoria e Classificação da edificação.

2.5.7.4 Fator S_3

Conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988), é descrito como o fator fundamentado com base em estudos estatísticos considerando o grau de segurança requerido à vida útil da edificação. Tais valores podem ser obtidos pelo Anexo D. O valor de S_3 (Anexo E) é fornecido para diferentes níveis de estatísticas e intervalos de tempo de exposição da superfície da edificação aos esforços de ações variáveis devido ao vento.

Conforme o descrito nesta mesma norma, o valor da velocidade característica do vento é o produto dos fatores S_1 , S_2 e S_3 , sendo possível determinar a pressão dinâmica (q) pela expressão (1):

$$q=0,613.Vk^2 \quad (1)$$

2.5.7.5 Coeficientes de pressão

A NBR 6123 (ABNT, 1988), cita que o valor do vetor de força do vento sobre as superfícies da edificação depende diretamente da diferença das pressões externas com as internas, denominadas por C_{pe} e C_{pi} respectivamente multiplicadas pela velocidade característica do vento (q) descrita pela fórmula (1).

- Os coeficientes de pressão e de forma, externos: São coeficientes cujos dados são obtidos pelos valores das tabelas 4 a 8 e dos Anexos E e F da norma NBR 6123 (ABNT, 1988).
- Os Coeficientes de pressão e de forma, internos: “O índice de permeabilidade de uma parte da edificação é definido pela relação entre a área das aberturas e a área total desta parte”. Pode-se obter também pela leitura da norma os diferentes valores para C_{pi} em diversas situações da direção do ventos em função da áreas de aberturas e permeabilidade do vento internamento a edificação.

2.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS GERAIS

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008) Para efeito de cálculo devem ser adotados, para os aços aqui relacionados, os seguintes valores de propriedades mecânicas:

- a) módulo de elasticidade, $E = E_a = 200.000 \text{ MPa}$;
- b) coeficiente de Poisson, $\nu_a = 0,3$;
- c) módulo de elasticidade transversal, $G = 77000 \text{ MPa}$;
- d) coeficiente de dilatação térmica, $\beta_a = 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;
- e) massa específica, $\rho_a = 7\ 850 \text{ kg/m}^3$.

2.7 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

As combinações são descritas conforme consta na NBR 8800 (ABNT, 2008).

“Um carregamento é definido pela combinação das ações que tem probabilidades não desprezáveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido”.

2.7.1 Combinações Últimas

São classificadas como normal, especial, de construção e excepcional.

2.7.1.1 Combinações últimas normais

Estas combinações de acordo com a norma decorrem do uso previsto para o tipo da edificação. Para cada combinação, aplica-se a seguinte expressão (2):

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \Psi_{0j,ef} F_{Qj,k}) \quad (2)$$

onde:

$F_{Gi,k}$ representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$ representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

2.7.1.2 Combinações últimas especiais

Estas ações ocorrem devido à aplicação das ações variáveis em uma intensidade especial sobre a edificação no qual supera as ações ocasionadas pelas combinações normais. Estes tipos de carregamentos especiais são temporários com um período de tempo muito pequeno com relação ao tempo de vida útil da edificação.

Para as combinações últimas especiais aplica-se a seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} \cdot F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \Psi_{0j,ef} F_{Qj,k}) \quad (3)$$

onde:

$F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável especial;

$\Psi_{0j,ef}$ representa os fatores de combinação efetivos de cada uma das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável especial F_{Q1} .

Os fatores $\Psi_{0j,ef}$ são iguais aos fatores Ψ_{0j} adotados nas combinações normais, salvo quando a ação variável especial F_{Q1} tiver um tempo de atuação muito pequeno, caso em que $\Psi_{0j,ef}$ podem ser tomados como os correspondentes fatores de redução Ψ_{2j} .

2.7.1.3 Combinações últimas de construção

Este tipo de combinação deve ser levado em consideração em estruturas onde haja riscos de ELU, durante o período de construção. Os carregamentos durante o período de construção são temporários e sua duração deve ser definida pelo profissional responsável avaliando cada caso em particular.

Para cada combinação, aplica-se a expressão (3) dada em 7.1.2, onde $F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável admitida como principal para a situação transitória considerada.

2.7.1.4 Combinações últimas excepcionais

Compostas por influência de ações excepcionais que podem provocar ruína parcial ou total da estrutural. Estes tipos de combinações somente devem ser adotados no cálculo de projetos no qual não deve ser desprezada tal verificação. O carregamento composto nas combinações excepcionais é transitório e de pouca duração.

Para a avaliação dos valores das combinações excepcionais, deve-se utilizar-se da seguinte equação:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + F_{Q,exc} + \sum_{j=1}^n (\gamma_{qj} \Psi_{0j,ef} F_{Qj,k}) \quad (4)$$

onde,

$F_{Q,exc}$ é o valor da ação transitória excepcional.

2.8 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

2.8.1 Peças Tracionadas

Conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008), é possível dimensionar barras com seção transversal prismática com a força de atuação (carregamentos) ocorre em sentidos diferentes paralelos ao eixo da barra.

Para o dimensionamento de barras prismáticas submetidas à tração, deve-se considerar a limitação para que o índice de esbeltez (L/r) não ultrapasse 300 e o menor valor do estado limite último de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, conforme expressões (5) e (6) indicadas a seguir:

- a) para escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (5)$$

- b) para ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (6)$$

onde:

A_g é a área bruta da seção transversal da barra;

A_e é a área líquida efetiva da seção transversal da barra;

f_y é a resistência ao escoamento do aço;

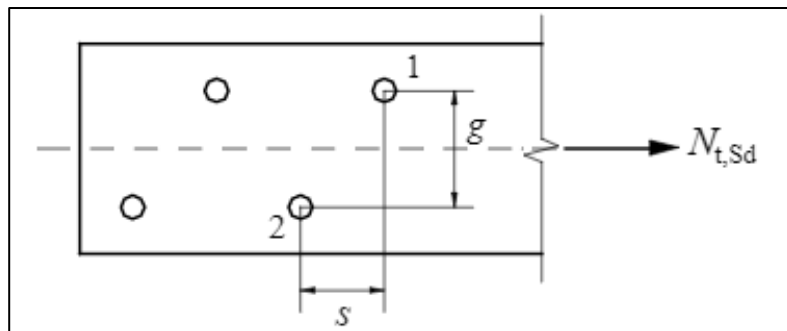
f_u é a resistência à ruptura do aço.

Segundo PFEIL (2014, p.52), o valor de A_e , pode ser obtido conforme a expressão

(7):

$$A_e = \left(b - \sum (d + 3,5\text{mm}) + \sum \frac{s^2}{4g} \right) \cdot t \quad (7)$$

Figura 13 - Ilustração dos espaçamentos s e g entre os furos 1 e 2



Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

2.8.2 Peças Comprimidas

Segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), é possível dimensionar barras com seção transversal prismática das quais a força de atuação (carregamentos) ocorre em sentidos coincidentes paralelos ao eixo da barra.

Para o dimensionamento de barras prismáticas submetidas à compressão, deve-se considerar a limitação para o índice de esbeltez (KL/r) não ultrapasse 200 e o menor valor do esforço resistente de cálculo (N_c , R_d) nas direções x e y da barra prismática, conforme expressão (8) indicada a seguir:

$$N_c, R_d = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (8)$$

onde:

χ é o fator de redução associado à resistência a compressão;

Q é o fator de redução total associado à flambagem local;

Agé a área bruta da seção transversal da barra.

2.8.2.1 Fator de redução associado à flambagem local (Q)

Tais valores são obtidos de acordo com o anexo F da norma NBR 8800 (ABNT, 2008).

Segundo a norma, os elementos AA e AL constituintes na seção da barra cuja relação (b/t) não ultrapasse os valores (b/t) limites da tabela F.1 (Anexo G), têm o valor Q dado por 1,00.

Os elementos AA e AL constituintes na seção da barra cuja relação (b/t) ultrapasse os valores (b/t) limites da tabela F.1 (Anexo G) da norma, têm o valor Q dado pelo produto de Qs e Qa. Para se obter os valores de Qs e Qa, deve-se avaliar o grupo dos elementos nos itens F.2 e F.3, respectivamente.

2.8.2.2 Fator de redução associado à resistência a compressão (χ)

O fator de redução segundo a norma, associado à instabilidade global da barra prismática submetida a compressão, é dado por:

$$\text{- para } \lambda_0 \leq 1,5 : \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \quad (9)$$




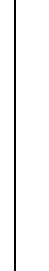






$$\text{- para } \lambda_0 \geq 1,5 : \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (10)$$

De acordo com PFEIL (2014, p.123) o fator do índice de esbeltez reduzido (λ_0), por ser dado em função do limite de escoamento de cada aço, neste caso segue expressões (11) e (12) em função do tipo de aço mais comum no mercado:

$$\text{- para aço MR 250 : } \lambda_0 = 0,0113 \cdot \frac{K.L}{r} \quad (11)$$

$$\text{- para aço AR250 : } \lambda_0 = 0,0133 \cdot \frac{K.L}{r} \quad (12)$$

Tabela 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
		Rotação e translação impedidas.				
Código para condição de apoio		Rotação livre, translação impedida.				
		Rotação impedida, translação livre.				
		Rotação e translação livre.				

Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

2.8.3 Peças Cisalhadas e Flexionadas

Segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), é possível dimensionar barras com seção transversal prismática das quais a força de atuação (carregamentos) deve estar em um plano simétrico, quando a resultante dos esforços transversal deve passar pelo centro de cisalhamento da seção transversal ou nas situações em que a torção deve ser impedida, exceto no caso de perfis U fletidos em relação ao eixo perpendicular a alma.

2.8.3.1 Deslocamento

Conforme a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), o deslocamento máximo (Anexo F) para barras submetidas à compressão e a flexão deve ser verificado, para garantir os deslocamentos excessivos da estrutura ao estado-limite de serviço.

2.8.3.2 Verificar a peça quanto ao cisalhamento segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008)

Após verificar quanto ao deslocamento máximo vertical devido a flexão, pré-definindo o tipo de perfil que atenda ao carregamento e que o deslocamento vertical (flecha), seja menor do que a máxima informada, é possível verificar quanto ao esforço resistente da peça com relação ao esforço cisalhante solicitante máximo.

Abaixo, segue parâmetros para a verificação do dimensionamento para perfil laminado previsto pela norma NBR 8800 (ABNT, 2008):

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d'}{t_w} \quad (13)$$

onde:

d' - altura da alma retirada do Catálogo Técnico de Perfis Laminados do fabricante;

t_w - espessura da alma retirada do Catálogo Técnico de Perfis Laminados do fabricante.

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{K_V E}{f_Y}} \quad (14)$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{K_V E}{f_Y}} \quad (15)$$

$K_V = 5.0$ para almas sem enrijecedores transversais, para $\frac{a}{h} > 3$ ou $\frac{a}{h} > \left[\frac{260}{\frac{h}{t_w}} \right]^2$

$K_V = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$ para todos os outros casos.

- para $\lambda \leq \lambda_p$:

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (16)$$

- para $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$:

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{a1}} \quad (17)$$

- para: $\lambda > \lambda_r$:

$$V_{Rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (18)$$

A força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento é dada por:

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y \quad (19)$$

Nessa equação, A_w é área efetiva de cisalhamento, que deve ser tomada igual a:

$$A_w = d t_w \quad (20)$$

Tendo em vista que o resultado do dimensionamento do perfil ao esforço cortante de dimensionamento (V_{Rd}), deve-se ser maior do que o esforço cortante de cálculo (V_{Sd}).

$$V_{Sd} < V_{Rd} \quad (21)$$

onde:

V_{pl} -força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento;

k_v - considerado como sendo um valor igual a 5,0 para almas sem enrijecedores transversais;

h - altura da alma retirada do Catálogo Técnico de Perfis Laminados do fabricante;

λ - índice de esbeltez;

λ_p - índice de esbeltez a plastificação;

λ_r - índice de esbeltez a ruptura.

2.8.3.3 Verificação quanto ao momento resistente

Para a verificação do momento resistente de cálculo para vigas de lama não esbelta constituídas por seções I, H, U, caixão tubulares retangulares na qual a alma, quando perpendicular ao eixo de flexão têm parâmetros de esbeltez λ inferior ou igual a λ_r , deve-se dimensionar o perfil de modo que a flambagem local na alma (FLA), flambagem local na mesa (FLM) e a flambagem lateral por torção seja menor do que os parâmetros apresentado a seguir. ANEXO G NBR 8800 (ABNT, 2008).

Na tabela 2, têm-se os parâmetros referentes ao momento fletor resistente, como se observa:

Tabela 2 - Parâmetros referentes ao momento fletor resistente.

(continua)						
Tipos de seção e eixo de flexão	Estados limites aplicáveis	M_r	M_{cr}	λ	λ_p	λ_r
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U não sujeitas a momento de torção, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver nota 5	Ver nota 1	$\frac{L_b}{r}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver nota 1
	FLM	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver nota 5	Ver nota 6	$\frac{b}{t}$ Ver nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H da Norma) ²	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções I e H com apenas um eixo de simetria situado no plano médio da alma, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia (Ver nota 9)	FLT	$(f_y - \sigma_r)W_c$ $\leq f_y W_t$ Ver nota 5	Ver nota 2	$\frac{L_b}{r_{yc}}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver nota 2

Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

Tabela 2 - Parâmetros referentes ao momento fletor resistente.

(fim)						
Tipos de seção e eixo de flexão	Estados limites aplicáveis	M_r	M_{cr}	λ	λ_p	λ_p
Seções I e H com apenas um eixo de simetria situado no plano médio da alma, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia (Ver nota 9)	FLM	$(f_y - \sigma_r)W_c$ Ver nota 5	Ver nota 6	b/t Ver nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H da Norma) ²	$\frac{h}{t_w}$	$\frac{h_c \sqrt{\frac{E}{f_y}}}{(0,54 \frac{M_{pl}}{M_r} - 0,9)^2}$ $\leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U fletidas em relação ao eixo de menor momento de inércia	FLM Ver nota 3	$(f_y - \sigma_r)W$	Ver nota 6	b/t Ver nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver nota 6
	FLA Ver nota 3	$f_y W_{ef}$ Ver nota 4	$\frac{W_{ef}^2}{W} f_y$ Ver nota 4	$\frac{h_c}{t_w}$	$1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções sólidas retangulares fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$f_y W$	$\frac{2,00 C_b E}{\lambda} \sqrt{JA}$	$\frac{Lb}{r_y}$	$\frac{0,13E}{M_{pl}} \sqrt{JA}$	$\frac{2,00E}{M_r} \sqrt{JA}$

Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

onde:

r_{yc} - raio de giração da seção T formada pela mesa comprimida e a parte comprimida da alma anexo, em regime elástico, em relação ao eixo que passa pelo plano médio da alma;

r_y - raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão;

J - constante de torção da seção transversal;

W_t - módulo de resistência elástico do lado tracionado da seção, relativo ao eixo de flexão;

W - módulo de resistência elástico mínimo da seção, relativo ao eixo de flexão;

W_c - módulo de resistência elástico do lado comprimido da seção, relativo ao eixo de flexão;

W_{ef} - módulo de resistência mínimo elástico;

h_c - duas vezes a distância do centro geométrico da seção transversal à face interna da mesa comprimida;

L_b - distância entre duas seções contidas à flambagem lateral com torção (comprimento destravado).

2.8.4 Flambagem Lateral na Mesa (FLM)

O momento fletor resistente de cálculo, para o estado-limite último de flambagem local da mesa comprimida (FLM), é dado por:

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad (22)$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (23)$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{K_c E}{f_y}} \quad (24)$$

onde

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

- para $\lambda \leq \lambda_p$:

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (25)$$

- para $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$:

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \quad (26)$$

- para $\lambda > \lambda_r$ (não aplicável à FLA)

$$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \quad (27)$$

$$M_{pl} = Z f_y \quad (28)$$

$$M_r = 0,7 f_y \quad (29)$$

2.8.5 Flambagem Lateral da Alma (FLA)

O momento fletor resistente de cálculo, para o estado-limite último de flambagem lateral da alma comprimida (FLA), é dado por:

$$\tilde{\lambda} = \frac{h}{t_w} \quad (30)$$

$$\tilde{\lambda}_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (31)$$

$$\tilde{\lambda}_r = 5,70 \sqrt{\frac{K_c E}{f_y}} \quad (32)$$

- para $\tilde{\lambda} \leq \tilde{\lambda}_p$:

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (33)$$

- para $\tilde{\lambda}_p < \tilde{\lambda} \leq \tilde{\lambda}_r$:

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\tilde{\lambda} - \tilde{\lambda}_p}{\tilde{\lambda}_r - \tilde{\lambda}_p} \right] \quad (34)$$

- para $\tilde{\lambda} > \tilde{\lambda}_r$ (não aplicável à FLA)

$$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \quad (35)$$

$$M_{pl} = Z f_y \quad (36)$$

$$M_r = 0,7 f_y \quad (37)$$

2.8.6 Flambagem Lateral com Torção (FLT)

O momento fletor resistente de cálculo, para o estado-limite último de flambagem lateral com torção (FLT), é dado por:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} \quad (38)$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (39)$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}} \quad (40)$$

onde:

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W}{E J} \quad (41)$$

- para seções I:

$$C_w = \frac{I_y (d - t_f)^2}{4} \quad (42)$$

- para seções U:

$$C_w = \frac{t_f (b_f - 0,5 t_w)^3 (d - t_f)^2}{12} \left[\frac{3(b_f - 0,5 t_w) t_f + 2(d - t_f) t_w}{6(b_f - 0,5 t_w) t_f + (d - t_f) t_w} \right] \quad (43)$$

- para $\lambda \leq \lambda_p$:

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (44)$$

- para: $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$:

$$M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (45)$$

- para: $\lambda > \lambda_r$:

$$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (46)$$

$$M_{pl} = Z f_y \quad (47)$$

$$M_r = 0,7 f_y \quad (48)$$

onde:

M_{pl} é o momento fletor plástico;

M_{cr} é o momento fletor crítico;

C_b é o fator de modificação para o diagrama de momento fletor não-uniforme cujo valor é 1,00;

Z é o módulo de resistência plástico, retirada do Catálogo Técnico de Perfis Laminados da Gerdau Açominas.

2.8.7 Verificação quanto a Flexão Composta

Segundo a NBR 8800 (ABNT,2008), para a atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores, deve ser obedecida a limitação fornecida pelas expressões (49) a (52):

$$a) \quad \text{para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2 \quad (49)$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (50)$$

$$b) \quad \text{para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2 \quad (51)$$

$$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (52)$$

onde:

N_{Sd} é a força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

N_{Rd} é a força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

$M_{x,Sd}$ e $M_{y,Sd}$ são os momentos flettores solicitantes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos x e y da seção transversal;

$M_{x,Rd}$ e $M_{y,Rd}$ são os momentos flettores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos x e y da seção transversal;

3 PROCEDIMENTOS E DIMENSIONAMENTO

3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo pode ser qualificado como sendo quantitativo, com base em resultados numéricos de taxas de aço por meio de software, diferenciando a viabilidade econômica e desempenho estrutural de cada tipologia de vigas de cobertura.

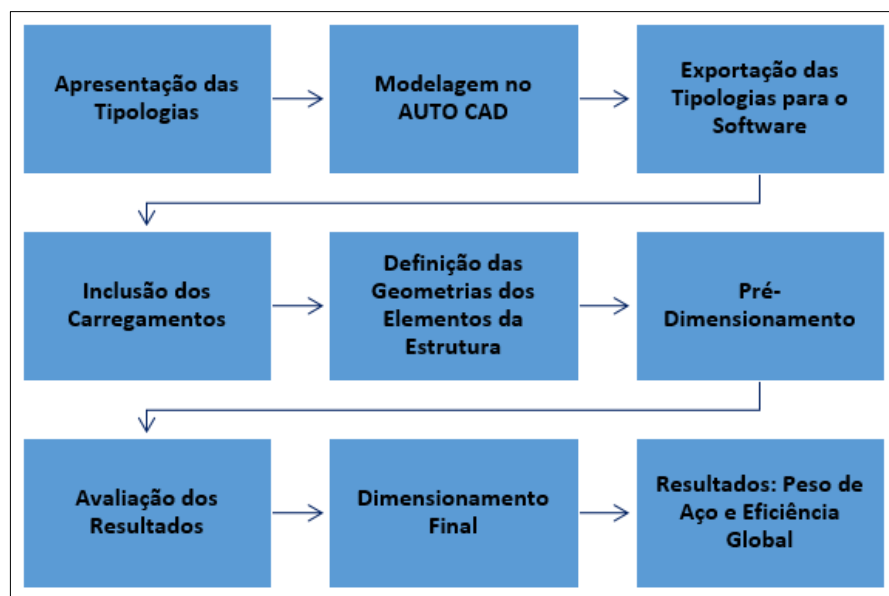
3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

- Apresentação das tipologias com função estrutural de vigas de cobertura, sendo elas mais utilizadas na região centro-oeste, com inclinação adotada de 10%;
- Requisitos para o pré-dimensionamento;
- Apresentação dos perfis a serem adotados em cada tipologia;
- Identificação da tipologia da estrutura com menor peso e maior eficiência estrutural.

3.3 FLUXOGRAMA DOS PROCEDIMENTOS

Foram modeladas sete estruturas, analisadas conforme o fluxograma (Figura 14).

Figura 14 - Fluxograma dos Procedimentos



Fonte: Autores, 2017

3.4 APRESENTAÇÃO DAS TIPOLOGIAS

Analisando os pavilhões industriais da região centro-oeste, verificou-se a padronização de modelos estruturais, onde a grande maioria atende o requisito arquitetônico solicitado em projeto, utilizando geralmente coberturas de duas águas simples ou arcos.

O projetista de estruturas metálicas, por sua experiência ou motivos pessoais, normalmente escolhe a tipologia para atender as definições da arquitetura de forma aleatória. Por exemplo, sua seleção pode acontecer por um contato diário com a tipologia, e percepção de melhores resultados.

As várias bibliografias examinadas para a realização do pré-dimensionamento, limitam-se em não explicitar os elementos estruturais constituintes na estrutura. Poucas referências constavam de tais informações, que são primordiais para iniciar o projeto.

O responsável pela execução do projeto, deve considerar a experiência adquirida em projetos anteriores, para dar o pontapé inicial. Consultando alguns projetistas, observou-se que os mesmos definem primeiramente a inclinação mínima da estrutura em função do tipo de cobertura de vedação, na sequência estabelecem o espaçamento entre as treliças, que por sua vez, limita a distância entre os montantes e/ou diagonais.

Assim os dados constantes na Tabela 3, e as Figuras 17 a 23, foram definidas a partir das pré-definições apresentadas a seguir.

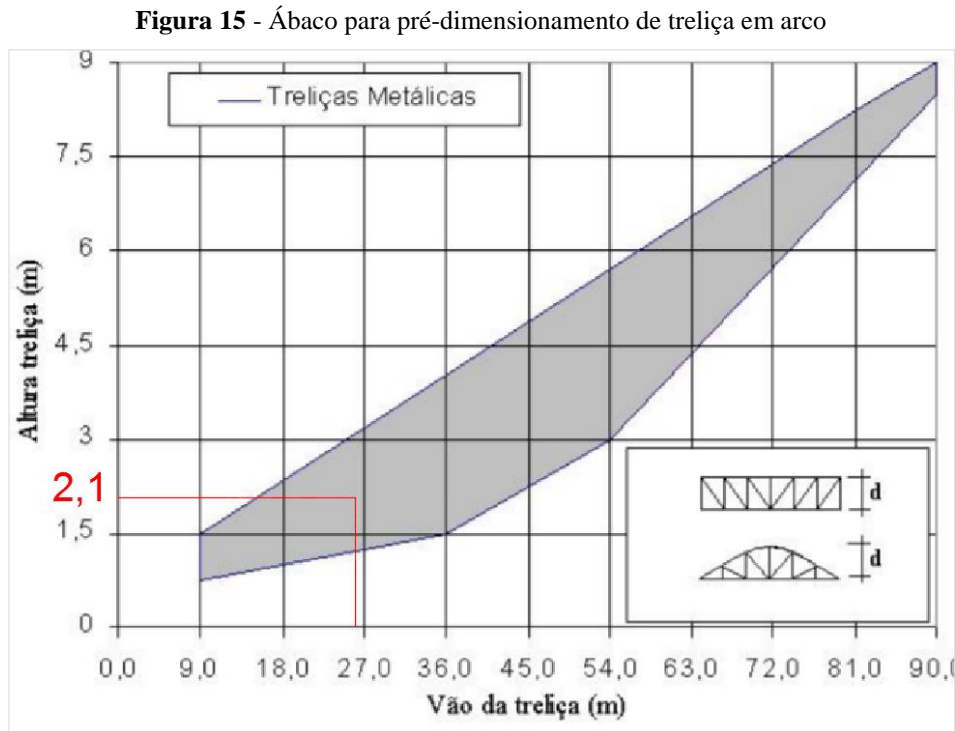
3.4.1 Altura da treliça em duas águas (A)

Segundo Malite e col. (1998), a altura de alma treliçada espacial, no Brasil, costuma-se estar situada entre $\frac{L}{15}$ a $\frac{L}{20}$, sendo “L” o vão livre da estrutura. Sabe-se que no estudo em questão, não está sendo trabalhado com esse tipo de treliça, neste caso, devido à falta de outra experiência, adotou-se como parâmetro de partida, o valor da altura das extremidades $\frac{L}{20}$.

Nas Figuras 17 a 23 e na Tabela 3, este é o item (A).

3.4.2 Altura do arco (B)

Segundo Pravia 2002, a altura da treliça espacial pode ser tomada a partir do ábaco apresentado a seguir (Figura 15).



Em função do vão da treliça ser de 26m (conforme arquitetura do galpão – Apêndice A), foi tomado o meio do ábaco para a definição da altura do arco, neste caso, obtem-se o resultado de 2,1m.

3.4.3 Inclinação da Cobertura (C)

A inclinação da cobertura foi adotada em função da inclinação mais adotada na região, e de acordo com a inclinação mínima recomendada pelo tipo de cobertura de vedação. Neste caso, como foi adotado telha STANDARD TP-40, foi utilizado para o estudo e dimensionamento a inclinação de 10%.

3.4.4 Distância entre Terças (D)

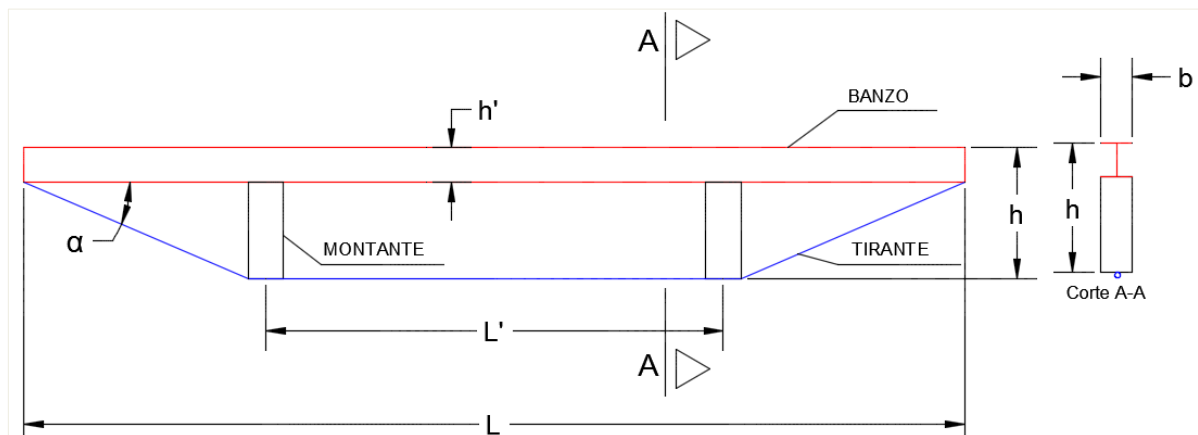
A distância entre terças é definida pela autoportância da telha adotada, neste caso, para a telha STANDARD TP-40, o fabricante aconselha 1,50 metros a 1,65 metros.

3.4.5 Definições para Vigas Vagonadas

Segundo Rebello (2000), a geometria recomendada para as vigas vagonadas, dimensionando assim os tirantes, montantes e banzo é conforme a Figura 16, onde:

- $\alpha > 15^\circ$;
- h , deve estar entre 5% a 6% do vão (L);
- h' , deve ser igual a 3% do vão (L');
- B , deve ser igual a 60% de h' .

Figura 16 - Recomendação de geometria para Vigas Vagonadas



Fonte: Rebello, 2000.

3.5 MODELAGEM NO AUTOCAD

A Tabela 3 demonstra os itens necessários para a modelagem das tipologias no AUTOCAD.

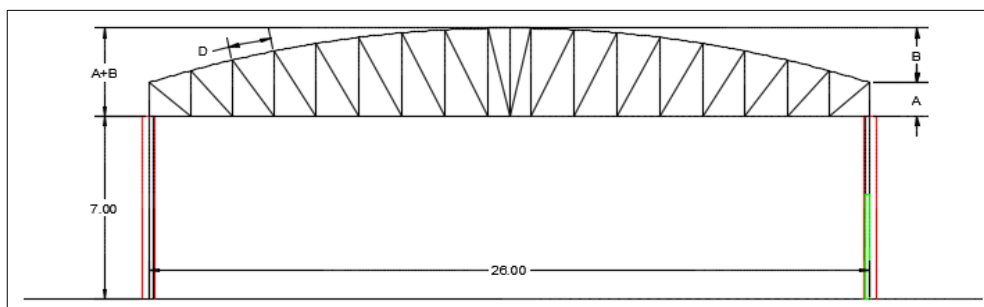
Tabela 3 - Nomenclatura e Modelo das Tipologias

TIPOLOGIA	MODELO	A(m)	B(m)	C(m)	D(m)
01	Treliça em Arco	1,3	2,1	---	1,55
02	Arco Paralelo	1,3	2,1	---	1,55
03	Treliça Banzo Paralelo	1,3	---	1,3	1,63
04	Treliça Banzo Superior Inclinado	1,3	---	1,3	1,63
05	Treliça Banzo Inferior Inclinado	1,3	---	1,3	1,63
06	Viga de Alma Cheia	---	---	1,3	1,63
07	Viga Vagonada	---	---	1,3	1,63

Fonte: Autores, 2017.

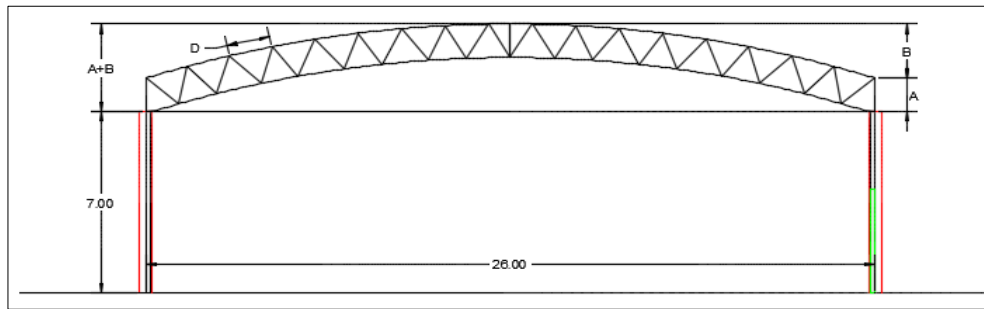
Nas figuras 17 a 23 verificam-se as sete tipologias usualmente utilizadas e propostas, desenhadas no AUTOCAD, gerando modelos estruturais para a análise e comparativo de peso estrutural.

Figura 17 - Tipologia 01



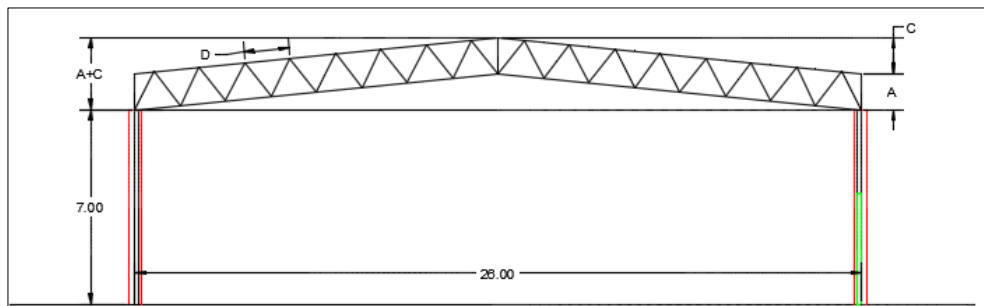
Fonte: Autores, 2017

Figura 18 - Tipologia 02



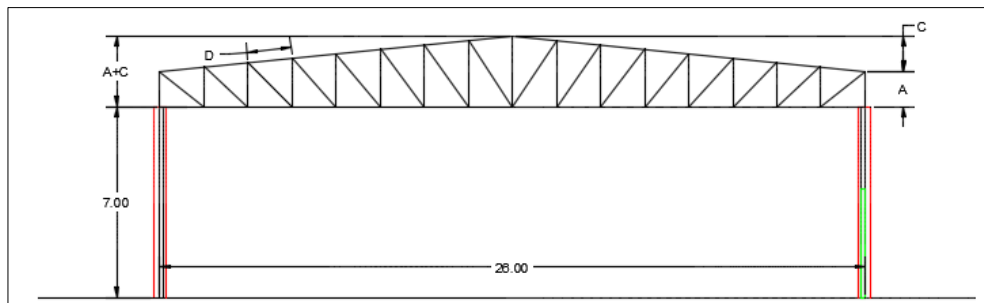
Fonte: Autores, 2017

Figura 19 - Tipologia 03



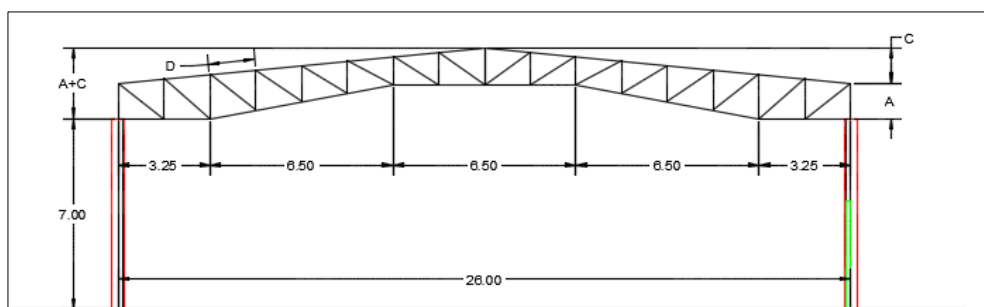
Fonte: Autores, 2017

Figura 20 - Tipologia 04

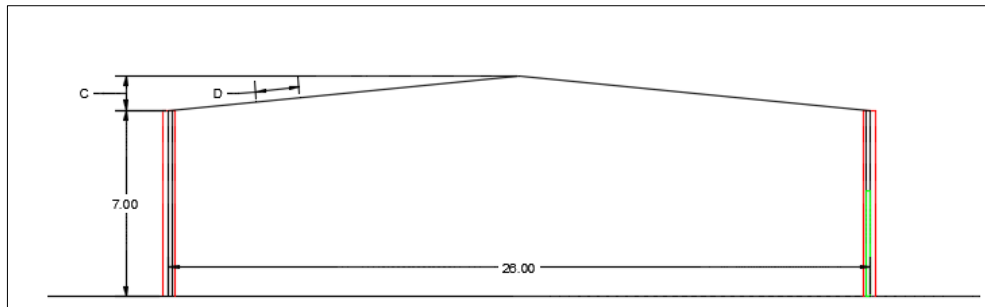


Fonte: Autores, 2017

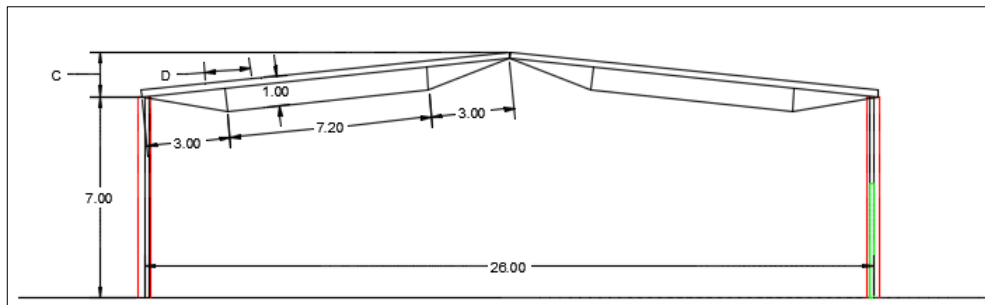
Figura 21 - Tipologia 05



Fonte: Autores, 2017

Figura 22 - Tipologia 06

Fonte: Autores, 2017

Figura 23 - Tipologia 07

Fonte: Autores, 2017

4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS

4.1 CÁLCULOS INICIAIS

Primeiramente, foram realizados manualmente os cálculos de vento, conforme Apêndice A, para as estruturas treliçadas e em arco, desta forma, obteve-se os coeficientes eólicos para todas as tipologias. É imprescindível efetuar os cálculos com a análise inicial destes coeficientes e das sobrecargas definidas por norma. Tais carregamentos devem ser inseridos inicialmente no modelo de cálculo para o processo de dimensionamento. Deste modo, o software considera as cargas provenientes devido ao vento e as sobrecargas previstas em norma apresentadas no Apêndice A.

4.2 EXPORTAÇÃO DAS TIPOLOGIAS PARA O SOFTWARE

Para o cálculo e dimensionamento das estruturas, utilizou-seo Metálicas 3D que é um software para cálculo estrutural e dimensionamento de elementos estruturais metálicos, estruturas de alumínio e estruturas de madeira.

O programa possui uma entrada de dados gráfico fácil, onde o usuário pode desenhar a estrutura com um prático comando de cotas. Basta informar as dimensões do projeto ou importar um desenho feito em qualquer software CAD (arquivos dwg ou dxf) e as linhas do desenho serão transformadas em barras, sem a necessidade de redesenhar toda a estrutura.

O primeiro passo ao iniciar o software, foi exportar as modelagens de cada estrutura para o programa, já que o mesmo oferece essa ferramenta. Na sequência definir os dados gerais dos elementos, bem como a geometria, o tipo de aço, as cargas atuantes na estrutura e, ainda, as hipóteses de carregamento existentes.

4.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

4.3.1 Tipologias 01 a 05

Para o pré-dimensionamento das tipologias 01 (um) a 05 (cinco), foram utilizados dois Perfis Laminados padrão, conforme tabela do fabricante (o programa contém uma ampla biblioteca de perfis). Também se utilizou os dados constantes nos itens 4.3.1.1 e 4.3.1.2.

4.3.1.1 Diagonais e Montantes (2 X L 45x45x4mm)

- Aço: A-572;
- F_y : 290MPa;
- Peso Próprio: 5,48Kg/m.

4.3.1.2 Banzos (UPE 200)

- Aço: A-572;
- F_y : 290MPa;
- Peso Próprio: 22,77Kg/m.

4.3.2 Tipologia 06 e 07

Para o pré-dimensionamento da tipologia 06 (Viga Simples) foi usado o Perfil Laminado I, já para a tipologia 07 (Vigas Vagonadas) se faz necessário à utilização de montante com Perfil Tubo Fechado e Cabo de Aço.

A descrição para a viga simples e viga vagonada, tipologia 06 (seis) e 07 (sete) respectivamente, foram inseridas, conforme os itens 4.3.2.1 e 4.3.2.2.

4.3.2.1 Montantes (2 X UPE 80)

- Aço: A-572;
- F_y : 290MPa;
- Peso próprio: 15,86Kg/m.

4.3.2.2 Banzos (IPE 400)

- Aço: A-572;
- F_y : 290MPa;
- Peso próprio: 66,33Kg/m.

4.4 ANÁLISE DO PESO E DA EFICIÊNCIA DAS TIPOLOGIAS

Após executar as etapas anteriores, obtiveram-se resultados iniciais na análise dos modelos estruturais inseridos no software, sendo possível realizar o quantitativo do peso próprio da estrutura final, verificar a eficiência global e a aprovação da resistência em função dos carregamentos (Apêndice B), em cada uma das tipologias estudadas.

A partir dos resultados obtidos em função do pré-dimensionamento, é possível avaliar se é necessário refinar o dimensionamento, aumentando a seção transversal do elemento estrutural, pelo elevado índice de esbeltez e/ou aprovação de resistência, ou até mesmo diminuir a seção do perfil, por uma menor solicitação quanto aos esforços, desta forma, o peso da estrutura diminuirá. As análises, serão todas apresentadas por meio de figuras e por meio de quadros com um resumo geral, inclusive relação de perfis e eficiência de cada elemento mais solicitado. Foi ainda considerado travamentos laterais na posição de cada terça de cobertura, afim de diminuir os pontos travados no banzo inferior das treliças.

4.4.1 Tipologia 01 –Treliça em Arco

No pré-dimensionamento desta Tipologia (Figura 24 a 26), foram utilizados os materiais, conforme o Quadro 2.

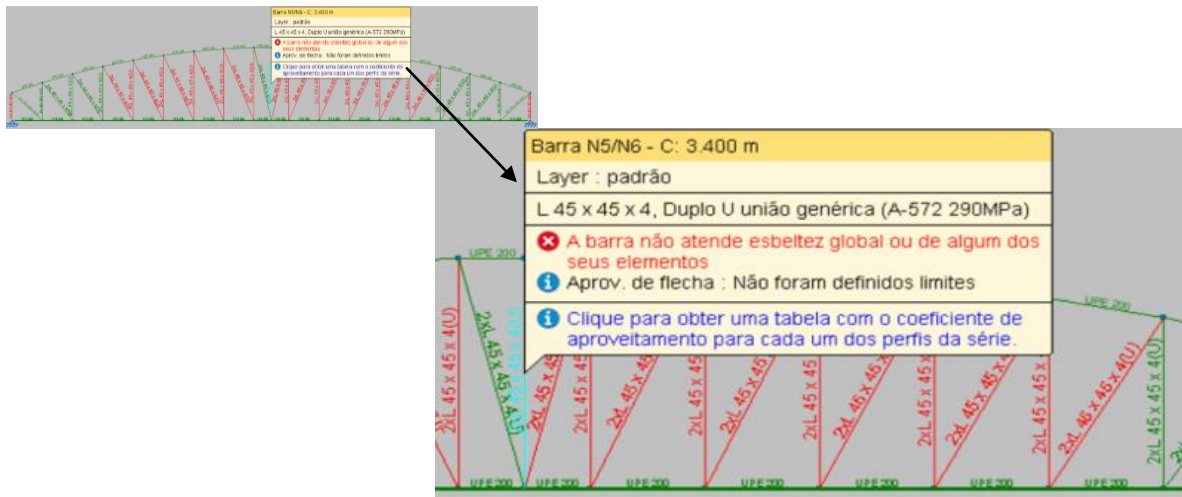
Quadro 2 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 01

MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	UPE	UPE 200	52,450	1194,02
		L	L 45 x 45 x 4, Duplo U união genérica	104,89	574,72
		TOTAL:		157,339	1768,74

Fonte: Autores, 2017

Desta forma, é possível fazer algumas avaliações das estruturas.

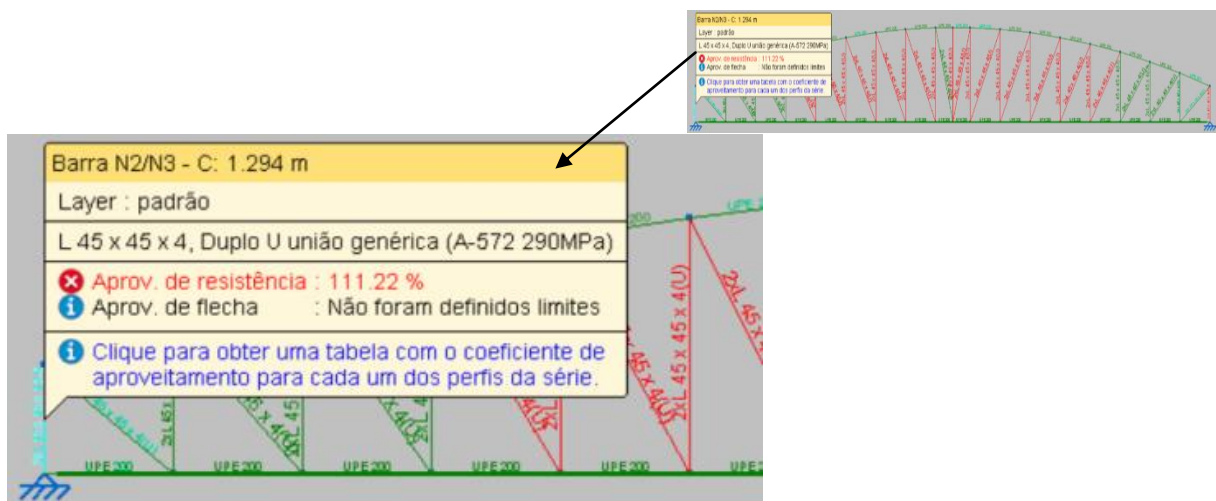
Figura 24 - Tipologia 01 – Índice de esbeltez excedido



Fonte: Autores, 2017

Observou-se que o montante com maior comprimento está com o Índice de Esbeltez (Figura 24) excedido, ou seja, ele está vulnerável a sofrer o efeito da flambagem.

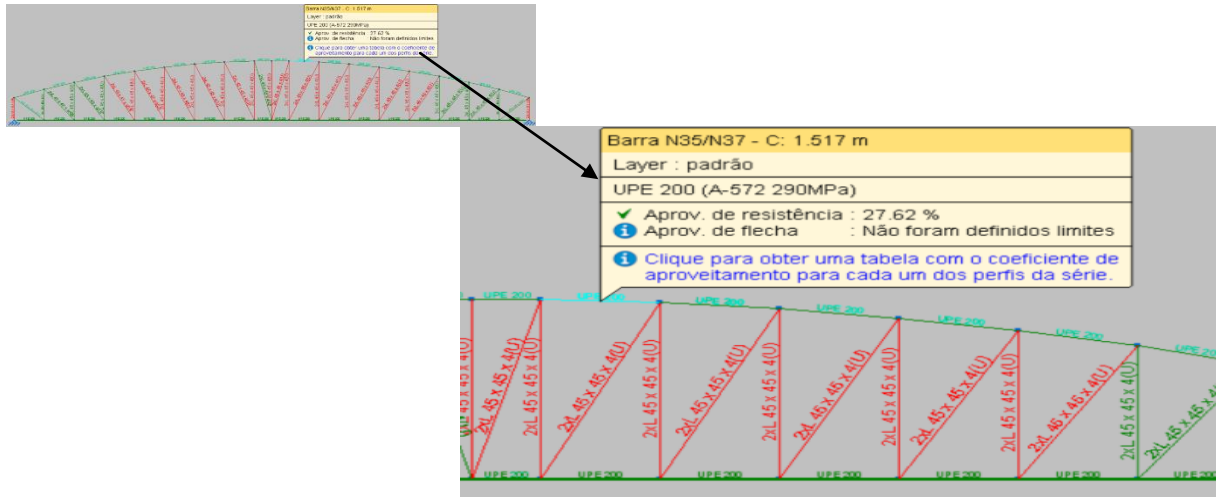
Figura 25 - Aprovação de resistência excedida



Fonte: Autores, 2017

O montante com maior solicitação aos esforços axiais (Figura 25), não passa, conforme a sua aprovação de resistência ser maior do que o 100%.

Figura 26 - Tipologia 01 – Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

Os banzos foram todos aprovados conforme apresentado na Figura 26, sendo que o elemento mais solicitado passou com 27,62%, neste caso, para efeito de aproveitamento máximo da resistência do perfil estrutural, é considerado um valor muito baixo.

4.4.2 Tipologia 02 – Arco Paralelo

No pré-dimensionamento desta Tipologia, foram utilizados os materiais, conforme o Quadro 3.

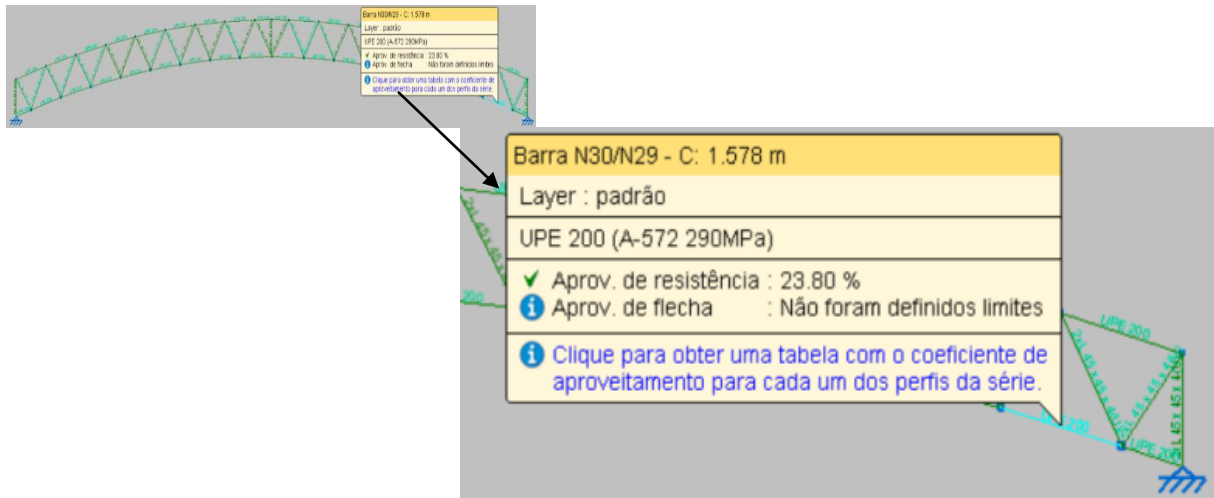
Quadro 3 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 02

MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	UPE	UPE 200	52,896	1204,17
		L	L 45 x 45 x 4, Duplo U união genérica	55,04	301,58
		TOTAL:		107,936	1505,75

Fonte: Autores, 2017

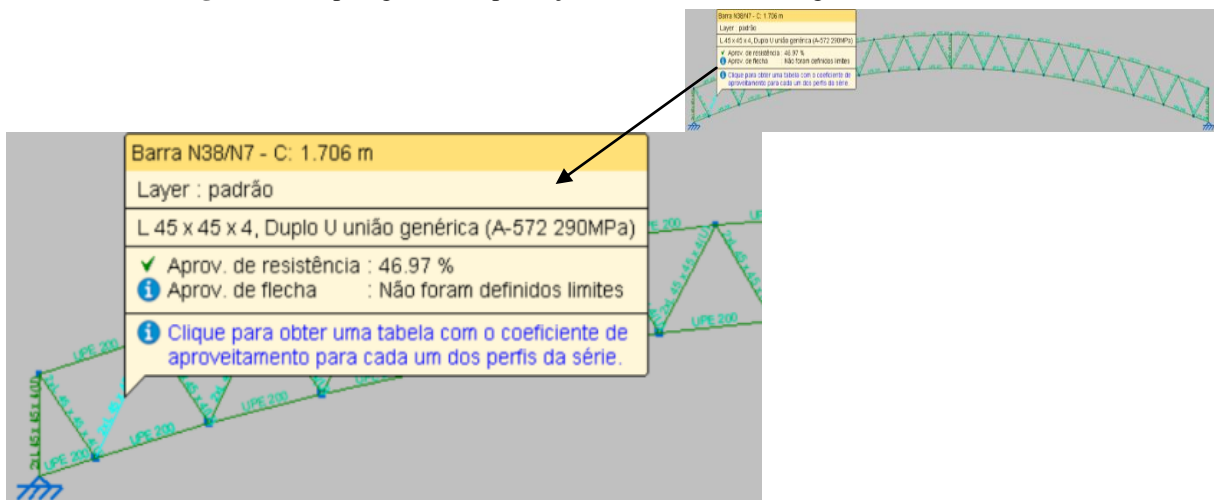
Na tipologia 02 (dois), foi possível avaliar que a geometria é totalmente eficiente, neste caso, todos os elementos estruturais são aprovados conforme apresentado nas Figuras 27 e 28 a seguir.

Figura 27 - Tipologia 02 – Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

Figura 28 - Tipologia 02 – Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.



Fonte: Autores, 2017

O banzo com maior solicitação foi aprovado à resistência com 23,80% e a diagonal com 46,97%, sendo possível aperfeiçoar a estrutura no dimensionamento final, tornando-a mais leve e com menor custo.

4.4.3 Tipologia 03 – Treliça Banzo Paralelo

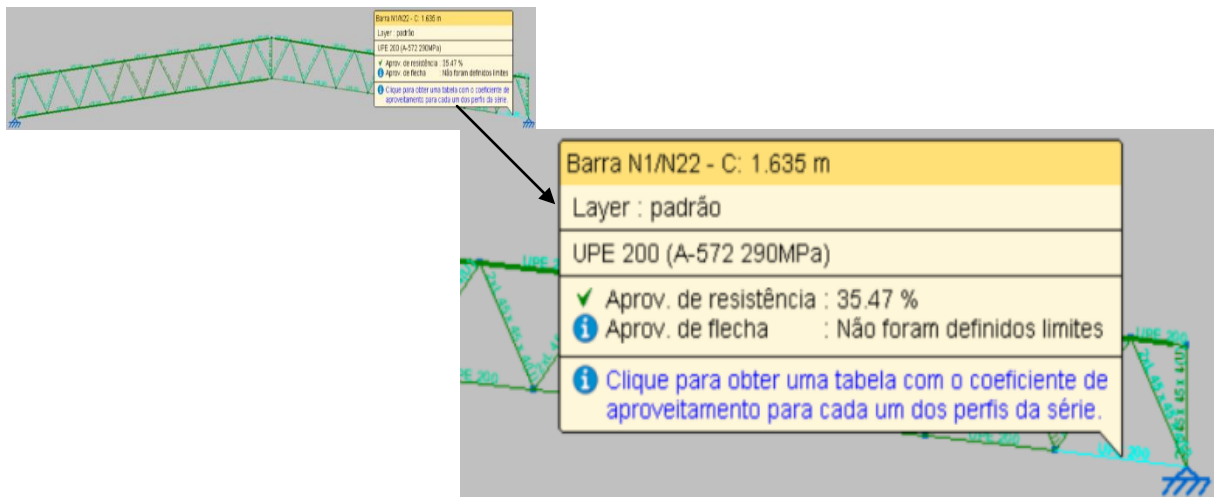
No pré-dimensionamento desta Tipologia (Figuras 29 e 30), foram utilizados os materiais, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 03

MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	UPE	UPE 200	52,260	1189,69
		L	L 45 x 45 x 4, Duplo U união genérica	52,78	289,20
		TOTAL:		105,040	1478,89

Fonte: Autores, 2017

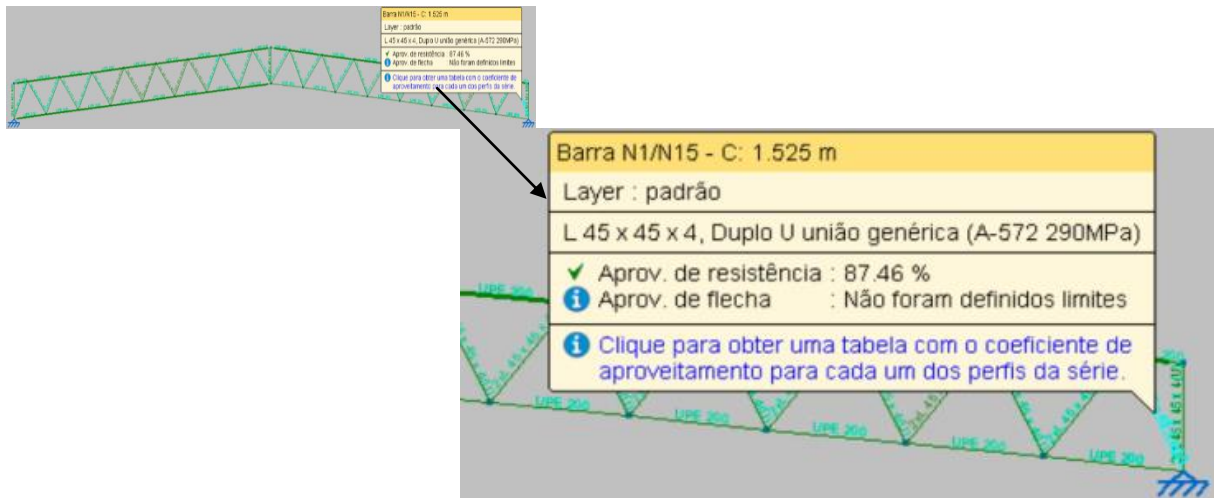
Figura 29 - Tipologia 03 – Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

Todos os perfis foram aprovados em sua resistência mecânica conforme apresentado nas figuras 29 e 30, desta forma, torna-se viável utilizar o perfil. Quanto à aprovação de resistência está entre 80% a 100%, neste caso pode-se observar que a diagonal mais solicitada chega a 87,46%, sendo assim, a mesma é bem aproveitada e acaba sendo economicamente viável utilizar essa configuração de perfil.

Figura 30 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada



Fonte: Autores, 2017

No dimensionamento final será avaliado se é possível diminuir o peso da estrutura, refinando o dimensionamento.

4.4.4 Tipologia 04 – Treliça Banzo Superior Inclinado

No pré-dimensionamento desta Tipologia, foram utilizados os materiais, conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 04

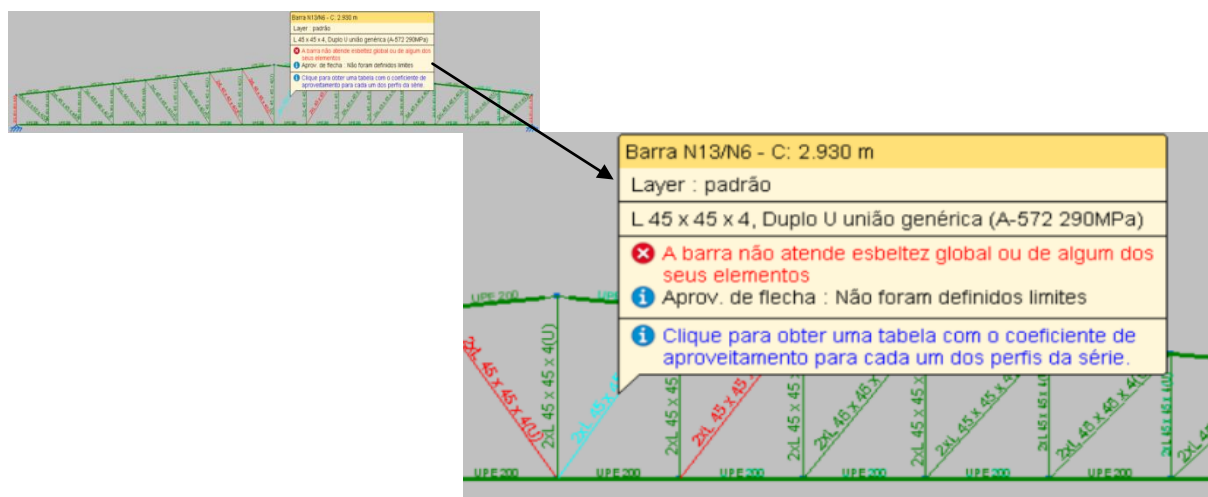
MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	UPE	UPE 200	52,131	1186,76
		L	L 45 x 45 x 4, Duplo U união genérica	72,24	395,84
		TOTAL:		124,374	1582,6

Fonte: Autores, 2017

Nesta tipologia, avalia-se que o montante com maior comprimento está com o índice de esbelteza excedido (Figura 31), e o montante com maior solicitação aos esforços axiais (Figura 32), não passa, devido a sua aprovação de resistência do perfil ser maior do que o 100%. Os banzos foram todos aprovados conforme apresentado na Figura 33, sendo que o

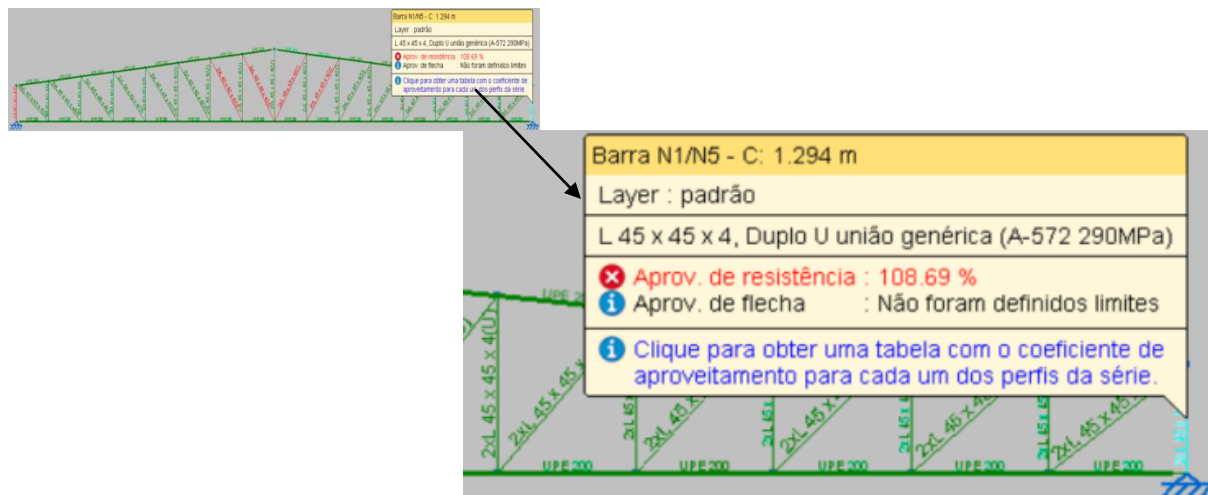
elemento mais solcitado passou com 37,50%, neste caso, para efeito de aproveitamento máximo da resistência do perfil estrutural, é considerado um valor muito baixo, devendo ser otimizado para que deixe a estrutura mais leve.

Figura 31 - Tipologia 04 – Índice de esbeltez excedido.



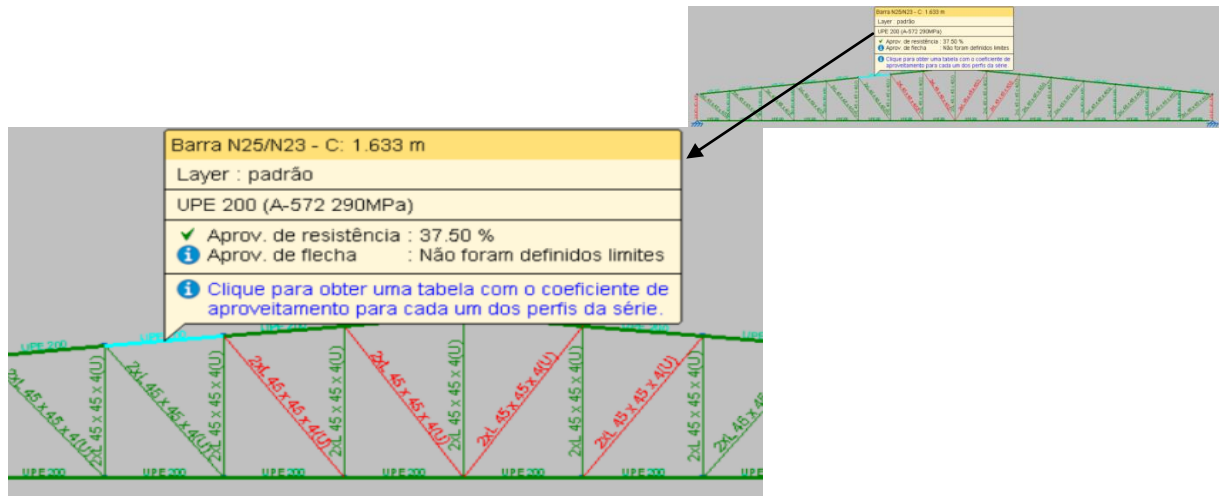
Fonte: Autores, 2017

Figura 32 - Aprovação de resistência do montante/diagonal mais solcitada.



Fonte: Autores, 2017

Figura 33 - Tipologia 04 – Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

4.4.5 Tipologia 05 – Treliça Banzo Inferior Inclinado

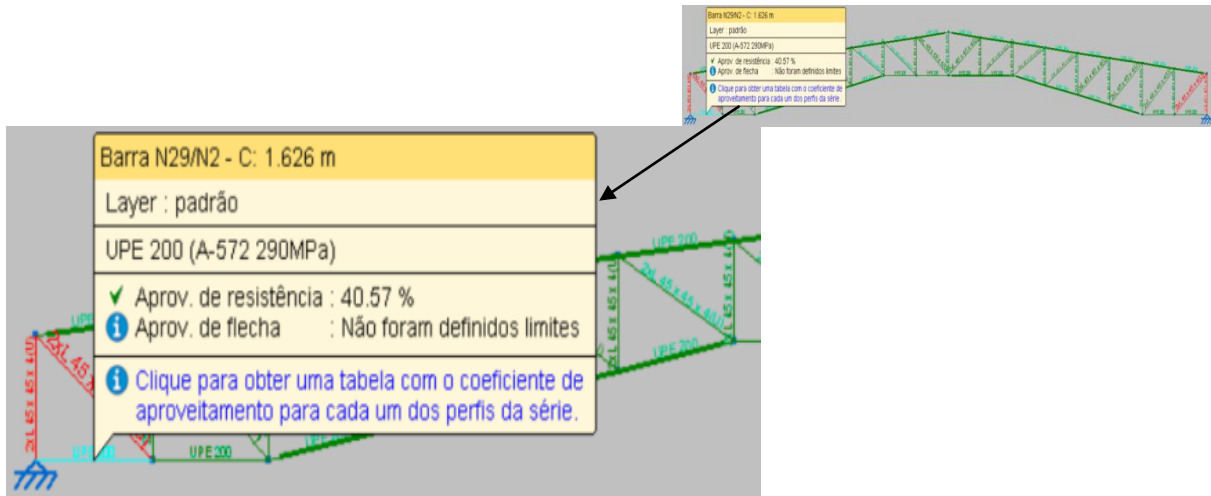
No pré-dimensionamento desta Tipologia (Figuras 34 e 35), foram utilizados os materiais, conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 05

MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	UPE	UPE 200	52,362	1192,03
		L	L 45 x 45 x 4, Duplo U união genérica	54,74	299,96
		TOTAL:		107,102	1491,99

Fonte: Autores, 2017

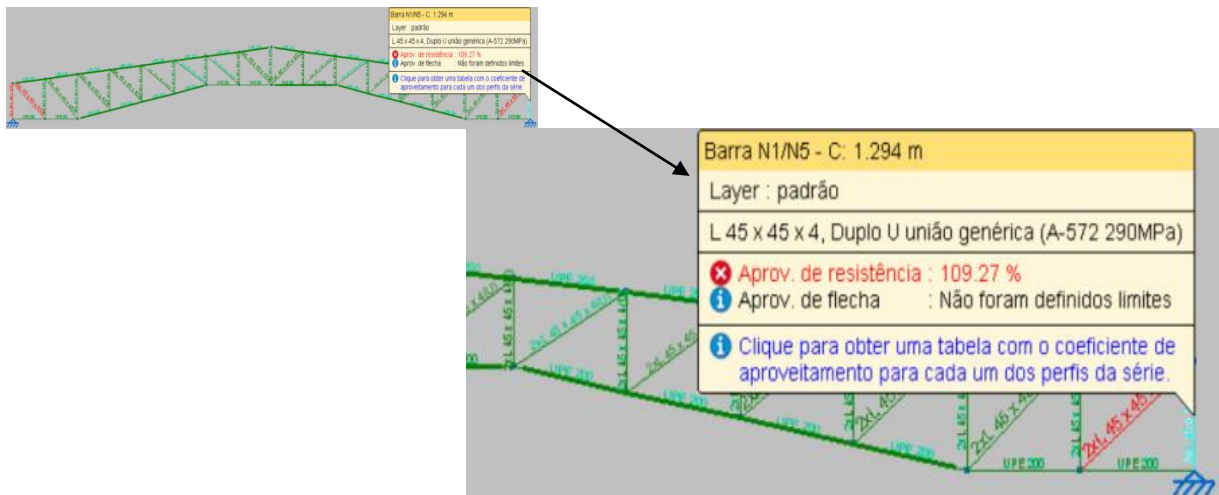
Figura 34 - Tipologia 05 – Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

Na Figura 34, observa-se que a aprovação de resistência do banzo mais solicitado é de apenas 40,57%, podendo ser considerado baixo para o melhor aproveitamento do perfil estrutural proposto.

Figura 35 - Tipologia 05 – Aprovação de resistência do montante/diagonal mais solicitada.



Fonte: Autores, 2017

Na análise de aprovação à resistência (Figura 35), verifica-se que devido à geometria, o montante mais solicitado não foi aprovado em 109,27%, como o limite para aprovação é o 100%, os valores estão bem próximos. Neste caso, a geometria, pode ser considerada como uma otimização estrutural.

4.4.6 Tipologia 06 - Viga de Alma Cheia

No pré-dimensionamento desta tipologia (Figura 36), foram utilizados os materiais, conforme o Quadro 7.

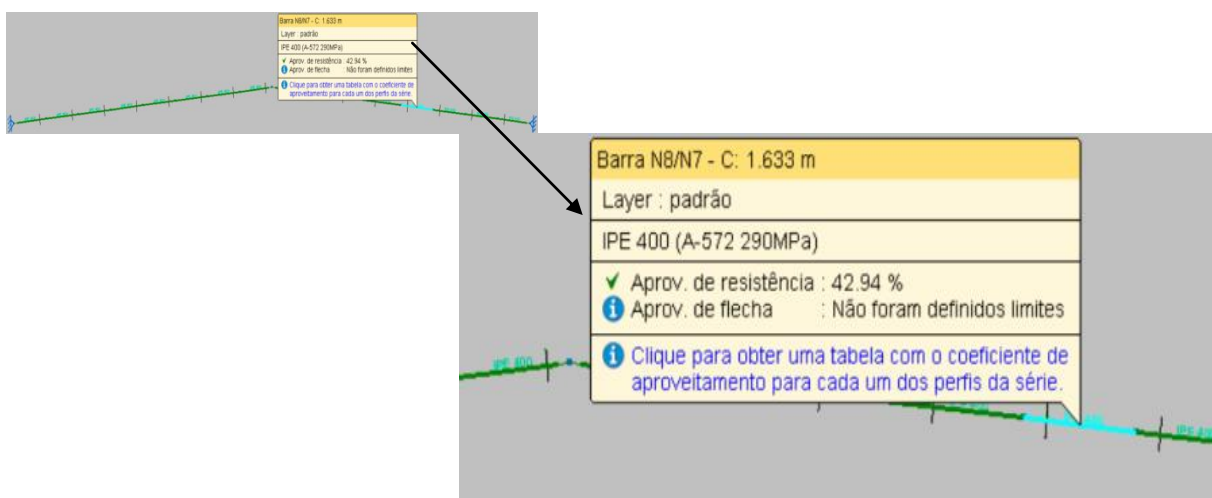
Quadro 7 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 06

MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	IPE	IPE 400	26,131	1733,34
		-	-	-	-
		TOTAL:		26,131	1733,34

Fonte: Autores, 2017

Na tipologia 06 (seis), para o vão de 26m, observa-se que o perfil laminado I, simples, atende em 42,94% a aprovação de resistência do perfil cadastrado no pré-dimensionamento. Neste caso, verifica-se que é possível aperfeiçoar a estrutura, tornando-a mais leve.

Figura 36 - Tipologia 06 – Aprovação de resistência da seção da viga mais solicitada



Fonte: Autores, 2017

Em vigas simples com perfil laminado “I”, o peso é maior, por não possuírem conjunto de diagonais, montantes e banzos, já que estes desempenham a função de distribuir os esforços solicitantes entre os elementos, deixando a estrutura mais leve e economicamente viável.

4.4.7 Tipologia 07 – Viga Vagonada

No pré-dimensionamento desta Tipologia (Figuras 37 a 39), foram utilizados os materiais, conforme o Quadro 8.

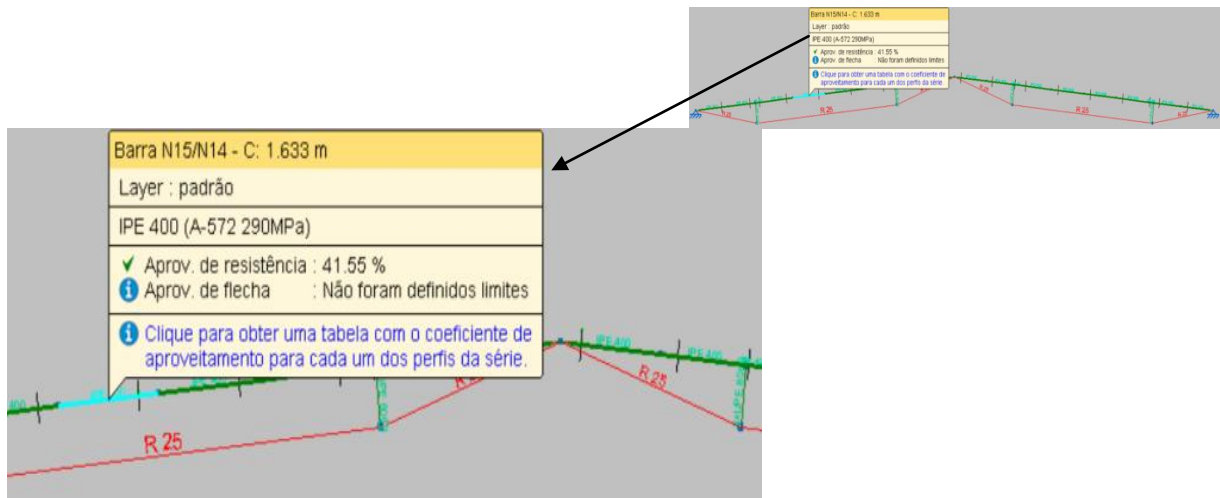
Quadro 8 - Resumo Geral dos Materiais no Pré-dimensionamento - Tipologia 07

MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	ipe	ipe 400	26,131	1733,34
		upe	upe 80, Caixa Dupla Soldada	3,18	50,49
		R	R25	26,55	102,29
		TOTAL:			55,861

Fonte: Autores, 2017

Na viga vagonada, tipologia 07 (sete), uma estrutura similar à tipologia 06 (seis), sendo apenas incrementados os montantes e a barra redonda, onde o objetivo é diminuir o momento no meio do vão da viga. Observa-se que a aprovação da resistência no meio do vão da viga, diminuiu muito pouco com relação à tipologia 06 (seis).

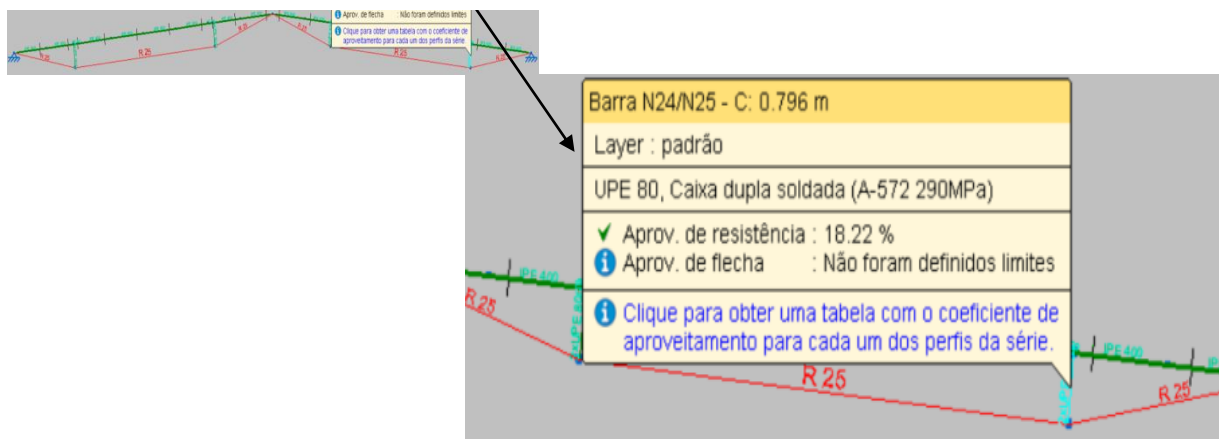
Figura 37 - Tipologia 07 – Aprovação de resistência da seção do banzo mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

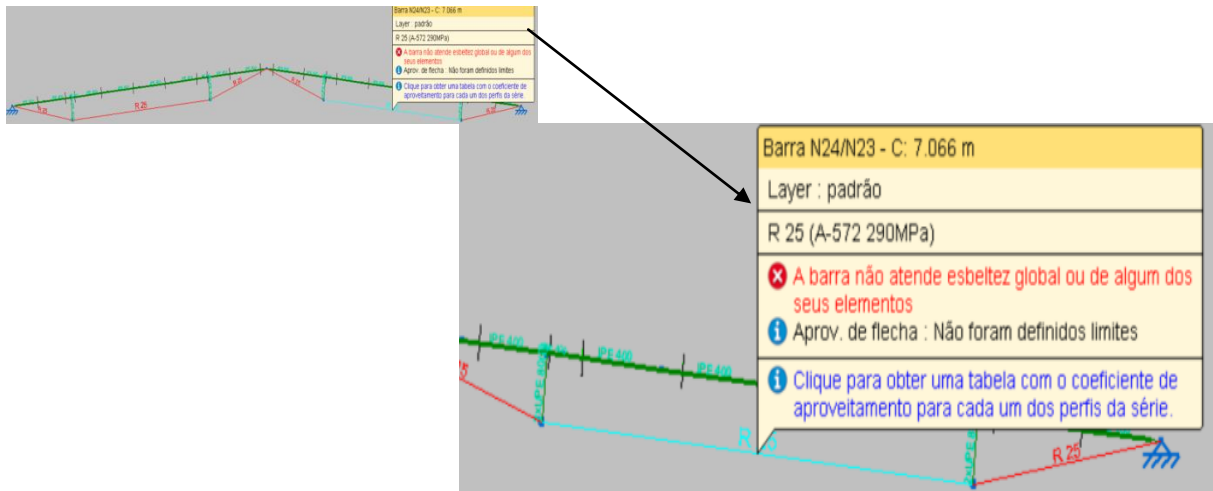
As barras redondas podem-se considerar como aptas a serem utilizadas na estrutura, as mesmas estão sendo solicitadas apenas aos esforços axiais de tração. E neste caso, a área de seção transversal da barra, está atendendo as fórmulas de 05 a 07 de dimensionamento a tração. Considerando desprezível a indicação de desaprovado a verificação do índice de esbeltez conforme indicado na Figura 37.

Figura 38- Tipologia 07 – Aprovação de resistência da seção do montante mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

Figura 39- Tipologia 07 – Indicação do Índice de esbeltez da barra redonda.



Fonte: Autores, 2017

4.5 RESUMO DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO

A partir da análise estrutural do pré-dimensionamento das estruturas, conforme foi apresentado no item anterior, foi possível extrair diversos resultados, tendo como principal resultado para ser utilizado neste estudo, o peso total de cada estrutura e a eficiência global.

O valor do peso total da estrutura foi obtido no estudo do pré-dimensionamento e será analisado no dimensionamento final, afim de comparar a importância que o calculista tem em não atribuir ao projeto os resultados já obtidos no estudo do pré-dimensionamento. Desta forma, mostrar o percentual de economia ou aditivo de estrutura que deve ser levado em conta entre o pré-dimensionamento e o dimensionamento final que será definido no projeto de execução.

A Tabela 4 é um resumo dos resultados obtidos na análise do pré-dimensionamento das estruturas. Vale salientar que o consumo do aço por unidade, é o resultado do produto entre o volume das barras a cada metro (m) pelo peso específico do aço.

Tabela 4 - Resumo Pré-dimensionamento
Tipologia X Peso da Estrutura

TIPOLOGIA	PESO (Kg)
01	1.768,74
02	1.505,75
03	1.478,89
04	1.582,60
05	1.587,87
06	1.733,34
07	1.886,12

Fonte: Autores, 2017

5 DIMENSIONAMENTO / REFINAMENTO ESTRUTURAL

5.1 DIMENSIONAMENTO

O peso de aço é obtido tanto no pré-dimensionamento como no dimensionamento final, variando em função das características dos perfis atribuídos e do comprimento das barras que compõem cada um dos elementos (banzos e treliçados) da estrutura. Sendo assim, neste capítulo, será verificado a otimização estrutural, a fim de aprovar todos os elementos estruturais apresentados no pré-dimensionamento, com o objetivo de aperfeiçoar a estrutura deixando-a mais leve e econômica.

A eficiência da estrutura analisada é a média das eficiências (volumétricas) das barras de todas as peças, ponderadas com os comprimentos totais de cada uma destas peças e as respectivas áreas de suas seções. Estas eficiências variam de zero a 100%. Quando são nulas, indica que o componente não possui esforço solicitante. Valores próximo de zero indicam um super-dimensionamento do componente, enquanto que valores próximos de 100%, mas inferiores indicam um bom dimensionamento. Valores acima de 100% indica que os valores do esforço solicitante supera o valor da resistência do componente. (BREUNIG,2008).

Neste caso, conforme apresentado por BREUNIG (2008), no dimensionamento final da estrutura de cada tipologia, considera-se para o projeto final o perfil com aprovação de resistência que mais se aproxima de 100% na posição em que o elemento estrutural está sendo mais solicitado aos esforços solicitantes.

Levando em consideração a otimização dos tipos de perfis para a produção e separação em fábrica e a facilidade no dimensionamento devido à padronização dos elementos estruturais, haverá a divisão em grupos dos tipos de perfis a serem avaliados. Assim sendo:

- Grupo 01: Diagonais e montantes de tesouras;
- Grupo 02: Banzos de tesouras;
- Grupo 03: Viga simples em perfil laminado;
- Grupo 04: Barras redondas laminadas.

Os resultados do dimensionamento serão todos apresentados por meio de figuras e por meio de tabelas e o resumo geral, inclusive relação de perfis e eficiência de cada elemento mais solicitado. Neste tópico, serão apresentadas tabelas da categoria de cada perfil que pode ser aplicado no grupo do elemento estrutural, a fim de apresentar as possibilidades e o perfil mais eficiente, avaliando a aprovação da resistência e o peso por metro linear. Neste caso, após a avaliação, será escolhido o perfil que tenha o menor peso por metro linear (kg/m) e que a aprovação de resistência esteja o mais próximo e menor a 100%.

5.1.1 Dimensionamento Tipologia 01

No dimensionamento final desta tipologia, observa-se a necessidade de diminuir o comprimento das barras com solicitações a compressão no qual apresentou o índice de esbeltez elevado (Figura 24).

Levando em conta essa análise, foram dispostas barras no centro das diagonais no qual o índice excede o definido por norma. Desta forma as barras que atendem as solicitações dos esforços são as apresentadas nas Figuras 42 e 43, sendo as diagonais e banzos com aprovações de 89,59% e 83,34% respectivamente, atendendo assim o critério deste trabalho, de que a aprovação da resistência deve estar o mais próximo e abaixo de 100%.

Figura 40 - Apresentação de catálogo de perfis para a diagonal mais solicitada.

Perfil	Peso	Resistência	Eros
✗ L 25 x 25 x 4, Duplo U união genérica	2.90	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 30 x 30 x 3, Duplo U união genérica	2.73	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 30 x 30 x 4, Duplo U união genérica	3.56	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 35 x 35 x 4, Duplo U união genérica	4.19	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 35 x 35 x 5, Duplo U união genérica	5.15	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 40 x 40 x 4, Duplo U união genérica	4.84	190.50 %	
✗ L 40 x 40 x 5, Duplo U união genérica	5.95	118.80 %	
✓ L 40 x 40 x 6, Duplo U união genérica	7.03	93.85 %	
✗ L 45 x 45 x 3, Duplo U união genérica	4.18	174.66 %	
✗ L 45 x 45 x 4, Duplo U união genérica	5.48	103.51 %	
✓ L 45 x 45 x 4.5, Duplo U união genérica	6.12	89.59 %	
✓ L 45 x 45 x 5, Duplo U união genérica	6.75	79.71 %	
✓ L 45 x 45 x 6, Duplo U união genérica	7.99	65.94 %	
✓ L 45 x 45 x 7, Duplo U união genérica	9.20	56.72 %	

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✗ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

É possível verificar pela Figura 40 que nem sempre o perfil que tem a maior aprovação de resistência e está mais próximo de 100%, é o mais indicado, porque a análise da taxa de aço por metro linear da barra é maior, deixando a estrutura mais onerosa.

Figura 41 - Apresentação de catálogo de perfis para o banzo mais solicitado.

Perfil	Peso	Resistência
✗ UPE 80	7.93	119.53 %
✓ UPE 100	9.81	83.34 %
✓ UPE 120	12.09	62.01 %
✓ UPE 140	14.44	47.99 %
✓ UPE 160	17.03	38.52 %
✓ UPE 180	19.70	31.63 %
✓ UPE 200	22.77	26.42 %
✓ UPE 220	26.61	21.90 %
✓ UPE 240	30.22	18.65 %
✓ UPE 270	35.17	15.68 %
✓ UPE 300	44.43	12.27 %
✓ UPE 330	53.22	10.13 %
✓ UPE 360	61.15	8.70 %
✓ UPE 400	72.14	7.21 %

Não foram definidos limites de flecha

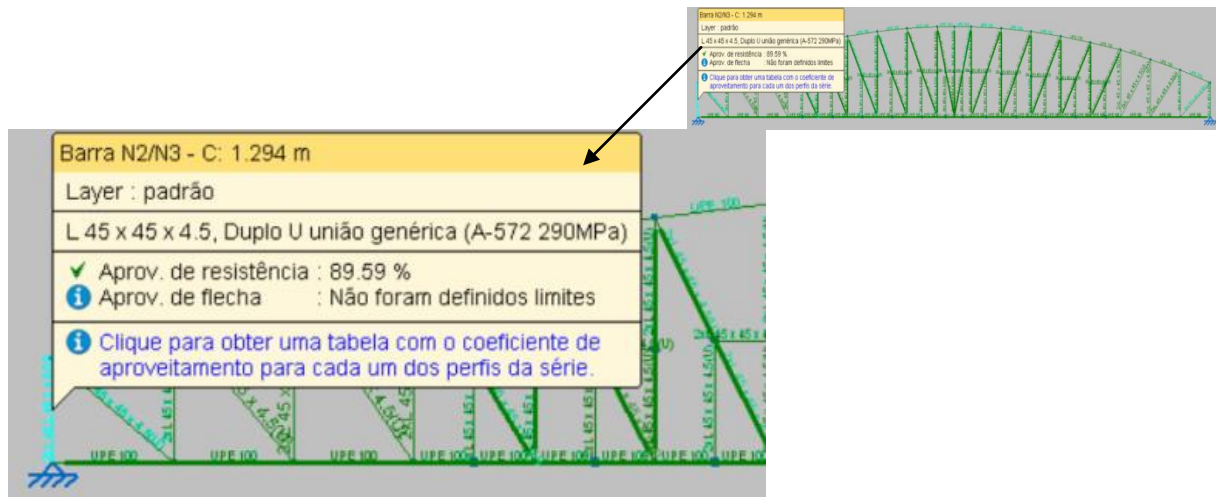
Significado dos ícones

- ✗ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

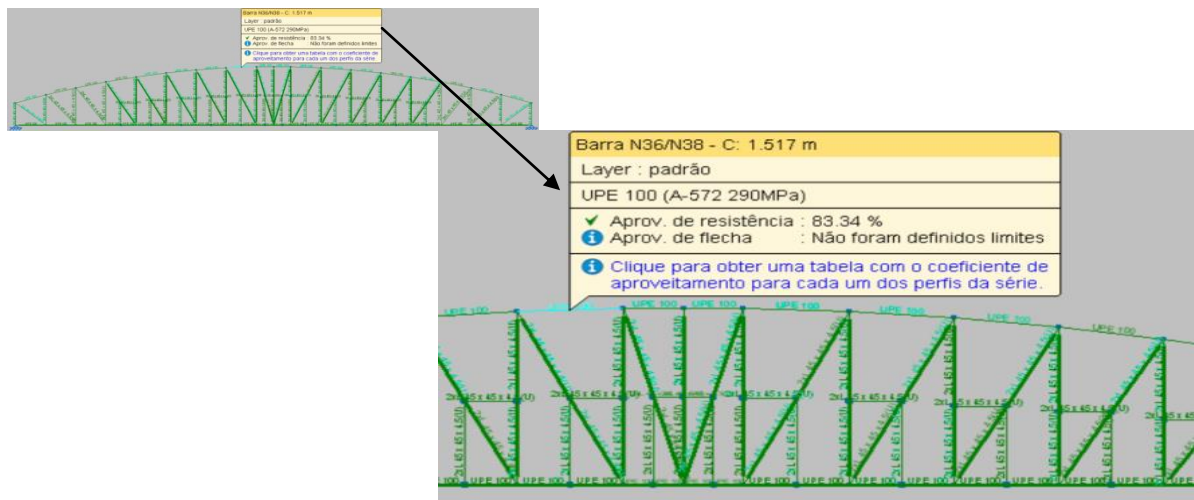
Fonte: Autores, 2017

Figura 42 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.



Fonte: Autores, 2017

Figura 43 - Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

Para uma melhor compreensão, segue o Quadro 9, com um resumo do dimensionamento final da Tipologia 01.

Quadro 9 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 01

MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	UPE	UPE 100	52,450	514,67
		L	L 45 X 45 X 4,5, Duplo U, União Genérica	131,65	806,09
		TOTAL:		184,100	1320,76

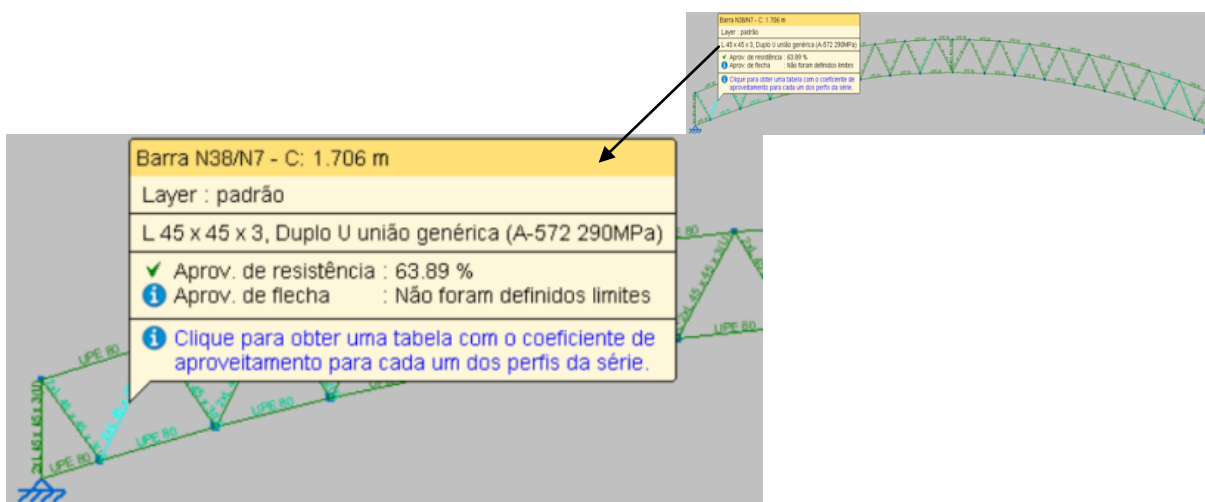
Fonte: Autores, 2017

5.1.2 Dimensionamento Tipologia 02

Na tipologia 02, o dimensionamento das diagonais foi refinado passando do perfil 45x45 #4 mm para 45x45 #3 mm (Figura 44), neste caso diminuindo aproximadamente 100 kg do peso das diagonais. Agora, com a alteração do perfil dos banzos (Figura 45), pode-se observar a diminuição substancial do peso da estrutura nos elementos estruturais constituintes.

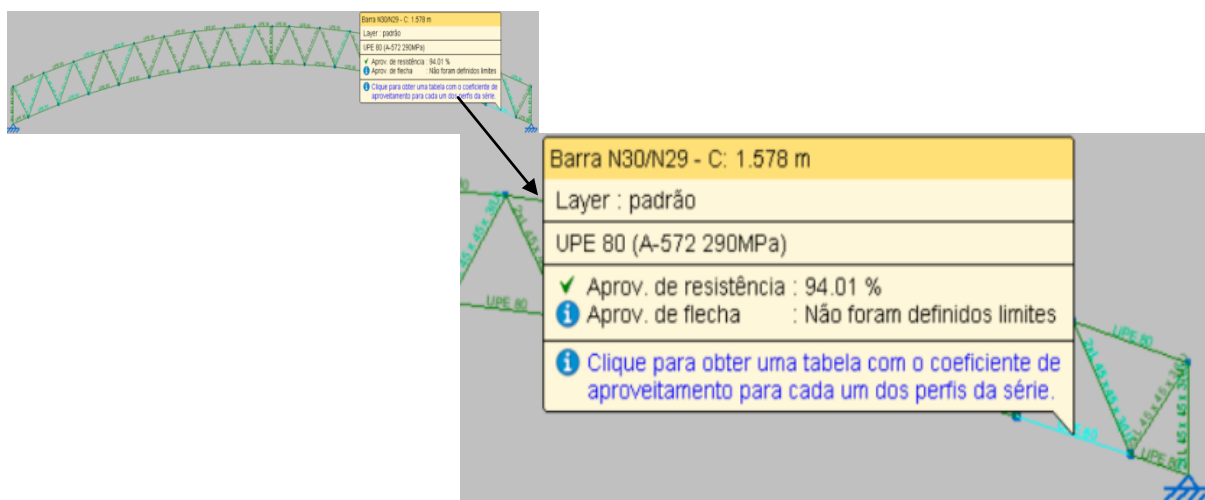
Neste dimensionamento final, a aprovação de resistência atende o estabelecido por norma sendo de 63,89% e 94,01%, para as diagonais e os banzos respectivamente. Tornando assim a estrutura dimensionada de uma forma mais econômica.

Figura 44 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.



Fonte: Autores, 2017

Figura 45 - Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

Assim como a tipologia 01, é possível verificar pela Figura 46 que nem sempre o perfil que tem a maior aprovação de resistência, sendo a mais próxima e menor de 100% acaba sendo o mais econômico se referindo a taxa de aço por metro linear da barra.

Figura 46 - Apresentação de catálogo de perfis para a diagonal mais solicitada.

Perfil	Peso	Resistência	Erros
✗ L 20 x 20 x 3, Duplo U união genérica	1.76	—	A barra não atende esbelt ...
✗ L 25 x 25 x 3, Duplo U união genérica	2.23	—	A barra não atende esbelt ...
✗ L 25 x 25 x 4, Duplo U união genérica	2.90	—	A barra não atende esbelt ...
✗ L 30 x 30 x 3, Duplo U união genérica	2.73	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 30 x 30 x 4, Duplo U união genérica	3.56	—	Impossível verificar flexo-...
✓ L 35 x 35 x 4, Duplo U união genérica	4.19	93.39 %	
✓ L 35 x 35 x 5, Duplo U união genérica	5.15	73.30 %	
✓ L 40 x 40 x 4, Duplo U união genérica	4.84	60.51 %	
✓ L 40 x 40 x 5, Duplo U união genérica	5.95	49.18 %	
✓ L 40 x 40 x 6, Duplo U união genérica	7.03	41.97 %	
✓ L 45 x 45 x 3, Duplo U união genérica	4.18	63.89 %	
✓ L 45 x 45 x 4, Duplo U união genérica	5.48	43.78 %	
✓ L 45 x 45 x 4.5, Duplo U união genérica	6.12	39.20 %	
✓ L 45 x 45 x 5, Duplo U união genérica	6.75	25.62 %	

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✗ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

Figura 47 - Apresentação de catálogo de perfis para o banzo mais solicitado.

Perfil	Peso	Resistência
✓ UPE 80	7.93	94.01 %
✓ UPE 100	9.81	66.67 %
✓ UPE 120	12.09	49.45 %
✓ UPE 140	14.44	38.09 %
✓ UPE 160	17.03	30.47 %
✓ UPE 180	19.70	24.93 %
✓ UPE 200	22.77	20.76 %
✓ UPE 220	26.61	17.01 %
✓ UPE 240	30.22	14.58 %
✓ UPE 270	35.17	12.24 %
✓ UPE 300	44.43	9.56 %
✓ UPE 330	53.22	7.89 %
✓ UPE 360	61.15	6.77 %
✓ UPE 400	72.14	5.69 %

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

Para uma melhor compreensão, segue o Quadro 10, com um resumo do dimensionamento final da Tipologia 02.

Quadro 10 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 02

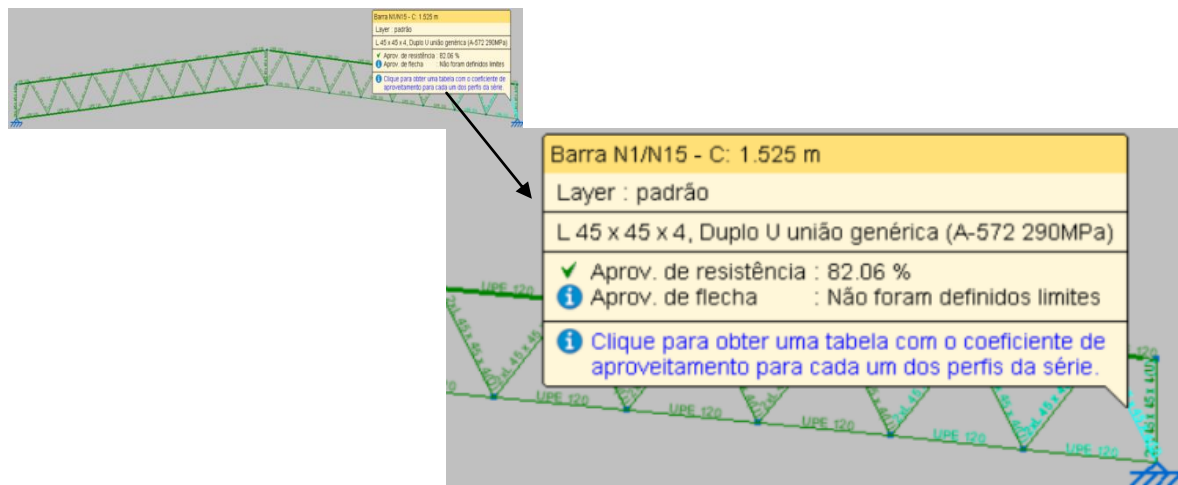
MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	UPE	UPE 80	52,896	419,38
		L	L 45 X 45 X 3, Duplo U, União Genérica	55,04	229,86
		TOTAL:		107,936	649,24

Fonte: Autores, 2017

5.1.3 Dimensionamento Tipologia 03

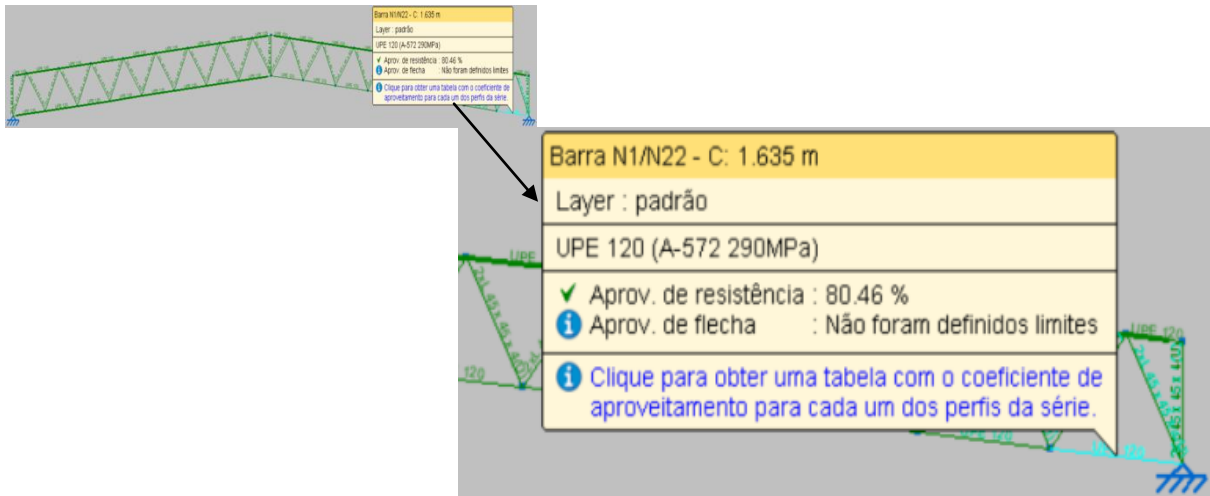
No pré-dimensionamento sendo a tipologia mais leve, pode-se observar que no dimensionamento final, o peso foi relativamente diminuído, porém não sendo menor do que o dimensionamento da tipologia 02. Neste dimensionamento foi possível apenas diminuir o perfil dos elementos que constituem os banzos (Figuras 49 e 51), sendo assim, as diagonais no pré-dimensionamento já estavam dimensionadas de forma que as mesmas sejam as mais leves e que atenda a solicitação de norma conforme figuras 48 e 50.

Figura 48 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.



Fonte: Autores, 2017

Figura 49- Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

Figura 50 - Apresentação de catálogo de perfis para a diagonal mais solicitada.

Perfil	Peso	Resistência	Erros
✗ L 20 x 20 x 3, Duplo U união genérica	1.76	—	A barra não atende esbelt...
✗ L 25 x 25 x 3, Duplo U união genérica	2.23	—	A barra não atende esbelt...
✗ L 25 x 25 x 4, Duplo U união genérica	2.90	—	A barra não atende esbelt...
✗ L 30 x 30 x 3, Duplo U união genérica	2.73	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 30 x 30 x 4, Duplo U união genérica	3.56	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 35 x 35 x 4, Duplo U união genérica	4.19	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 35 x 35 x 5, Duplo U união genérica	5.15	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 40 x 40 x 4, Duplo U união genérica	4.84	137.76 %	
✓ L 40 x 40 x 5, Duplo U união genérica	5.95	93.65 %	
✓ L 40 x 40 x 6, Duplo U união genérica	7.03	77.20 %	
✗ L 45 x 45 x 3, Duplo U união genérica	4.18	131.63 %	
✓ L 45 x 45 x 4, Duplo U união genérica	5.48	82.06 %	
✓ L 45 x 45 x 4.5, Duplo U união genérica	6.12	72.49 %	
✓ L 45 x 45 x 5, Duplo U união genérica	6.75	65.25 %	

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✗ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

Figura 51 - Apresentação de catálogo de perfis para o banzo mais solicitado.

Perfil	Peso	Resistência	Eros
✗ UPE 80	7.93	—	Impossível verificar flexo-compressão por compressão ...
✗ UPE 100	9.81	112.17 %	
✓ UPE 120	12.09	80.46 %	
✓ UPE 140	14.44	61.30 %	
✓ UPE 160	17.03	48.74 %	
✓ UPE 180	19.70	39.67 %	
✓ UPE 200	22.77	32.93 %	
✓ UPE 220	26.61	27.16 %	
✓ UPE 240	30.22	23.22 %	
✓ UPE 270	35.17	19.16 %	
✓ UPE 300	44.43	14.96 %	
✓ UPE 330	53.22	12.34 %	
✓ UPE 360	61.15	10.58 %	
✓ UPE 400	72.14	9.99 %	

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✗ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

Para uma melhor compreensão, segue o Quadro 11, com um resumo do dimensionamento final da Tipologia 03.

Quadro 11 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 03

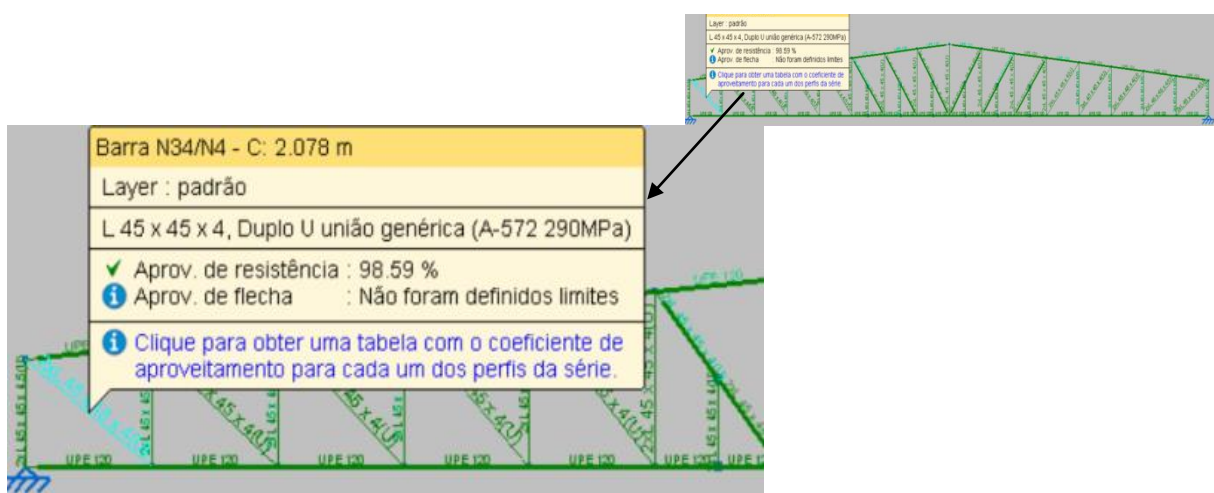
MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	UPE	UPE 120	52,260	631,77
		L	L 45 X 45 X 4, Duplo U, União Genérica	52,78	289,20
		TOTAL:		105,040	920,97

Fonte: Autores, 2017

5.1.4 Dimensionamento Tipologia 04

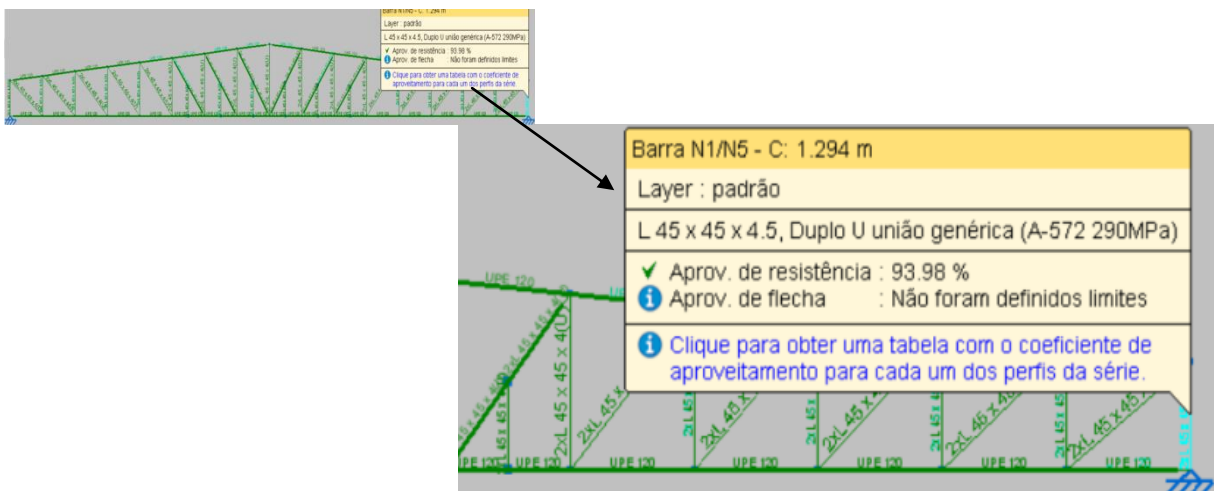
Na tipologia 04, foi possível manter as barras de 45x45#4 mm nos elementos centrais (Figuras 52 e 53), a tesoura e ainda adicionar barras para diminuir o comprimento das peças, neste caso, possibilitando que as barras que não estavam sendo aprovadas ao índice de esbelteza, agora serem aprovadas com o mesmo tipo de perfil. Os montantes que antes não estavam sendo aprovados, foram modificados para um perfil no qual é possível ser aprovado (Figuras 54 e 55). Neste caso os elementos foram aprovados com 93,98% e 93,66%, tornando desta forma uma estrutura mais leve e econômica. Atendendo os requisitos de norma.

Figura 52 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.



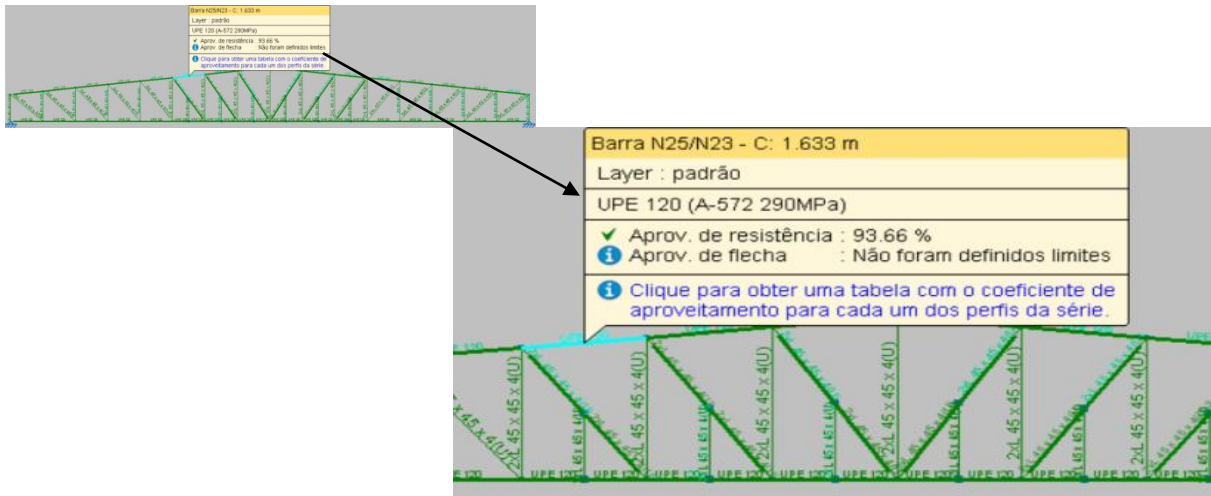
Fonte: Autores, 2017

Figura 53 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.



Fonte: Autores, 2017

Figura 54 - Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

Figura 55 - Apresentação de catálogo de perfis para a diagonal mais solicitada.

Perfil	Peso	Resistência	Erros
✗ L 25 x 25 x 3, Duplo U união genérica	2.23	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 25 x 25 x 4, Duplo U união genérica	2.90	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 30 x 30 x 3, Duplo U união genérica	2.73	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 30 x 30 x 4, Duplo U união genérica	3.56	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 35 x 35 x 4, Duplo U união genérica	4.19	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 35 x 35 x 5, Duplo U união genérica	5.15	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 40 x 40 x 4, Duplo U união genérica	4.84	207.77 %	
✗ L 40 x 40 x 5, Duplo U união genérica	5.95	126.43 %	
✓ L 40 x 40 x 6, Duplo U união genérica	7.03	98.62 %	
✗ L 45 x 45 x 3, Duplo U união genérica	4.18	196.09 %	
✗ L 45 x 45 x 4, Duplo U união genérica	5.48	109.28 %	
✓ L 45 x 45 x 4.5, Duplo U união genérica	6.12	93.98 %	
✓ L 45 x 45 x 5, Duplo U união genérica	6.75	83.25 %	
✓ L 45 x 45 x 6, Duplo U união genérica	7.99	69.49 %	

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✗ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

Figura 56 - Apresentação de catálogo de perfis para o banzo mais solicitado.

Perfil	Peso	Resistência	Erros
✗ UPE 80	7.93	—	Impossível verificar flexo-compressão por compressão ...
✗ UPE 100	9.81	143.08 %	
✓ UPE 120	12.09	93.66 %	
✓ UPE 140	14.44	70.63 %	
✓ UPE 160	17.03	55.98 %	
✓ UPE 180	19.70	45.48 %	
✓ UPE 200	22.77	37.72 %	
✓ UPE 220	26.61	31.08 %	
✓ UPE 240	30.22	26.57 %	
✓ UPE 270	35.17	22.24 %	
✓ UPE 300	44.43	16.97 %	
✓ UPE 330	53.22	13.99 %	
✓ UPE 360	61.15	12.00 %	
✓ UPE 400	72.14	10.07 %	

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✗ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

Para uma melhor compreensão, segue o Quadro 12, com um resumo do dimensionamento final da Tipologia 04.

Quadro 12 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 04

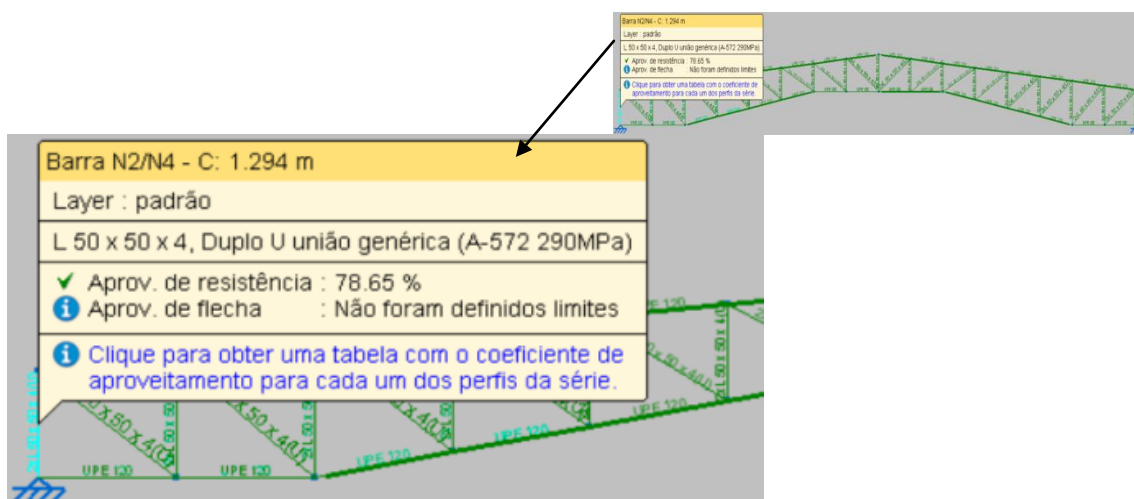
MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	UPE	UPE 120	52,131	630,21
		L	L 45 X 45 X 4,5, Duplo U, União Genérica	2,59	15,85
		L	L 45 X 45 X 4, Duplo U, União Genérica	76,48	419,05
		TOTAL:		131,197	1065,11

5.1.5 Dimensionamento Tipologia 05

Na verificação desta tipologia, foi possível verificar que a utilização do perfil 50x50#4mm para o uso das diagonais (Figuras 57 e 59) e teve um melhor aproveitamento quanto à aprovação do elemento assim como o menor meso por metro linear das barras, resultando em um menor peso para a estrutura. Para os banzos (Figuras 58 e 60) assim como as demais tipologias, foi possível “refinar” o dimensionamento, colocando um perfil mais leve que atende as solicitações da norma quanto a sua aprovação de resistência aos parâmetros pré-estabelecidos.

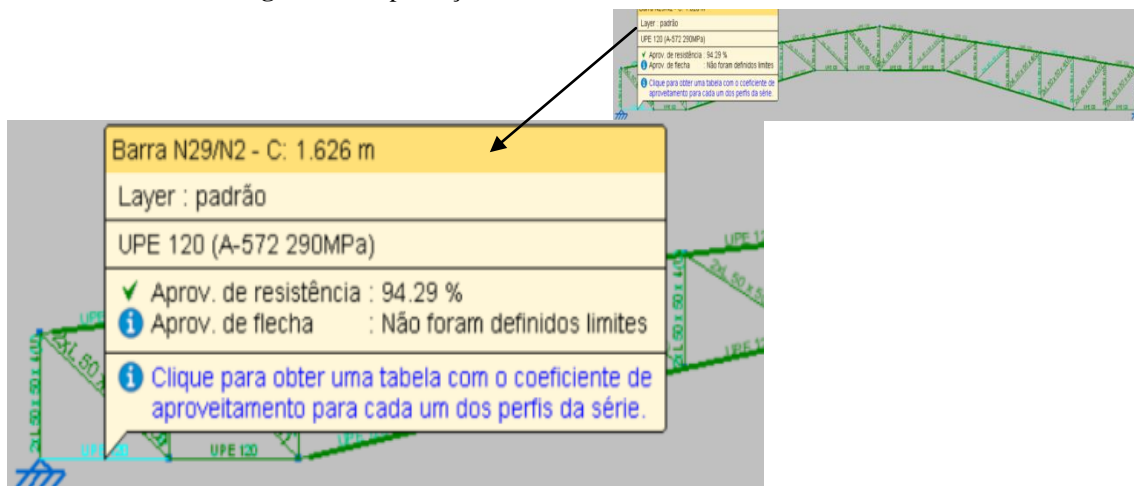
Neste caso, a estrutura foi dimensionada para que os elementos das diagonais e banzos sejam aprovados com 78,65% e 94,29% respectivamente. Atendendo ao pré-requisito deste estudo.

Figura 57 - Aprovação de resistência da diagonal mais solicitada.



Fonte: Autores, 2017

Figura 58 - Aprovação de resistência do banzo mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

Figura 59 - Apresentação de catálogo de perfis para a diagonal mais solicitada.

Perfil	Peso	Resistência	Eros
✗ L 30 x 30 x 4, Duplo U união genérica	3.56	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 35 x 35 x 4, Duplo U união genérica	4.19	—	Impossível verificar flexo-...
✗ L 35 x 35 x 5, Duplo U união genérica	5.15	824.97 %	
✗ L 40 x 40 x 4, Duplo U união genérica	4.84	181.58 %	
✗ L 40 x 40 x 5, Duplo U união genérica	5.95	120.26 %	
✓ L 40 x 40 x 6, Duplo U união genérica	7.03	94.75 %	
✗ L 45 x 45 x 3, Duplo U união genérica	4.18	182.82 %	
✗ L 45 x 45 x 4, Duplo U união genérica	5.48	105.53 %	
✓ L 45 x 45 x 4.5, Duplo U união genérica	6.12	90.87 %	
✓ L 45 x 45 x 5, Duplo U união genérica	6.75	80.49 %	
✓ L 45 x 45 x 6, Duplo U união genérica	7.99	66.10 %	
✓ L 45 x 45 x 7, Duplo U união genérica	9.20	56.54 %	
✓ L 50 x 50 x 4, Duplo U união genérica	6.11	78.65 %	
✓ L 50 x 50 x 5, Duplo U união genérica	7.54	60.52 %	

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✗ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

Figura 60 - Apresentação de catálogo de perfis para o banzo mais solicitado.

Perfil	Peso	Resistência	Eros
✗ UPE 80	7.93	—	Impossível verificar flexo-compressão por compressão ...
✗ UPE 100	9.81	144.07 %	
✓ UPE 120	12.09	94.29 %	
✓ UPE 140	14.44	71.18 %	
✓ UPE 160	17.03	56.46 %	
✓ UPE 180	19.70	45.89 %	
✓ UPE 200	22.77	38.07 %	
✓ UPE 220	26.61	31.39 %	
✓ UPE 240	30.22	26.84 %	
✓ UPE 270	35.17	22.47 %	
✓ UPE 300	44.43	17.17 %	
✓ UPE 330	53.22	14.16 %	
✓ UPE 360	61.15	12.14 %	
✓ UPE 400	72.14	10.18 %	

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✗ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

Para uma melhor compreensão, segue o Quadro 13, com um resumo do dimensionamento final da Tipologia 05.

Quadro 13 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 05

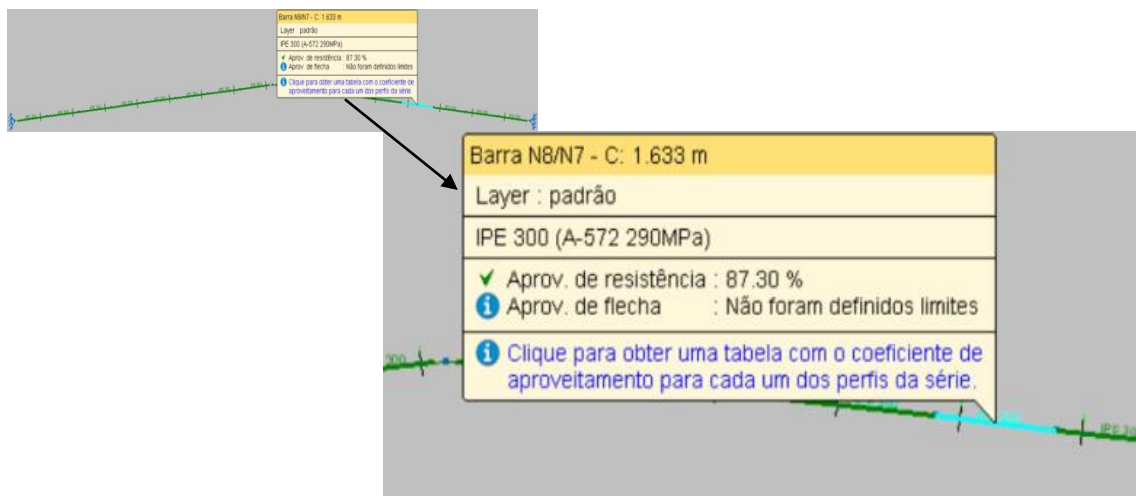
MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	UPE	UPE 120	52,362	633,01
		L	L 50 X 50 X 4, Duplo U, União Genérica	54,74	334,34
		TOTAL:		107,102	967,35

Fonte: Autores, 2017

5.1.6 Dimensionamento Tipologia 06

Para o dimensionamento final desta tipologia (Figura 61), foi possível diminuir o peso da estrutura (Figura 62), tendo em vista que a mesma não é constituinte por formas treliçadas, o perfil saiu de 66,33kg/m para 42,24kg/m e sua aprovação de resistência tornou-se mais aproveitoso com 87,30%.

Figura 61 - Aprovação de resistência da seção da viga mais solicitada.



Fonte: Autores, 2017

Figura 62 - Apresentação do catálogo de perfis para a seção da viga mais solicitada.

Perfil	Peso	Resistência	Erros
✗ IPE 100	8.09	—	Impossível verificar flexo-compressão por compressão ...
✗ IPE 120	10.36	—	Impossível verificar flexo-compressão por compressão ...
✗ IPE 140	12.87	—	Impossível verificar flexo-compressão por compressão ...
✗ IPE 160	15.78	429.44 %	
✗ IPE 180	18.76	315.69 %	
✗ IPE 200	22.37	237.17 %	
✗ IPE 220	26.22	183.91 %	
✗ IPE 240	30.69	144.21 %	
✗ IPE 270	36.03	111.16 %	
✓ IPE 300	42.23	87.30 %	
✓ IPE 330	49.14	69.92 %	
✓ IPE 360	57.07	56.50 %	
✓ IPE 400	66.33	40.30 %	
✓ IPE 450	77.56	31.63 %	

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✗ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

Para uma melhor compreensão, segue o Quadro 14, com um resumo do dimensionamento final da Tipologia 06.

Quadro 14 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 06

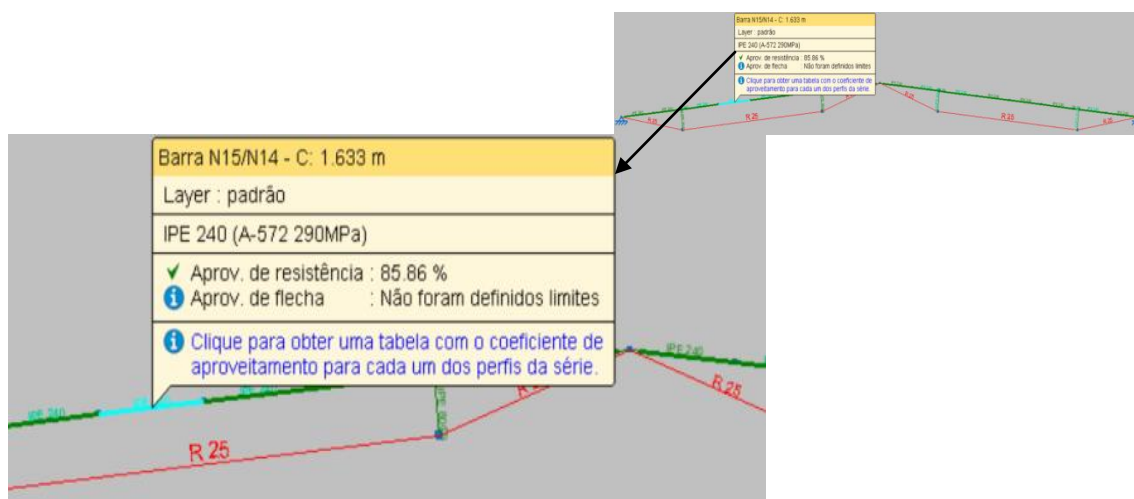
MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	IPE	IPE 300	26,131	1103,59
		TOTAL:		26,131	1103,59

Fonte: Autores, 2017

5.1.7 Dimensionamento Tipologia 07

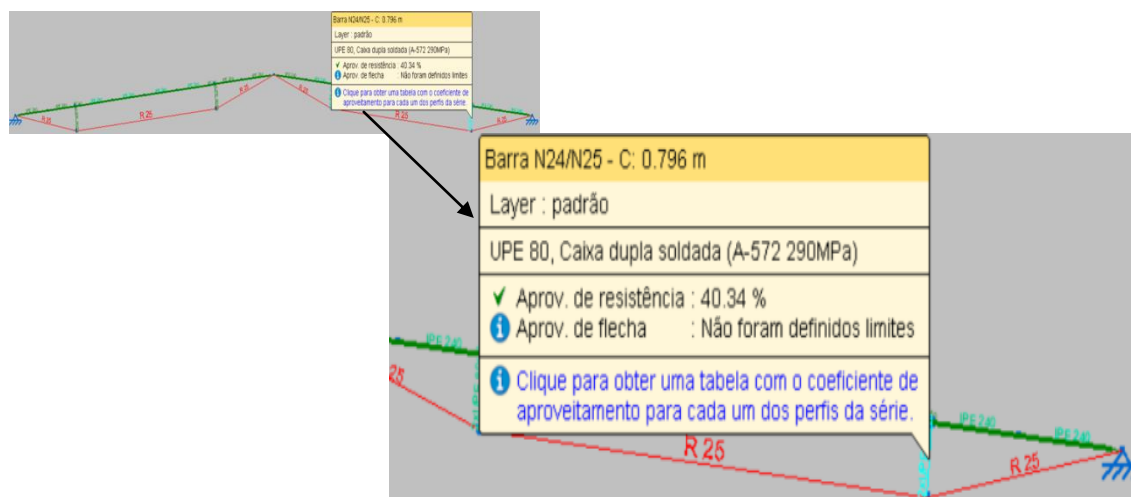
No dimensionamento final e refinamento da estrutura da tipologia 07, foi possível diminuir o perfil da viga para que a provação de resistência seja de 85,86% e o peso por metro linear diminua substancialmente. Para o perfil do montante (Figuras 63 e 65), foi aprovado o menor perfil da categoria do catálogo do fabricante, neste caso, foi definido que o perfil seria admitido no projeto final desta tipologia. Quanto às barras redondas, devido às mesmas estarem submetidas aos esforços axiais de tração, o aviso referente ao índice de esbeltez nesta análise torna-se irrisório ao dimensionamento, tendo em vista que os esforços resistentes da barra sobressaem aos esforços solicitantes.

Figura 63 - Aprovação de resistência da seção da viga mais solicitada.



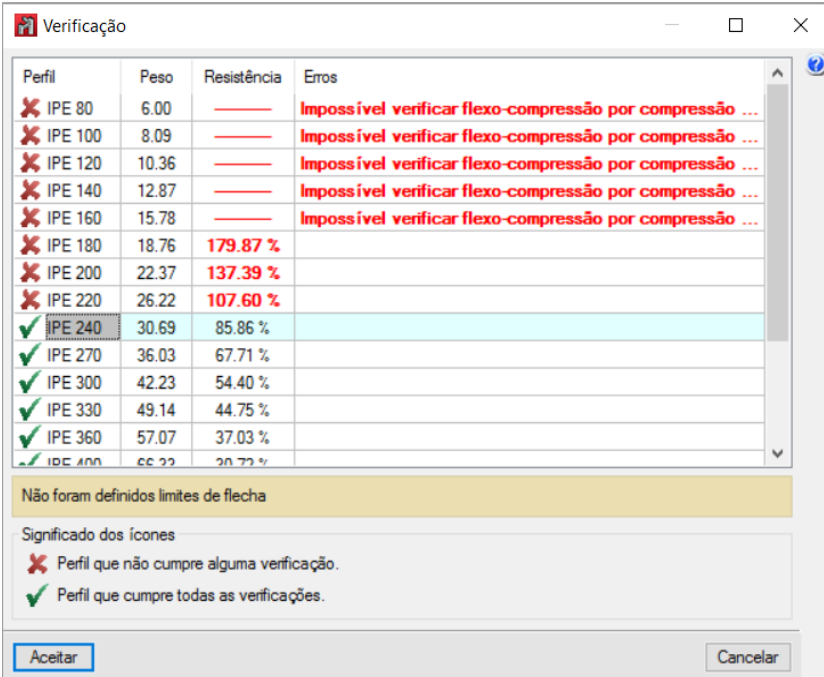
Fonte: Autores, 2017

Figura 64 - Aprovação de resistência da seção do montante mais solicitado.



Fonte: Autores, 2017

Figura 65 - Apresentação do catálogo de perfis para a seção da viga mais solicitada.



Perfil	Peso	Resistência	Eros
✗ IPE 80	6.00	—	Impossível verificar flexo-compressão por compressão ...
✗ IPE 100	8.09	—	Impossível verificar flexo-compressão por compressão ...
✗ IPE 120	10.36	—	Impossível verificar flexo-compressão por compressão ...
✗ IPE 140	12.87	—	Impossível verificar flexo-compressão por compressão ...
✗ IPE 160	15.78	—	Impossível verificar flexo-compressão por compressão ...
✗ IPE 180	18.76	179.87 %	
✗ IPE 200	22.37	137.39 %	
✗ IPE 220	26.22	107.60 %	
✓ IPE 240	30.69	85.86 %	
✓ IPE 270	36.03	67.71 %	
✓ IPE 300	42.23	54.40 %	
✓ IPE 330	49.14	44.75 %	
✓ IPE 360	57.07	37.03 %	
✓ IPE 400	66.22	30.72 %	

Não foram definidos limites de flecha

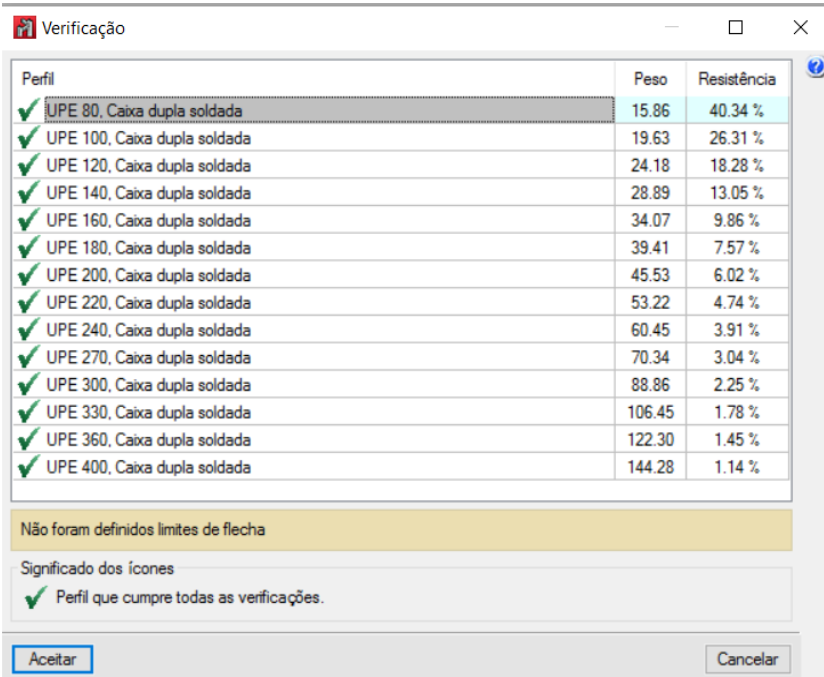
Significado dos ícones

- ✗ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

Figura 66 - Apresentação do catálogo de perfis para a seção do montante mais solicitado.



Perfil	Peso	Resistência
✓ UPE 80, Caixa dupla soldada	15.86	40.34 %
✓ UPE 100, Caixa dupla soldada	19.63	26.31 %
✓ UPE 120, Caixa dupla soldada	24.18	18.28 %
✓ UPE 140, Caixa dupla soldada	28.89	13.05 %
✓ UPE 160, Caixa dupla soldada	34.07	9.86 %
✓ UPE 180, Caixa dupla soldada	39.41	7.57 %
✓ UPE 200, Caixa dupla soldada	45.53	6.02 %
✓ UPE 220, Caixa dupla soldada	53.22	4.74 %
✓ UPE 240, Caixa dupla soldada	60.45	3.91 %
✓ UPE 270, Caixa dupla soldada	70.34	3.04 %
✓ UPE 300, Caixa dupla soldada	88.86	2.25 %
✓ UPE 330, Caixa dupla soldada	106.45	1.78 %
✓ UPE 360, Caixa dupla soldada	122.30	1.45 %
✓ UPE 400, Caixa dupla soldada	144.28	1.14 %

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✓ Perfil que cumpre todas as verificações.

Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2017

Para uma melhor compreensão, segue o Quadro 15, com um resumo do dimensionamento final da Tipologia 07.

Quadro 15 - Resumo do Dimensionamento Final – Tipologia 07

MATERIAL		Série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Tipo	Designação				
AÇO-LAMINADO	A-572 290MPa	ipe	ipe 240	26,131	802,05
		upe	upe 80, Caixa dupla Soldada	3,18	50,49
		R	R 25	26,55	102,29
		TOTAL:			55,861

Fonte: Autores, 2017

5.2 RESUMO DO DIMENSIONAMENTO

A partir da análise estrutural do dimensionamento das estruturas, conforme foi apresentado, foi possível extrair diversos resultados, tendo como principal resultado para ser utilizado neste estudo, o peso total de cada estrutura e a eficiência global.

O valor do peso total da estrutura foi obtido no estudo do dimensionamento e será analisado na análise final dos resultados junto com o resultado do pré-dimensionamento, a fim de comparar a importância que o calculista tem em avaliar os resultados obtidos no pré-dimensionamento bem como no dimensionamento final. Foi possível avaliar que o perfil com maior aproveitamento ao percentual de aprovação de resistência nem sempre é o perfil mais leve e com o menor consumo de aço para a estrutura.

Na tabela 5, segue o resumo dos resultados obtidos na análise do dimensionamento das estruturas. Vale salientar que o consumo do aço por unidade, é o resultado do produto entre o volume das barras a cada metro (m) pelo peso específico do aço.

Tabela 5 - Resumo do Dimensionamento
(Tipologia X Peso da Estrutura)

TIPOLOGIA	PESO (Kg)
01	1.320,76
02	649,24
03	920,97
04	1065,11
05	967,35
06	1103,59
07	954,83

Fonte: Autores, 2017

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS FINAIS

A partir do resultado do pré-dimensionamento e do dimensionamento, é possível verificar o peso do aço, eficiência global da estrutura e o consumo total por tipologia, no qual será apresentado por meio de gráficos de barras. Desta forma, é possível a visualização da comparação dos resultados obtidos em todos os casos estudados nos capítulos anteriores.

Os valores do peso da estrutura serão apresentados na unidade de Kgf quilograma força.

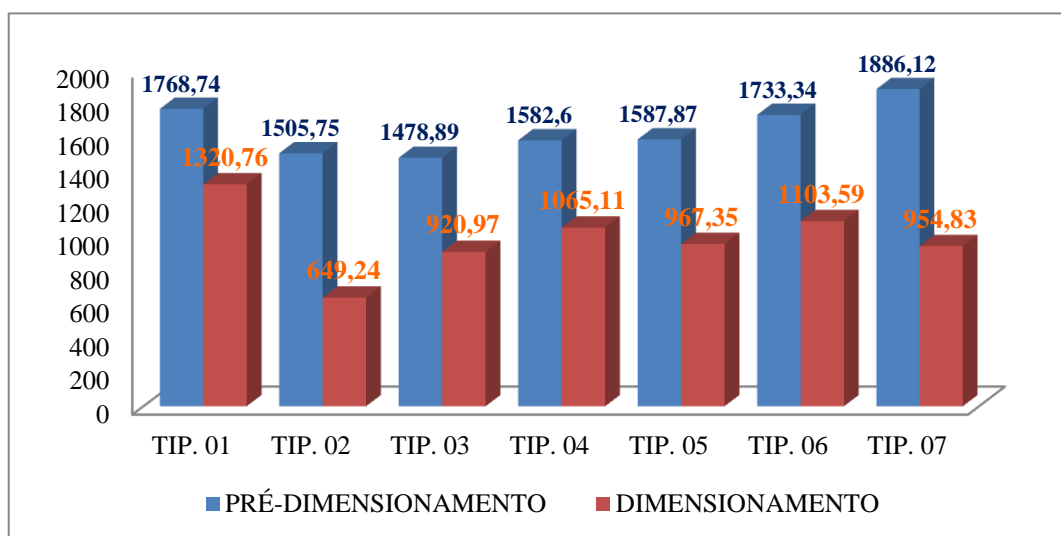
A eficiência a aprovação da resistência global da estrutura será apresentado por meio de percentual, separada por dois grupos, sendo eles:

- Grupo A: Diagonais, montantes de tesouras ou de vigas simples (tipologia 07);
- Grupo B: Banzos de tesouras e/ou vigas simples em perfil laminado;

6.1 PESO TOTAL DAS ESTRUTURAS

Assim, conforme apresentado na figura 67 a seguir, a tipologia mais pesada no pré-dimensionamento foi a tipologia 07 com 1.886,12kgf e a mais leve foi a tipologia 03 com 1.478,89kgf. Porém, no dimensionamento e refinamento da estrutura final, a tipologia mais pesada é a tipologia 01 e a mais leve é a tipologia 02.

Figura 67 - Gráfico dos pesos por tipologia no pré-dimensionamento e no dimensionamento final.



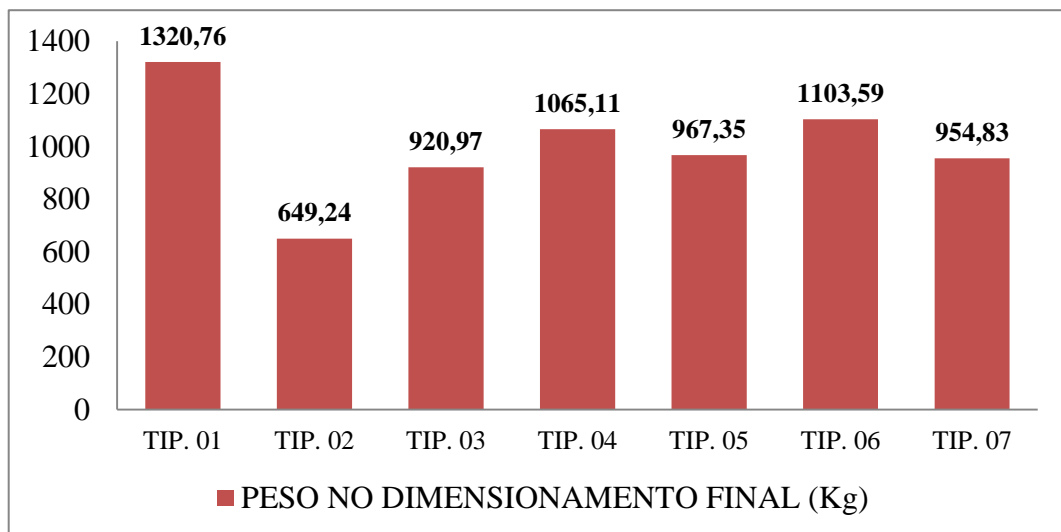
Fonte: Autores, 2017

Os resultados verificados pressupõem que a comparação entre o pré-dimensionamento e o dimensionamento final é de suma importância na análise da estrutura pelo calculista que a esta dimensionando, tornando-a mais leve e economicamente viável para a execução.

Outra análise importante que nos leva a pensar é que as tipologias no pré-dimensionamento possuem um valor do peso total da estrutura muito próxima uma da outra, levando a pensar que as considerações representadas no capítulo 04 levam-se a pensar ou até mesmo confirmar que estão corretas.

Para o dimensionamento, a verificação do comportamento e peso das tipologias (Figura 68), segue uma tendência semelhante ao pré-dimensionamento a pesar dos valores.

Figura 68 - Gráfico do peso das estruturas no dimensionamento final



Fonte: Autores, 2017

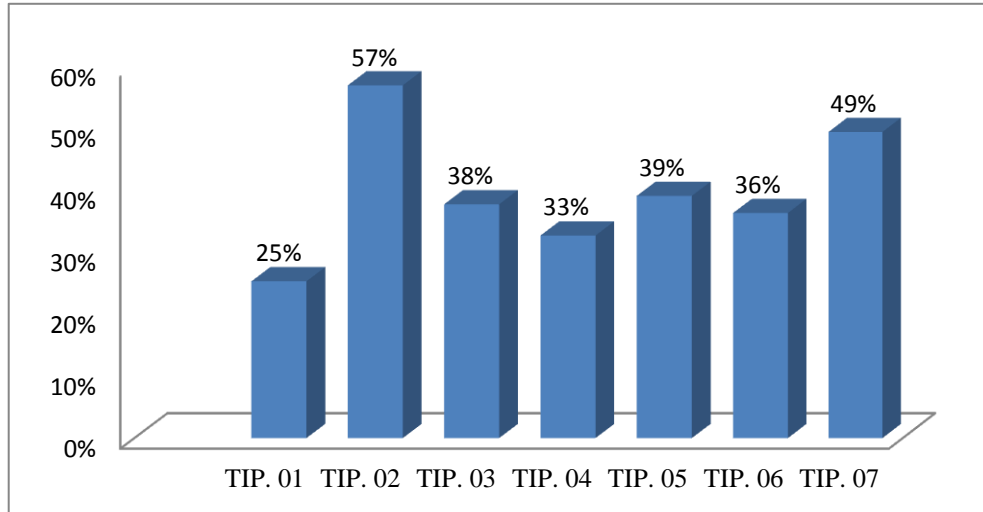
É importante observar que nem sempre a estrutura mais leve no pré-dimensionamento acaba sendo a estrutura mais leve no dimensionamento final, assim como apresentado entre as tipologias 03 e 02. No qual, no pré-dimensionamento a tipologia 03 apresentou ser menos pesada do que as demais, porém no dimensionamento, a tipologia 02 nos prova o contrário.

6.2 PERCENTUAL DE ECONOMIA COM RELAÇÃO AO PESO

Conforme o gráfico a seguir no qual apresenta a economia no peso da estrutura entre a análise do pré-dimensionamento e o dimensionamento (Figura 69), é possível afirmar que o dimensionamento final leva o projetista a um dimensionamento mais econômico, neste caso

relevando a importância da análise dos resultados entre o pré-dimensionamento e o dimensionamento final.

Figura 69 - Gráfico do Percentual de economia no peso da estrutura entre o pré-dimensionamento e o dimensionamento final

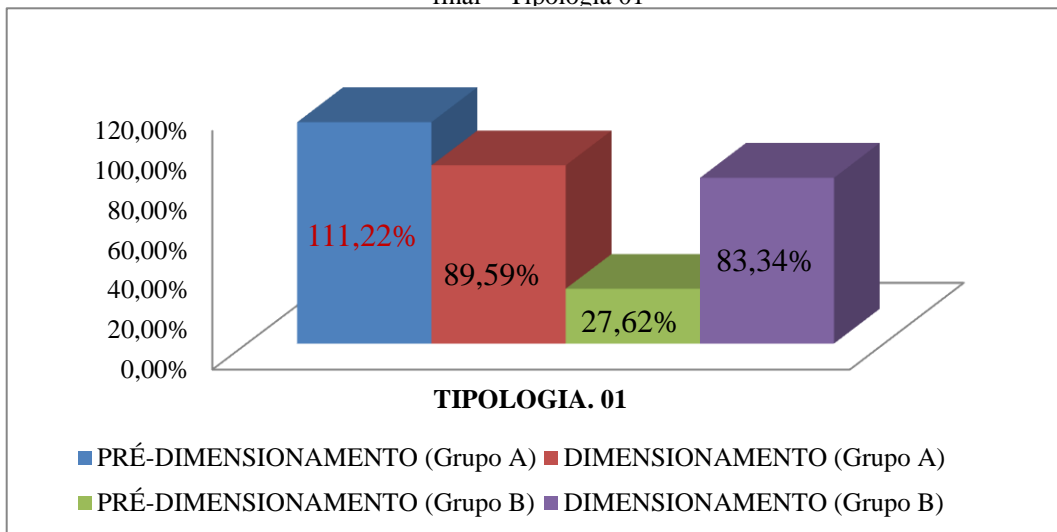


Fonte: Autores, 2017

6.3 EFICIÊNCIA TOTAL DA ESTRUTURA POR GRUPO DE ELEMENTOS

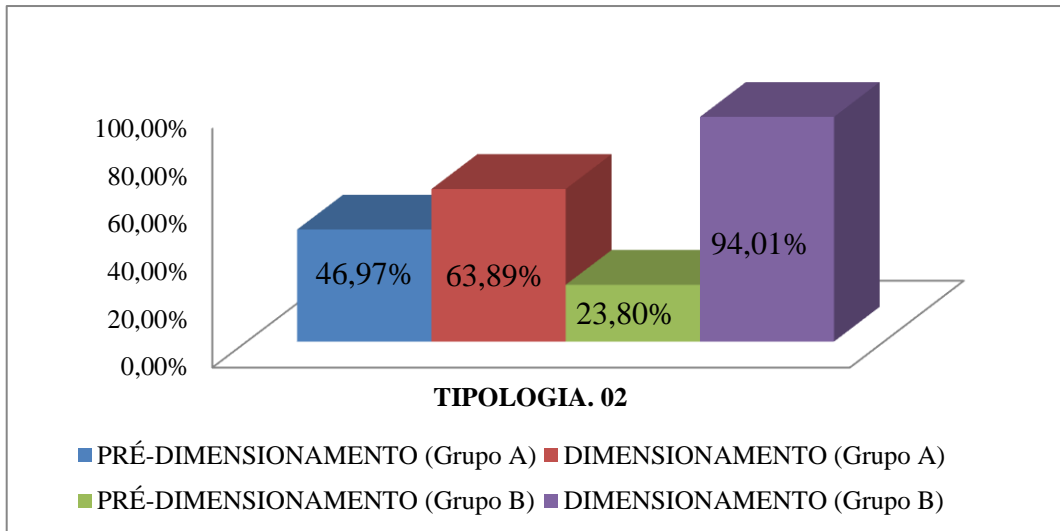
Nas figuras 70 a 76 apresenta por tipologias a eficiência global da estrutura. Lembrando que o percentual maior do que 100% a estrutura não foi aprovada quanto a sua resistência, sendo a mais eficiente a mais próxima e menor que 100%.

Figura 70 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 01



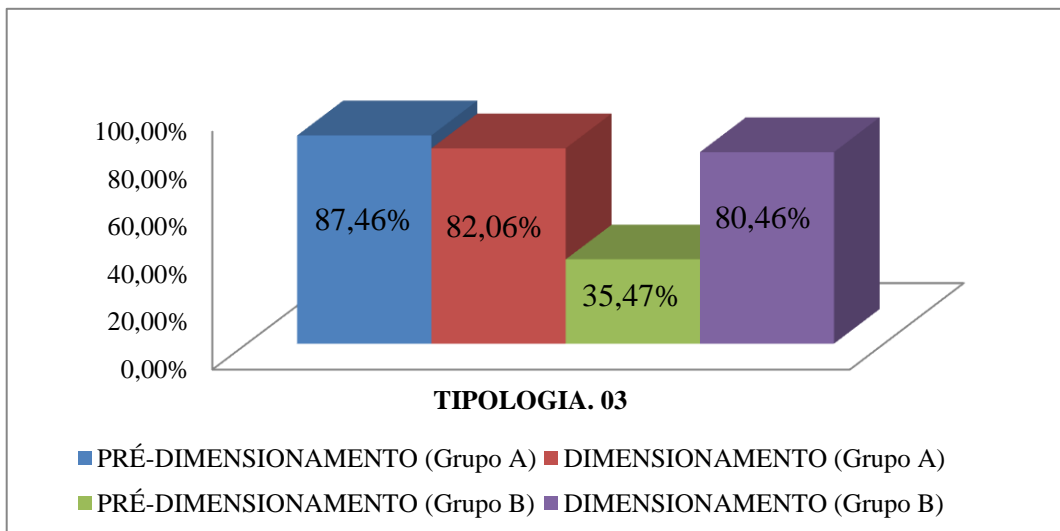
Fonte: Autores, 2017

Figura 71 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 02



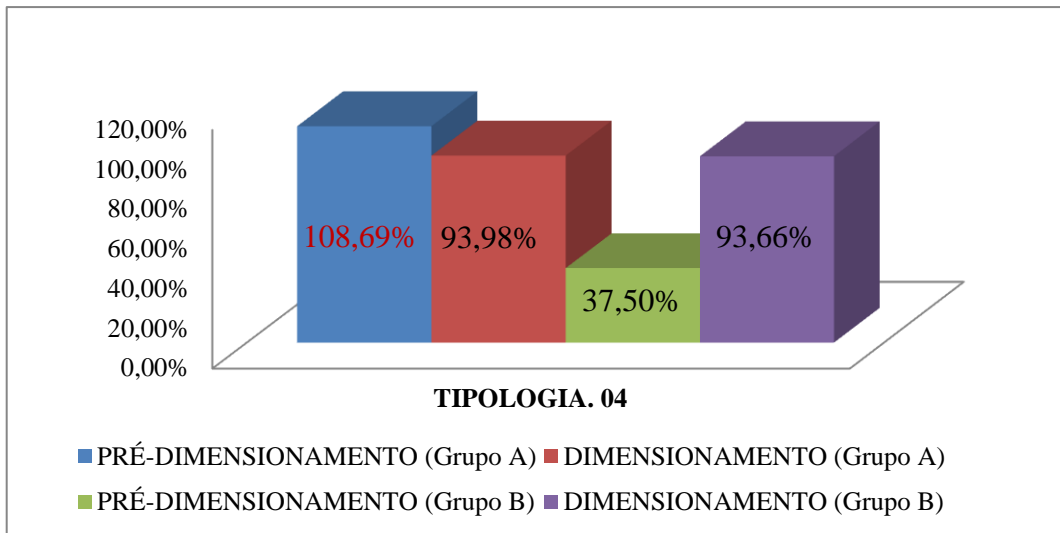
Fonte: Autores, 2017

Figura 72 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 03



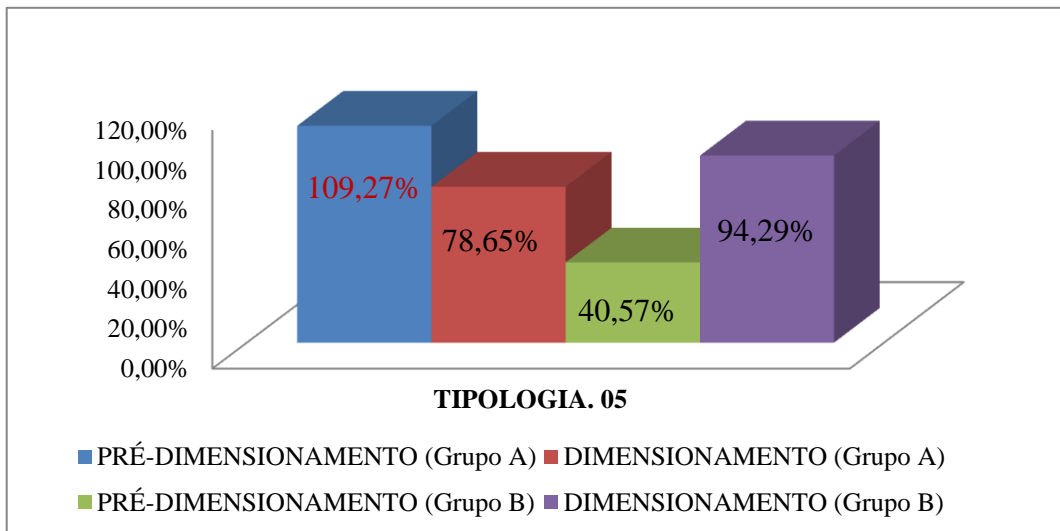
Fonte: Autores, 2017

Figura 73 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 04



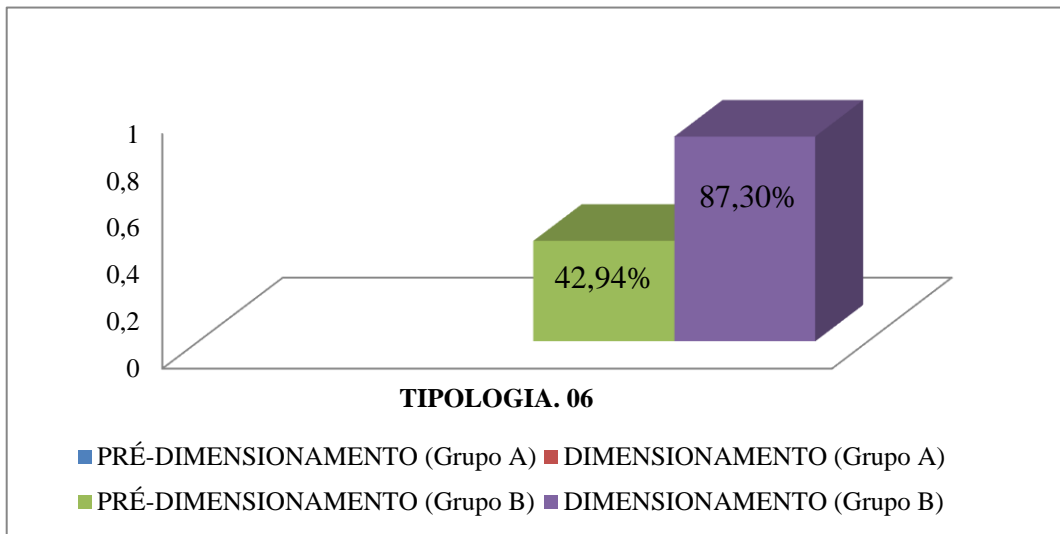
Fonte: Autores, 2017

Figura 74 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 05



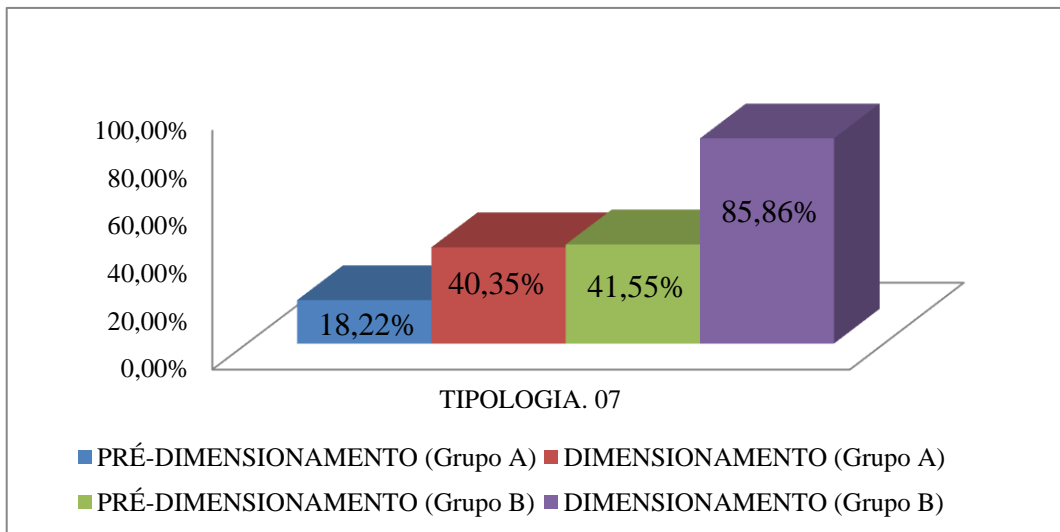
Fonte: Autores, 2017

Figura 75 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 06



Fonte: Autores, 2017

Figura 76 - Percentual de aprovação à resistência no pré-dimensionamento e no dimensionamento final – Tipologia 07



Fonte: Autores, 2017

Nota-se que no dimensionamento final, os elementos constituintes tanto no grupo A quanto no grupo B, foram bem aproveitados, ficando mais próximo e abaixo de 100%. Por outro lado, existem elementos no pré-dimensionamento dos quais a aprovação de resistência ultrapassa a linha limite de 100%.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dada à relevância do assunto para projetistas de estruturas metálicas e futuros engenheiros, o desenvolvimento do presente estudo com o auxílio do software metálico, possibilitou uma análise sobre qual a melhor tipologia, para se utilizar na estrutura da cobertura de um galpão industrial sem ponte rolante.

Vale ressaltar que se faz necessário a avaliação do custo para a fabricação e execução de cada tipologia aqui mencionada. Avaliação que por sua vez pode ser objeto de estudo para próximos trabalhos.

Conclui-se que é de suma importância a avaliação do projetista estrutural em sua análise criteriosa entre o pré-dimensionamento e o dimensionamento final. Tal cuidado pode proporcionar uma estrutura mais esbelta e com um peso total mais econômico.

Conforme apresentado na avaliação dos resultados, observou-se que a pesquisa teve seu objetivo atendido, quando aparentemente a tipologia 3 (treliça com banzo paralelo), apresentava um melhor desempenho estrutural e menor peso. Ao analisar o dimensionamento final, chega-se à conclusão de que na verdade a tipologia 2 (arco paralelo), destacou-se em todos os aspectos econômicos e fatores de resistência, com um peso total de apenas 649,24kg. Sendo possível afirmar que a porcentagem de economia entre as tipologias 2 e 3 é de 56%, ou seja, uma diferença relevante.

Além de analisar valores numéricos, comprova-se que o projetista e responsável técnico devem sempre realizar comparações entre o pré-dimensionamento e o dimensionamento final, para obter um resultado valoroso, quando se tratar da melhor tipologia para um determinado galpão industrial.

Sendo assim, a análise criteriosa da tipologia mais adequada à arquitetura do projeto, pode proporcionar uma estrutura mais segura e econômica.

REFERÊNCIAS

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

_____. **Carga para o cálculo de estruturas de edificações**: NBR 6120. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **Foças devidas ao vento em edificações**: NBR 6123. Rio de Janeiro, 1988.

BREUNIG, Márcio Nelson. **Análise do desempenho das diferentes topologias de estruturas treliçadas utilizadas em coberturas de pavilhões industriais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2008.

CHIAVERINI, V. **Aço e Ferros Fundidos**. 7ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1996.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. 5ª ed. São Paulo: Zigurate, 2006.

FONSECA, M. da. **Otimização de estruturas treliçadas planas e espaciais sob carregamentos estáticos e dinâmicos, usando Algoritmos Genéticos e Redes Neurais**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

INSTITUTO Aço Brasil; Zacarias M. Chamberlain Pravia (revs.), Gilnei Artur Drehmer e Enio Mesacasa Júnior. **Galpões para usos gerais** - Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.

MALITE, M.; GONÇALVES, R. M.; SÁLES, J.J.; MAGALHÃES, J.R.M.; SALLES, E.R.P. (1998). **Space structures in Brazil**. In: **WORLD CONFERENCE ON STEEL IN CONSTRUCTION**. San Sebastian, Spain. Proceedings. Oxford, Elsevier Science, 1998.

PEREIRA, J. P. G. **Heurísticas computacionais aplicadas à otimização estrutural de treliças bidimensionais**. Dissertação (Mestrado) – Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PFEIL, Walter. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático / Walter Pfeil, Michèle Pfeil**. - 8. Ed. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2014.

PRAVIA, Zacarias Martin Chamberlain. **Pré-Dimensionamento De Sistemas Estruturais De Aço E Madeira**. 1ª. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~zacarias/predimen.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2017.

REBELLO, Y. C. P. **Concepção estrutural e arquitetura**. São Paulo: Zigurate, 2000.

RIBEIRO, L. M. P. **Otimização e dimensionamento de treliças planas de madeira empregando o método dos algoritmos genéticos**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

ROSSATTO, Bárbara Maier. **Estudo Comparativo De Uma Edificação Em Estrutura Metálica/Concreto Armado: Estudo De Caso.** 2015. 90 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS, 2015. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1_2015/TCC_BARBARA%20MAIER%20ROSSATTO.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2017.

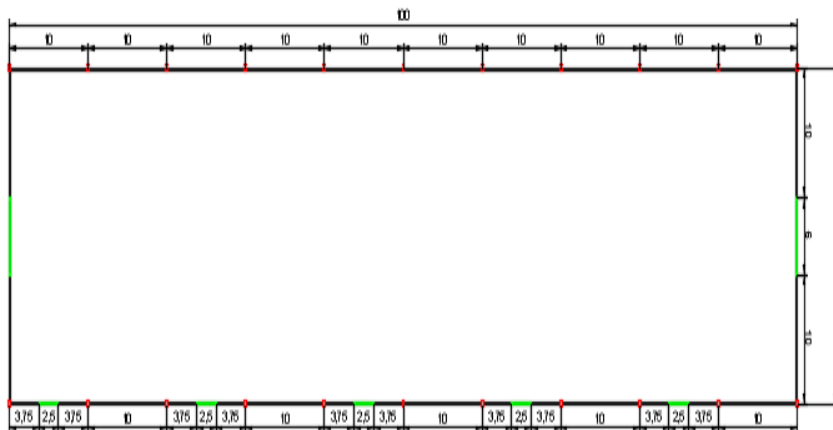
APÊNDICE A – Cálculo das Pressões Dinâmicas Devido às Cargas de Vento

CÁLCULO DAS PRESSÕES DINÂMICAS DEVIDO AS CARGAS DE VENTO

A arquitetura como objeto de estudo deste trabalho, baseia-se em uma edificação com as seguintes características:

- Largura: 26 metros;
- Comprimento: 100 metros;
- Finalidade: Industrial sem necessidade de ponte rolante;
- Localização: Goiás;
- Velocidade básica do vento: 35 metros por segundo;
- Região: Terreno coberto por numerosos obstáculos e pouco espaço;
- Tipo de cobertura: Duas águas ou Arco
- Inclinação: 10%;
- Telhas: STANDARD.

Imagem 1 - Planta-Baixa do Pavilhão Industrial



I. Cálculo de vento (conforme ABNT NBR 6123 / 1988) para Cobertura em Duas Águas e Arco.

Imagem 2 - Fachada em Duas Águas

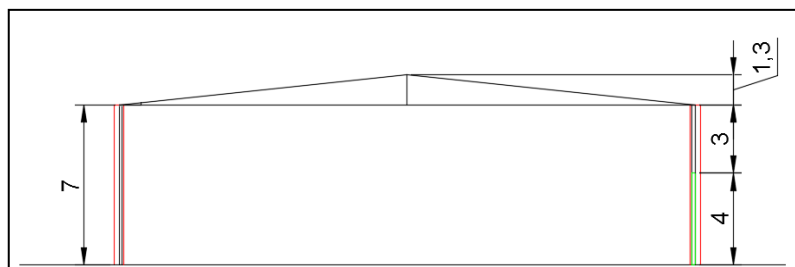
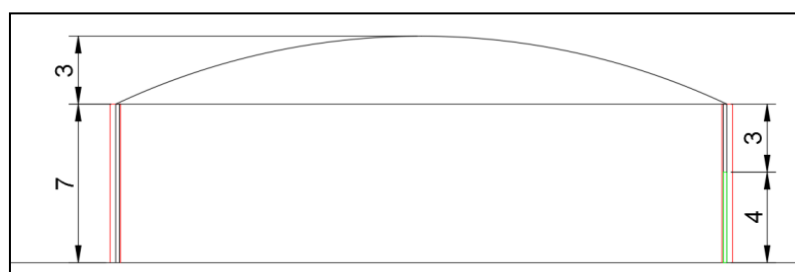


Imagem 3 - Fachada em Arco



1. Velocidade Básica do vento (V_0)

$$V_0 = 35\text{m/s.}$$

2. Fator Topográfico (S_1):

Terreno plano e fracamente acidentado $S_1 = 1$.

3. Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno. (S_2).

- Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizados.

- Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50m.

$$S_2 = b.Fr.(z/10)^p$$

$$S_2 = 0,93 * 0,95 * (8,31/10)^{0,12}$$

$$S_2 = 0,86.$$

4. Fator estatístico:

$$S_3 = 0,95.$$

5. Determinação das forças estáticas:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

$$V_k = 35 \cdot 1 \cdot 0,86 \cdot 0,96$$

$$V_k = 28,90 \text{ m/s}$$






6. Pressão Dinâmica:

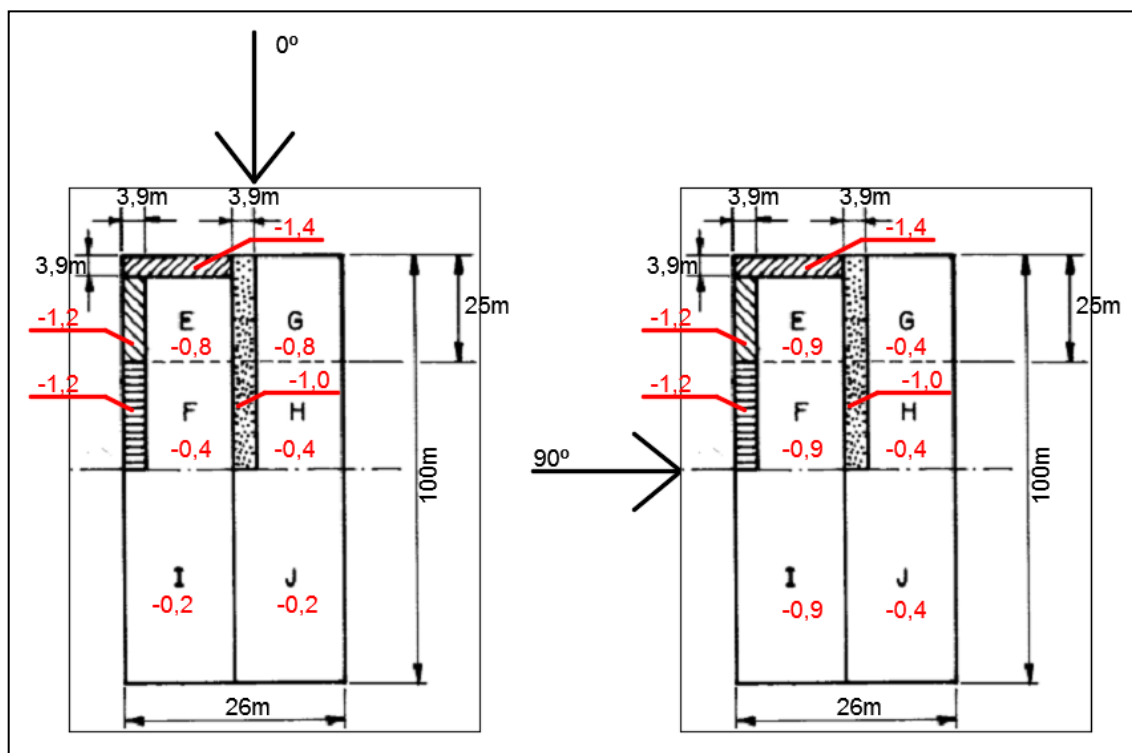
$$q = 0,613 V_k^2 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$q = 0,613 \cdot (26,88)^2 = 511,98 \text{ N/m}^2$$

$$q = 51,20 \text{ Kg/m}^2$$

7. Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular:

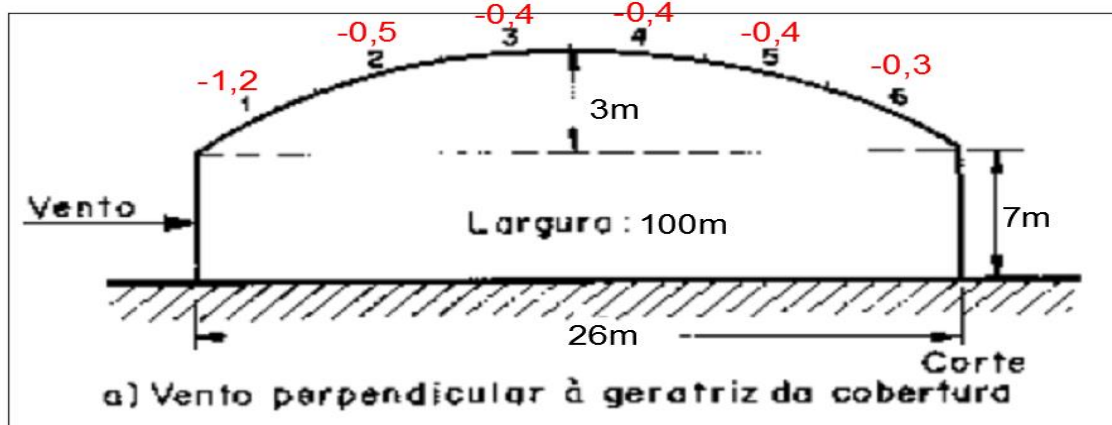
Altura relativa	θ	Valores de C_e para				c_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ (A)$		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1	



8. Coeficientes de pressão e de forma, externos, para cobertura em curva, simétricos, em edificações de planta retangular.

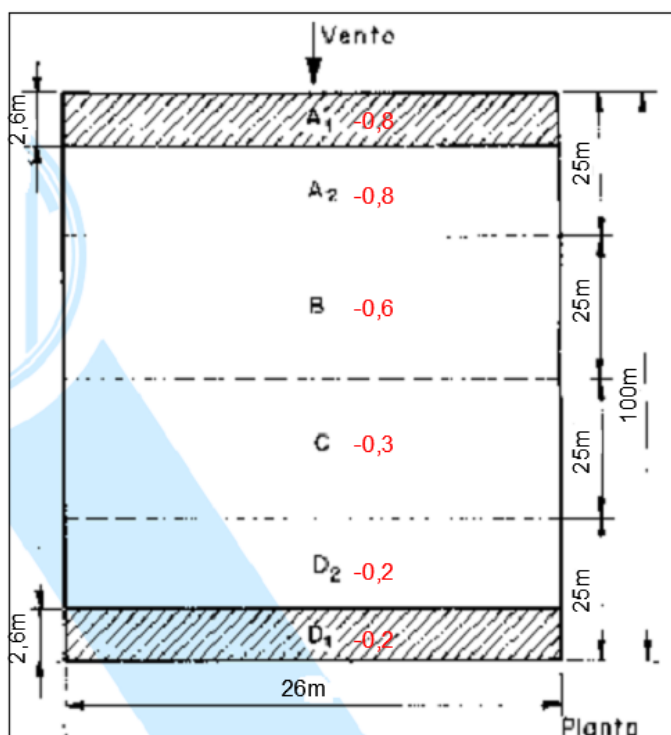
- Coeficientes de pressão externa, C_{pe} , para vento soprando perpendicularmente à geratriz da cobertura.

f/l_2	h/l_2	C_{pe} para a parte					
		1	2	3	4	5	6
1/5	0	+0,3	-0,3	-0,6	-0,7	-0,6	-0,2
	1/8	-0,5	-0,5	-0,7	-0,7	-0,5	-0,2
	1/4	-0,9	-0,6	-0,8	-0,8	-0,4	-0,2
	1/2	-1,2	-0,7	-0,9	-0,8	-0,3	-0,2
	1	-1,4	-0,8	-0,9	-0,9	-0,4	-0,4
1/10	5	-1,8	-1,0	-1,1	-1,2	-0,8	-0,7
	1/8	-1,0	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3
	1/4	-1,2	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3
	1/2	-1,5	-1,0	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3
	1	-1,6	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3



- Coeficientes de pressão externa, C_{pe} , para vento soprando paralelamente á geratriz da cobertura.

Parte da cobertura	$A_1 + A_2$	B	C	$D_1 + D_2$
C_{pe}	-0,8	-0,6	-0,3	-0,2



9. Coeficientes de Pressão Interna:

Área da abertura dominante na face de Barlavento: $5 * 4 * 2,5 = 50\text{m}^2$

Área das aberturas da outras duas faces de igual permeabilidade: $6 * 4 = 24\text{m}^2 * 2 = 48\text{m}^2$

- Proporção $50/48 = 1,04$ (arredonda-se para 1).

$$C_{pi} = +0,1$$

10. Esforços atuantes na cobertura (Cargas de Vento):

$$F = (C_e - C_i) q A$$

Imagem 4 - Vento a 0° ($C_{pi} = +0,1$) – Cobertura em Duas Águas

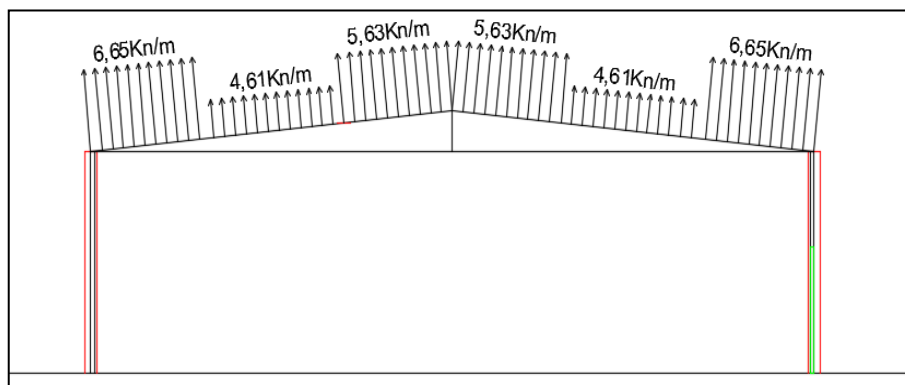


Imagem 5 - Vento a 90° ($C_{pi} = +0,1$) – Cobertura em Duas Águas

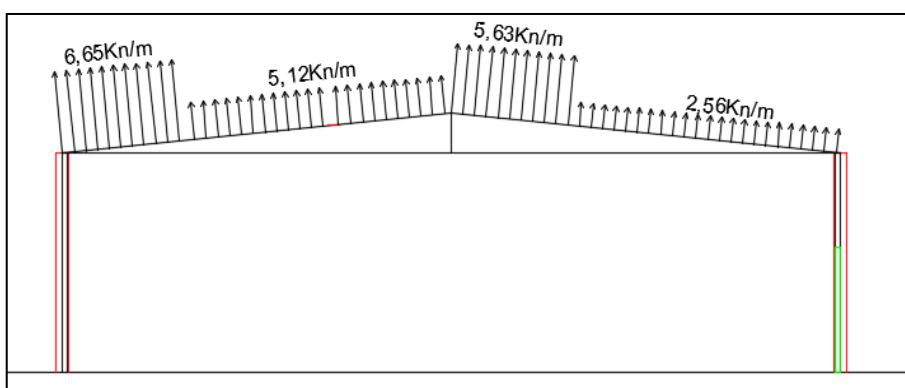


Imagem 6 - Vento a 0° ($C_{pi} = +0,1$) – Cobertura Arco

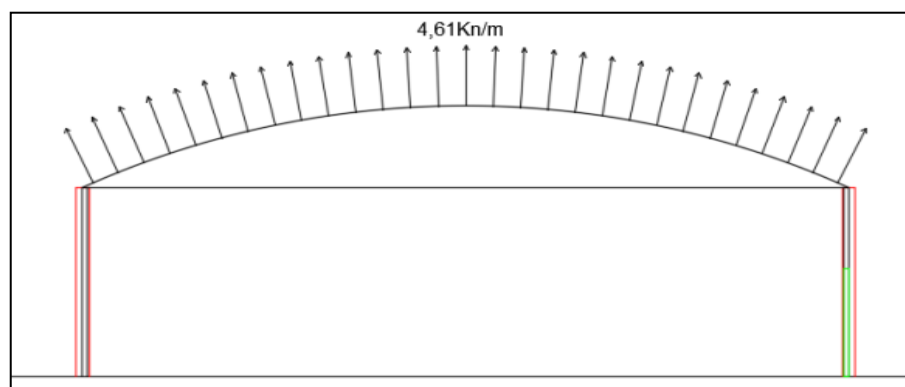
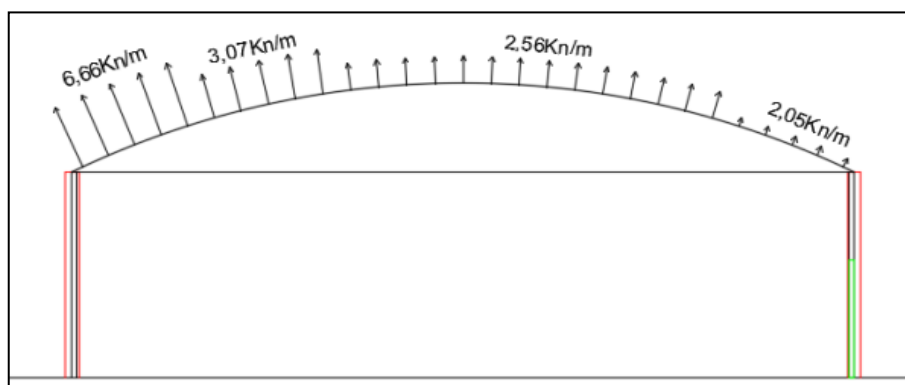


Imagem 7 - Vento a 90° ($C_{pi} = +0,1$) – Cobertura em Arco

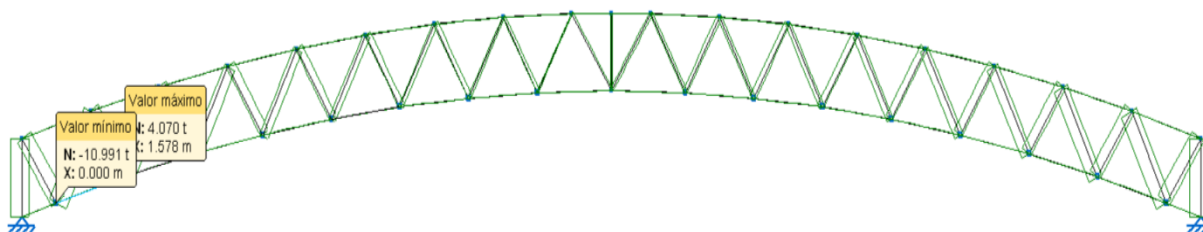


APÊNDICE B – Cálculo das solicitações dos esforços axiais de tração, compressão, momento fletor e cortante.

CÁLCULO DAS SOLICITAÇÕES DOS ESFORÇOS AXIAIS DE TRAÇÃO, COMPRESSÃO, MOMENTO FLETOR E CORTANTE.

I. Barras Tracionadas

Como objeto de estudo, será avaliada uma barra estudada no dimensionamento da treliça de tipologia 02 conforme esforços apresentado a seguir, podemos ver que a barra submetida aos esforços combinados pelas envoltórias o valor mínimo foi de -10,991t e o valor máximo foi de 4,070t. Neste caso iremos apresentar o passo-a-passo do dimensionamento da barra de 1,578m ao esforço de 10,991t submetido à tração.



Barra N1/N2

Perfil: UPE 80										
Material: Aço (A-572 290MPa)										
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas						
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)	
	N1	N2	1.578	10.10	107.20	25.41	1.47	-6.80	0.00	
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia relativamente ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade									
			Encurvadura		Encurvadura lateral					
		Plano ZX	Plano ZY	Banzo sup.		Banzo inf.				
β		1.00	1.00	0.00		0.00				
L _K		1.578	1.578	0.000		0.000				
C _b		-		1.000						
Anotação: β: Coeficiente de encurvadura L _K : Comprimento de encurvadura (m) C _n : Fator de modificação para o momento crítico										

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
N1/N2	x: 0 m $\lambda \leq 200.0$ Verifica	x: 1.578 m $\eta = 2.0$	x: 0 m $\eta = 0.1$	N.P.(1)	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(3)	N.P.(4)	N.P.(5)	N.P.(6)	VERIFICA $\eta = 2.0$
<p>Anotação: λ: Limitação do índice de esbeltez N_t: Resistência à tração N_c: Resistência à compressão M_x: Resistência à flexão eixo X M_y: Resistência à flexão eixo Y V_x: Resistência ao esforço transversal X V_y: Resistência ao esforço transversal Y NM_xM_y: Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante $\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede</p> <p>Verificações que não são necessárias (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor. ⁽²⁾ A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal. ⁽³⁾ Não existe interação entre o esforço axial e momento fletor nem entre momentos flectores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁴⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽⁵⁾ Não há interação entre o esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁶⁾ Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos flectores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.</p>												

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

A esbelteza das barras comprimidas, tomada como a maior relação entre o comprimento de encurvadura e o raio de rotação correspondente, não deve ser superior a 200.

$$\lambda \leq 200$$

$$\lambda : \quad \underline{\underline{99.5}} \quad \checkmark$$

Em que:

λ : Índice de esbeltez.

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$$

$$\lambda_x : \quad \underline{\underline{48.4}}$$

$$\lambda_y : \quad \underline{\underline{99.5}}$$

Sendo:

$K_x \cdot L_x$: Comprimento de encurvadura por flexão, em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \quad \underline{\underline{1.578}} \text{ m}$$

$K_y \cdot L_y$: Comprimento de encurvadura por flexão, em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \quad \underline{\underline{1.578}} \text{ m}$$

r_x, r_y : Raios de rotação, em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : \quad \underline{\underline{3.26}} \text{ cm}$$

$$r_y : \quad \underline{\underline{1.59}} \text{ cm}$$

Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \quad \underline{0.020} \quad \checkmark$$

O esforço atuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de ações PP+1.

N_{t,Sd}: Força axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{N_{t,Sd}} : \quad \underline{5.40} \quad \text{kN}$$

A força axial de tração resistente de cálculo, N_{t,Rd}, deve ser determinada pela expressão:

$$\mathbf{N_{t,Rd}} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\mathbf{N_{t,Rd}} : \quad \underline{266.27} \quad \text{kN}$$

Em que:

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A_g} : \quad \underline{10.10} \quad \text{cm}^2$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \quad \underline{290.00} \quad \text{MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \quad \underline{1.10}$$

Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \quad \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O esforço atuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.5-PP.

N_{c,Sd}: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{N_{c,Sd}} : \quad \underline{0.18} \quad \text{kN}$$

A força axial de compressão resistente de cálculo, N_{c,Rd}, deve ser determinada pela expressão:

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

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \quad \underline{144.88} \quad \text{kN}$$

Em que:

χ: Fator de redução total associado à resistência à compressão.

$$\mathbf{\chi} : \quad \underline{0.544}$$

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

$$\mathbf{Q} : \quad \underline{1.000}$$

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A_g} : \quad \underline{10.10} \quad \text{cm}^2$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \quad \underline{290.00} \quad \text{MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \quad \underline{1.10}$$

Fator de redução χ : (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3)

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^3}$$

$$\chi : \quad \underline{0.544}$$

Em que:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

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

$$\lambda_0 : \quad \underline{1.206}$$

Sendo:

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \quad \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \quad \underline{10.10 \text{ cm}^2}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \quad \underline{290.00 \text{ MPa}}$$

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \quad \underline{201.43 \text{ kN}}$$

Força axial de flambagem elástica: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E)

A força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal monossimétrica, cujo eixo principal X é o eixo de simetria, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a) e (b):

$$N_e : \quad \underline{201.43 \text{ kN}}$$

(a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal:

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

$$N_{ey} : \quad \underline{201.43 \text{ kN}}$$

Em que:

$K_y \cdot L_y$: Comprimento de encurvadura por flexão, em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \quad \underline{1.578 \text{ m}}$$

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

$$I_y : \quad \underline{25.41 \text{ cm}^4}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \quad \underline{200000 \text{ MPa}}$$

(b) Para flambagem por flexotorção:

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

$$N_{exz} : \quad \underline{849.79 \text{ kN}}$$

Em que:

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

$$N_{ex} : \quad \underline{849.79 \text{ kN}}$$

Sendo:

$K_x \cdot L_x$: Comprimento de encurvadura por flexão, em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \quad \underline{1.578 \text{ m}}$$

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

$$I_x : \quad \underline{107.20 \text{ cm}^4}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \quad \underline{200000 \text{ MPa}}$$

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

$$N_{ez} : \underline{\hspace{2cm}} \infty$$

Sendo:

$K_z \cdot L_z$: Comprimento de flambagem por torção.

E: Módulo de elasticidade do aço.

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

J: Constante de torção da seção transversal.

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento.

$$K_z \cdot L_z : \underline{\hspace{2cm}} \frac{0.000}{200000} \text{ m MPa}$$

$$E : \underline{\hspace{2cm}}$$

$$C_w : \underline{\hspace{2cm}} \frac{220.00}{\text{cm}^6}$$

$$G : \underline{\hspace{2cm}} \frac{77000}{\text{MPa}}$$

$$J : \underline{\hspace{2cm}} \frac{1.47}{\text{cm}^4}$$

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

$$r_0 : \underline{\hspace{2cm}} \frac{5.18}{\text{cm}}$$

Em que:

r_x, r_y : Raios de rotação, em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{\hspace{2cm}} \frac{3.26}{\text{cm}}$$

$$r_y : \underline{\hspace{2cm}} \frac{1.59}{\text{cm}}$$

$$x_0 : \underline{\hspace{2cm}} \frac{-37.00}{\text{mm}}$$

$$y_0 : \underline{\hspace{2cm}} \frac{0.00}{\text{mm}}$$

Flambagem local de barras axialmente

comprimidas: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F)

Não se aplica nenhuma redução, já que todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) que não superam os valores limite dados na Tabela F.1.

Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq (b/t)_{lim}$$

$$7.14 \leq 14.71$$

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \underline{\hspace{2cm}} \frac{7.14}{\text{mm}}$$

Em que:

b: Largura.

$$b : \underline{\hspace{2cm}} \frac{50.00}{\text{mm}}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{\hspace{2cm}} \frac{7.00}{\text{mm}}$$

(b/t)_{lim}: Relação limite entre largura e espessura.

$$(b/t)_{lim} = 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(b/t)_{lim} : \underline{\hspace{2cm}} \frac{14.71}{\text{mm}}$$

Em que:

E : Módulo de elasticidade do aço.	E :	<u>200000</u>	MPa
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y :	<u>290.00</u>	MPa

Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq (b/t)_{lim} \quad 16.50 \leq 39.13$$

Sendo:

(b/t) : Relação entre largura e espessura.	(b/t) :	<u>16.50</u>	
Em que:			
b : Largura.	b :	<u>66.00</u>	mm
t : Espessura.	t :	<u>4.00</u>	mm

(b/t)_{lim}: Relação limite entre largura e espessura.

$$(b/t)_{lim} = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (b/t)_{lim} : \quad \underline{39.13}$$

Em que:

E : Módulo de elasticidade do aço.	E :	<u>200000</u>	MPa
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y :	<u>290.00</u>	MPa

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor.

Resistência ao esforço transversal X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal.

Resistência ao esforço transversal Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal.

Resistência ao esforço axial e flexão combinada (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Não existe interação entre o esforço axial e momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)

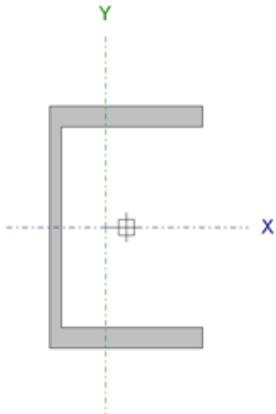
Não há interação entre o esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.

II. Barras Comprimidas

Barra N1/N2

Perfil: UPE 80 Material: Aço (A-572 290MPa)									
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
	N1	N2	1.578	10.10	107.20	25.41	1.47	-6.80	0.00
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia relativamente ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade								
				Encurvadura		Encurvadura lateral			
			Plano ZX	Plano ZY	Banzo sup.		Banzo inf.		
β			1.00	1.00	0.00		0.00		
L _k			1.578	1.578	0.000		0.000		
C _b			-		1.000				
Anotação: β: Coeficiente de encurvadura L _k : Comprimento de encurvadura (m) C _b : fator de modificação para o momento crítico									

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	σ τ f	
N1/N2	λ ≤ 200.0 Verifica	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 3.8	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	VERIFICA η = 3.8
Anotação: λ: Limitação do índice de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço transversal X V _y : Resistência ao esforço transversal Y NM _x M _y : Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante σ τ f: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede												
Verificações que não são necessárias (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor. ⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal. ⁽⁴⁾ Não existe interação entre o esforço axial e momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁵⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽⁶⁾ Não há interação entre o esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁷⁾ Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.												

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

A esbelteza das barras comprimidas, tomada como a maior relação entre o comprimento de encurvadura e o raio de rotação correspondente, não deve ser superior a 200.

$$\lambda \leq 200$$

$$\lambda : \underline{99.5} \quad \checkmark$$

Em que:

λ : Índice de esbeltez.

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$$

$$\lambda_x : \underline{48.4}$$

$$\lambda_y : \underline{99.5}$$

Sendo:

$K_x \cdot L_x$: Comprimento de encurvadura por flexão, em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \underline{1.578} \text{ m}$$

$K_y \cdot L_y$: Comprimento de encurvadura por flexão, em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \underline{1.578} \text{ m}$$

r_x, r_y : Raios de rotação, em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{3.26} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{1.59} \text{ cm}$$

Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2)

A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.038} \quad \checkmark$$

O esforço atuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+1.

$N_{c,Sd}$: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c,Sd} : \underline{5.56} \text{ kN}$$

A força axial de compressão resistente de cálculo, $N_{c,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

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

$$N_{c,Rd} : \underline{144.88} \text{ kN}$$

Em que:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão.

$$\chi : \underline{0.544}$$

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{10.10} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{290.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Fator de redução χ : (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3)

$$\lambda_o \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_o^2}$$

$$\chi : \underline{0.544}$$

Em que:

λ_o : Índice de esbeltez reduzido.

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

$$\lambda_o : \underline{1.206}$$

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{10.10} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{290.00} \text{ MPa}$$

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{201.43} \text{ kN}$$

Força axial de flambagem elástica: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E).

A força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal monossimétrica, cujo eixo principal X é o eixo de simetria, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a) e (b):

$$N_e : \underline{201.43} \text{ kN}$$

(a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal:

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

$$N_{ey} : \underline{201.43} \text{ kN}$$

Em que:

$K_y \cdot L_y$: Comprimento de encurvadura por flexão, em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \underline{1.578} \text{ m}$$

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{25.41} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

(b) Para flambagem por flexotorção:

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot \left[1 - (x_c/r_c)^2 \right]} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot \left[1 - (x_c/r_c)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right]$$

$$N_{exz} : \underline{849.79} \text{ kN}$$

Em que:

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

$$N_{ex} : \underline{849.79} \text{ kN}$$

Sendo:

$K_x \cdot L_x$: Comprimento de encurvadura por flexão, em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \underline{1.578} \text{ m}$$

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{107.20} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

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

$$N_{ez} : \underline{\infty}$$

Sendo:

$K_z \cdot L_z$: Comprimento de flambagem por torção.

$$K_z \cdot L_z : \underline{0.000} \text{ m}$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.	C_w : <u>220.00</u> cm ⁶
G : Módulo de elasticidade transversal do aço.	G : <u>77000</u> MPa
J : Constante de torção da seção transversal.	J : <u>1.47</u> cm ⁴
r_o : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento.	

$$r_o = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_o^2 + y_o^2)} \quad r_o : \underline{5.18} \text{ cm}$$

Em que:

r_x, r_y : Raios de rotação, em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.	r_x : <u>3.26</u> cm
	r_y : <u>1.59</u> cm
X_o, Y_o : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais X, Y, respectivamente.	X_o : <u>-37.00</u> mm
	Y_o : <u>0.00</u> mm

Flambagem local de barras axialmente comprimidas: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F)

Não se aplica nenhuma redução, já que todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) que não superam os valores limite dados na Tabela F.1.

Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq (b/t)_{lim} \quad \mathbf{7.14} \leq \mathbf{14.71}$$

Sendo:

$$(b/t): \text{Relação entre largura e espessura.} \quad (b/t) : \underline{7.14}$$

Em que:

b : Largura.	b : <u>50.00</u> mm
t : Espessura.	t : <u>7.00</u> mm

$$(b/t)_{lim}: \text{Relação limite entre largura e espessura.}$$

$$(b/t)_{lim} = 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (b/t)_{lim} : \underline{14.71}$$

Em que:

E : Módulo de elasticidade do aço.	E : <u>200000</u> MPa
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>290.00</u> MPa

Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq (b/t)_{lim} \quad \mathbf{16.50} \leq \mathbf{39.13}$$

Sendo:

$$(b/t): \text{Relação entre largura e espessura.} \quad (b/t) : \underline{16.50}$$

Em que:

b : Largura.	b : <u>66.00</u> mm
t : Espessura.	t : <u>4.00</u> mm

$$(b/t)_{lim}: \text{Relação limite entre largura e espessura.}$$

$$(b/t)_{lim} = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (b/t)_{lim} : \underline{39.13}$$

Em que:

E : Módulo de elasticidade do aço.	E : <u>200000</u> MPa
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>290.00</u> MPa

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor.

Resistência ao esforço transversal X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal.

Resistência ao esforço transversal Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal.

Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Não existe interação entre o esforço axial e momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)

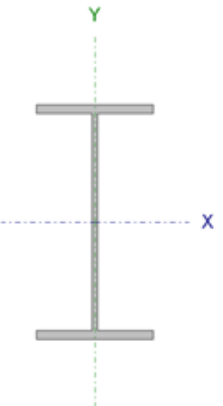
Não há interação entre o esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.

II. Barras Flexionadas e Cisalhadas

Barra N1/N2

Perfil: IPE 240 Material: Aço (A-572 290MPa)							
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N1	N2	1.633	39.10	3892.00	284.00	12.90
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia relativamente ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
			Encurvadura		Encurvadura lateral		
		Plano ZX	Plano ZY	Banzo sup.	Banzo inf.		
β		1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K		1.633	1.633	0.000	0.000		
C _b		-		1.000			
Anotação: β: Coeficiente de encurvadura L _K : Comprimento de encurvadura (m) C _b : Factor de modificação para o momento crítico							

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	σ τ f	
N1/N2	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.817 m η = 11.7	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	x: 0 m η = 11.8	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	VERIFICA η = 11.8
Anotação: λ: Limitação do índice de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço transversal X V _y : Resistência ao esforço transversal Y NM _x M _y : Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante σ τ f: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede												
Verificações que não são necessárias (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não procede, já que não há força axial de compressão. ⁽²⁾ A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de tração. ⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de compressão. ⁽⁴⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor. ⁽⁵⁾ A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal. ⁽⁶⁾ Não existe interação entre o esforço axial e momento fletor nem entre momentos flectores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁷⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽⁸⁾ Não há interação entre o esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁹⁾ Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos flectores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.												

Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)

A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.117} \quad \checkmark$$

O esforço atuante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.817 m do nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+1.

M_{Sd}^+ : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{Sd}^+ : \underline{11.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$$35.55 \leq \underline{149.69}$$

Em que:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda : \underline{35.55}$$

Sendo:

h : Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{220.40} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{6.20} \text{ mm}$$

$$\lambda_r = 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r : \underline{149.69}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{290.00} \text{ MPa}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$M_{Rd} : \underline{96.75} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{128.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Em que:

W_x : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_x : \underline{324.33} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{290.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

- (b) Estado-limite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

Não é necessário, dado que o comprimento de encurvadura lateral é nulo.

- (c) Estado-limite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$6.12 \leq 9.98$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{96.75} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Em que:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$\lambda : \underline{6.12}$$

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{120.00} \text{ mm}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{9.80} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : \underline{9.98}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{290.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{106.43} \text{ kN}$$

Em que:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{367.00} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{290.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

- (d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$35.55 \leq 98.74$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{96.75} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Em que:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda : \underline{35.55}$$

Sendo:

h : Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{220.40} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{6.20} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : \underline{98.74}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{290.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{106.43} \text{ kN}$$

Em que:

Z_x: Módulo de resistência plástica.

$$Z_x : \underline{367.00} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{290.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2).

A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor.

Resistência ao esforço transversal X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3).

A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal.

Resistência ao esforço transversal Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3).

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{sd}}{V_{rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.118} \checkmark$$

O esforço atuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+1.

V_{sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{sd} : \underline{27.83} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo, **V_{rd}**, é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$35.55 \leq 64.59$$

$$V_{rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{rd} : \underline{235.37} \text{ kN}$$

Em que:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda : \underline{35.55}$$

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{220.40} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{6.20} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_y \cdot E}{f}}$$

$$\lambda_p : \underline{64.59}$$

Sendo:

k_v : Coeficiente de flambagem. $k_v : \underline{5.00}$
 E: Módulo de elasticidade do aço. $E : \underline{200000}$ MPa
 f_y : Resistência ao escoamento do aço. $f_y : \underline{290.00}$ MPa

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad V_{pl} : \underline{258.91} \text{ kN}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w \quad A_w : \underline{14.88} \text{ cm}^2$$

d : Altura total da seção transversal. $d : \underline{240.00}$ mm

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material. $\gamma_{a1} : \underline{1.10}$

Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Não existe interação entre o esforço axial e momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)

Não há interação entre o esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.

ANEXO A – Tabela 1 da NBR 6120 (ABNT, 1980)

Tabela 1 - Peso específico dos materiais de construção

Materiais		Peso específico aparente (kN/m ³)
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcáreo	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos sílico-calcáreos	20
3 Revestimentos e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
4 Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriuva, ipê róseo	10
5 Metais	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72,5
	Estanho	74
	Latão	85
	Zinco	72
6 Materiais diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
	Vidro plano	26

ANEXO B – Figura 1 da NBR 6123 (ABNT, 1988)

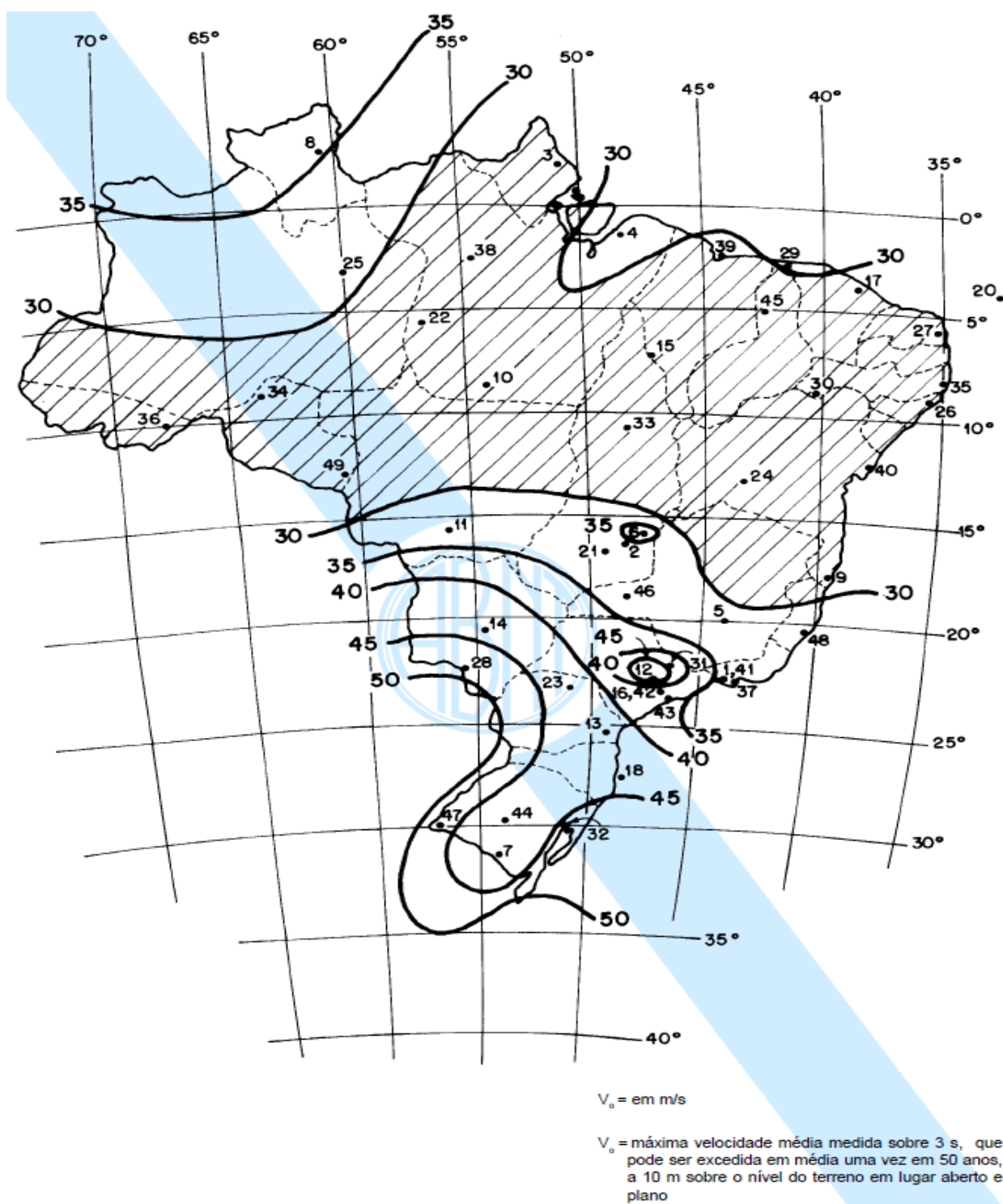


Figura 1 - Isopletas da velocidade b{a}sica V_0 (m/s)

ANEXO C – Tabela 2 da NBR 6123 (ABNT, 1988)

Tabela 2 - Fator S_2

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

ANEXO D – Tabela 3 da NBR 6123 (ABNT, 1988)

Tabela 3 - Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

ANEXO E – Anexo B da NBR 6123 (ABNT, 1988)

ANEXO B - Fator estatístico S_3 para a probabilidade P_m e vida útil de edificação de m anos

Seja V_0^+ a velocidade do vento que tem uma probabilidade P_m de ser excedida, no local em consideração, pelo menos uma vez em um período de m anos. Esta velocidade corresponde a rajadas de 3 s de duração, nas condições da categoria de rugosidade II (ver 5.3.1), na altura de 10 m acima do terreno. A relação entre V_0^+ e a velocidade básica definida em 5.1 é a seguinte:

$$V_0^+ = S_3 V_0$$

Na falta de uma norma específica sobre segurança nas edificações, ou de indicações correspondentes na norma estrutural em uso, cabe ao projetista fixar a probabilidade P_m e a vida útil m de acordo com as características da edificação.

A Tabela 23 apresenta valores típicos do fator S_3 , cuja expressão matemática é:

$$S_3 = 0,54 \left[-\frac{\ln(1-P_m)}{m} \right]^{-0,157}$$

Tabela 23 - Fator estatístico S_3

m	Valores de S_3 para P_m					
	0,10	0,20	0,50	0,63	0,75	0,90
2	0,86	0,76	0,64	0,60	0,57	0,53
10	1,10	0,98	0,82	0,78	0,74	0,68
25	1,27	1,13	0,95	0,90	0,85	0,79
50	1,42	1,26	1,06	1,00	0,95	0,88
100	1,58	1,41	1,18	1,11	1,06	0,98
200	1,77	1,57	1,31	1,24	1,18	1,09

Em nenhum caso pode ser adotado um fator S_3 menor que o indicado na Tabela 3 (ver 5.4).

ANEXO F – Tabela C.1 da NBR 8800 (ABNT, 2008)

Tabela C.1 — Deslocamentos máximos

Descrição	δ^a
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura ^{g)}	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura ^{g)}	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: ^{j)}	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000^i$
- Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas	$L/400$
- Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/400^{k,l}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^m$
Lajes mistas	Ver Anexo Q
<p>^a L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar).</p> <p>^b Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso estes existam).</p> <p>^c Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento.</p> <p>^d Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico.</p> <p>^e Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente.</p> <p>^f Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico.</p> <p>^g Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade.</p> <p>^h Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm.</p> <p>ⁱ Valor não majorado pelo coeficiente de impacto.</p> <p>^j Considerar combinações raras de serviço.</p> <p>^k No caso de pontes rolantes siderúrgicas, o deslocamento também não pode ser superior a 50 mm.</p> <p>^l O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm.</p> <p>^m Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.</p>	

ANEXO G – Tabela F.1 da NBR 8800 (ABNT, 2008)

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	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	Mesas de seções I, H, T ou U soldadas ^a		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$
	6	Almas de seções T		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

^a O coeficiente k_c é dado em F.2.