

UNIS - CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA CIVIL
CRISTINA APARECIDA DOMINGUETI

**ESTUDO COMPARATIVO DE GALPÕES INDUSTRIAIS PARA DIFERENTES
MODELAGENS ESTRUTURAIS**

Varginha- MG
2014

FEPESMIG

CRISTINA APARECIDA DOMINGUETI

N. CLASS.	M624.141
CUTTER	D.671e
ANO/EDIÇÃO	2014

**ESTUDO COMPARATIVO DE GALPÕES INDUSTRIAIS PARA DIFERENTES
MODELAGENS ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do professor MSc. Antônio de Faria.

Varginha – MG

2014

CRISTINA APARECIDA DOMINGUETI

**ESTUDO COMPARATIVO DE GALPÕES INDUSTRIAIS PARA DIFERENTES
MODELAGENS ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de graduação em Engenharia Civil do
Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-
requisito para obtenção do grau de bacharel pela
Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. MSc. Antônio de Faria

Prof. Mauricio Pinto

Prof. Hugo Vieira

OBS:

Dedico este trabalho a todos aqueles que de alguma maneira fizeram parte desta caminhada e deixaram uma parcela de contribuição. Sem a força dos familiares e amigos, jamais teria obtido êxito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Venicio e Lourdes pelos esforços enviados durante toda a minha vida, para que a realização dos meus sonhos fosse possível.

A Deus, a quem devo minha vida e tudo o que sou.

Ao orientador Prof. M. Sc. Antonio Faria que além do papel fundamental para elaboração deste trabalho sempre esteve de portas abertas a ensinar e transmitir seu conhecimento aos alunos.

Aos meus colegas pelo companheirismo e amizade mesmo nas horas mais difíceis. E a pessoa que me incentivou e apoiou e esteve ao meu lado nessa caminhada “Henrique”.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a comparação de diferentes treliças para um galpão industrial, sendo a comparação efetuada entre os pórticos treliçados e o pórtico de alma cheia. O galpão foi elaborado a partir de uma situação hipotética, onde as dimensões e os carregamentos foram as mesmas para todas as tipologias. O dimensionamento seguiu as recomendações previstas pela NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios e NBR 6123 : 1988 – Forças Devido ao Vento em Edifícios. Desta forma, obtiveram-se indicadores comparativos que servirão como parâmetros de projeto para as tipologias de treliças.

Palavras-chave: Galpão metálico, pórticos treliçados, pórticos de alma cheia, dimensionamento.

ABSTRACT

This study aims to compare different trusses for an industrial shed, the comparison being made between the lattice porches and porch full soul. The shed was drawn from a hypothetical situation where the dimensions and loads were the same for all types. The design followed the recommendations provided by the NBR 8800:2008 - Design of Steel Structures and Composite Structures of Steel and Concrete Buildings and NBR 6123: 1988 - Due to Wind Forces on Buildings. Thus, we obtained comparative indicators that will serve as design parameters for the types of trusses.

Keywords: Metal Shed, lattice porches, porticos filled soul sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Galpão formado por pórticos de perfis de alma cheia.	11
Figura 1.2 – Galpão formado por pórticos treliçados.	12
Figura 3.1 – Planta baixa do galpão.	14
Figura 3.2 – Treliça duas águas sem montante nas extremidades.	14
Figura 3.3 – Treliça em arco.	15
Figura 3.4 – Treliça duas águas paralelas.	15
Figura 3.5 – Treliça duas águas com montante nas extremidades.	15
Figura 6.1 – Isoplefas do Brasil.	24
Figura 6.2 – Vento.	27
Figura 7.1 – Geometria treliça duas águas sem montante nas extremidades.	29
Figura 7.2 – Geometria treliça em arco.	30
Figura 7.3 – Geometria treliça duas águas paralelas.	31
Figura 7.4 – Geometria treliça duas águas com montante nas extremidades.	33
Figura 7.5 – Geometria treliça alma cheia.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1: Coeficiente de majoração de ação permanente.	20
Tabela 6.2: Coeficiente de majoração da ação variável principal.	21
Tabela 6.3: Fatores de combinações.	21
Tabela 6.4: Parâmetros meteorológicos.	25
Tabela 6.5: Valores mínimos do fator estatístico S_3 .	26
Tabela 6.6: Coeficientes de pressão.	27
Tabela 8.1: Deformação	35
Tabela 9.1: Consumo de aço das treliças.	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. JUSTIFICATIVA	13
3. OBJETIVOS	14
4. METODOLOGIA	16
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
6. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	19
6.1. NBR 8800:2008	19
6.1.1. BARRAS TRACIONADAS	21
6.1.2. BARRAS COMPRIMIDAS	22
6.1.3. BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO	22
6.1.4. BARRAS SUBMETIDAS À FLEXÃO, TRAÇÃO E COMPRESSÃO	23
6.2. NBR 6123:1988	23
7. DIMENSIONAMENTO	29
8. DEFORMAÇÃO	35
9. RESULTADO	37
10. CONCLUSÃO	39
11. BIBLIOGRAFIA	40
ANEXO A: CÁLCULO VENTO	41
ANEXO B: DIMENSIONAMENTO DA TERÇA	53
ANEXO C: DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO DAS TRELIÇAS	67
ANEXO D: DEFORMAÇÃO	139

1. INTRODUÇÃO

Com o expressivo desenvolvimento da economia nos últimos anos no Brasil, tivemos um aumento significativo na área comercial e conseqüentemente um incremento no setor industrial o que traduz em novos investimentos em maquinários e principalmente em galpões industriais.

Novas tecnologias e métodos construtivos foram desenvolvidos para a construção destes galpões industriais e comerciais. Lembramos que os galpões no passado eram executados em madeira com cobertura em telhas de barro. Nas modernas construções os mesmos são construídos em módulos de concreto e/ou aço, engradamento da cobertura em aço, telhas de fibra-cimento ou zincadas, com fechamento em fibra-cimento ou zinco. Estes novos métodos construtivos agilizaram a construção, proporcionando economia no tempo e no custo.

No Brasil, as construções de galpões metálicos de somente um pavimento são as mais usuais. Este estilo de construção proporciona diversificadas maneiras de utilização, por exemplo, lojas, fábricas, depósitos, ginásios, garagens, etc. Com isto, se tem galpões metálicos de variadas dimensões. Por isso, é interessante se conhecer algumas tipologias de galpões, por exemplo, em pórticos, e suas características, para que se tenha uma otimização do custo – benefício para a obra.

Existem dois tipos básicos de pórticos, quanto ao tipo de estrutura transversal portante, para galpões de um só pavimento: os pórticos de alma cheia (figura 1.1), que utilizam perfis laminados ou perfis soldados, e os pórticos treliçados (figura 1.2), que empregam perfis leves (laminados e/ou formados a frio).

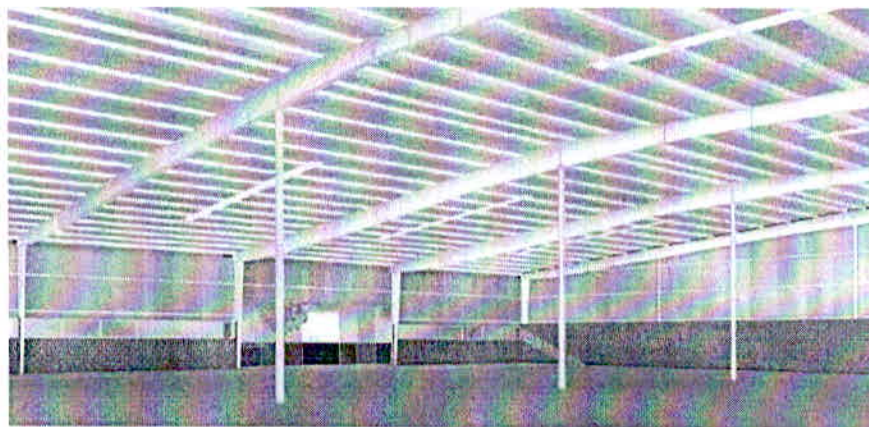


Figura 1.1 Galpão formado por pórticos de perfis de alma cheia Fonte: Nogueira, Dissertação de Mestrado, UFOP, 2009)

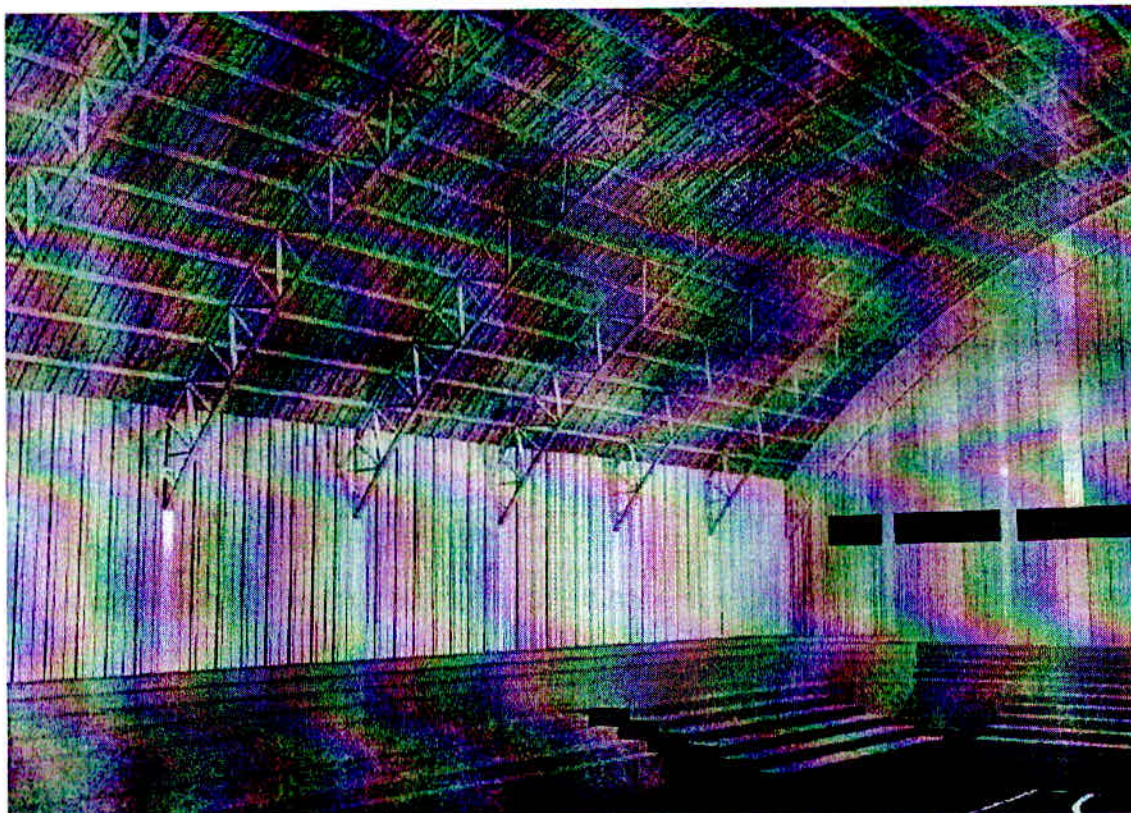


Figura 1.2 : Galpão formado por pórticos treliçados. Fonte: Nogueira, Dissertação de Mestrado, UFOP, 2009

2. JUSTIFICATIVA

Na atual conjuntura brasileira, se faz necessário estudo mais profundo na construção de galpões em aço. O levantamento de indicativos de consumo de aço, da eficiência de cada estrutura e um comparativo dos esforços internos, faz-se necessário para se medir a eficiência dos arranjos estruturais utilizados nos galpões metálicos.

Com o crescimento industrial, pequenas empresas e armazéns, constroem galpões industriais de pequeno porte sem nenhum projeto arquitetônico e estrutural, ou seja, sem nenhum estudo prévio. Simplesmente constroem de acordo com o que viram ou copiam o modelo de outra pessoa. Neste estudo o galpão a ser analisado é de pequeno porte, de tal forma que poderá servir de base para futuras construções, já que será analisada benefício de cada arranjo. Temos que para um mesmo vão e carregamento existe inúmeras maneiras de se dispor as treliças, de tal forma, que existira inúmeras geometrias de treliças. A maneira das disposição das treliças dependerá do engenheiro projetista, ou como acontece na nossa região, do “dono da oficina que irá projetar e construir” o galpão. Com isto, temos que uma única geometria é utilizada para diferentes vãos e carregamentos.

Além disso, não se tem conhecimento que exista na literatura estudos comparativos dos esforços nas estruturas dos galpões. A pesquisa se justifica também pelo interesse de graduandos em Engenharia Civil desta Universidade, em conhecer as diferentes tipologias dos pórticos transversais de uso nos galpões.

A adequação de cada estrutura, a diferentes segmentos da indústria e do comércio torna-se um desafio para a engenharia estrutural em aço. Tome-se como exemplo a Ferrovia Curitiba\Paranaguá, que teve sua construção iniciada em 1880 e terminada em 1885, com projeto e construção de responsabilidade do engenheiro Antonio Pereira Rebouças Filho, obra inigualável em aço da engenharia brasileira, fazendo parte do Monumento Histórico Nacional.

Acredito que são razões suficientes para uma melhor exploração de caminhos não percorridos, e estudos aprofundados sobre estruturas em aço. Motivo este que me levou a realizar este trabalho.

3. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é fazer um estudo comparativo de diferentes pórticos de alma cheia e treliçados, para galpões metálicos de um pavimento, cujas dimensões são de 12 metros de largura por 60 metros de comprimento e pé direito de 6 metros. Sendo que a distância entre as treliças será de 6m.

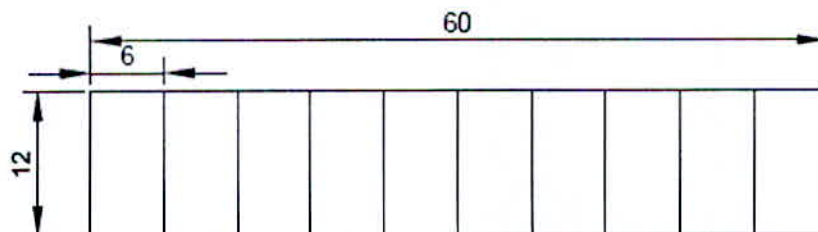


Figura 3.1: planta baixa do galpão.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Identificar as tipologias dos pórticos transversais utilizados nos galpões metálicos de um pavimento.

- Fazer uma análise comparativa das estruturas transversais portantes, para galpões de um só pavimento: os pórticos de alma cheia e os pórticos treliçados – duas águas sem montantes nas extremidades, figura 3.1, arco, figura 3.2, duas águas em ângulo, figura 3.3, duas águas com montante lateral nas extremidades, figura 3.4.

Comparar os esforços internos nos elementos estruturais, em diferentes configurações geométricas usuais;

Determinar a taxa de consumo de aço de cada estrutura;

Determinar o peso do aço/metro quadrado de área coberta.

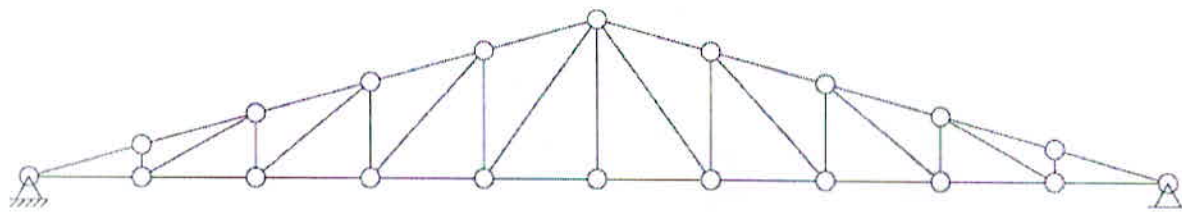


Figura 3.2: treliça duas águas sem montante nas extremidades (Fonte: UNIS, PIC – Engenharia mecânica, 2008)

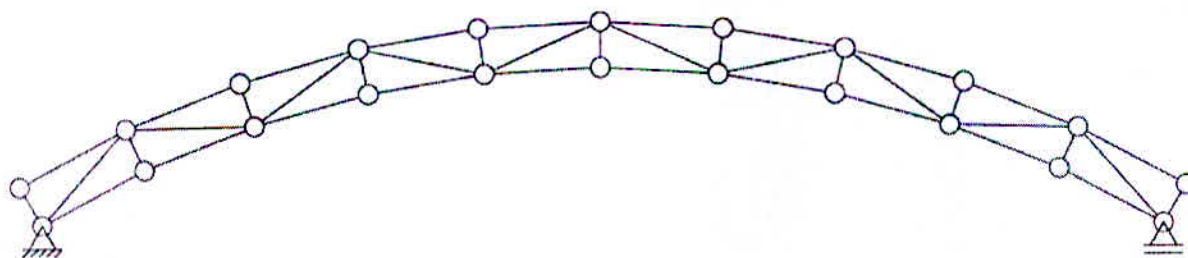


Figura 3.3: Treliça em arco (Fonte: UNIS, PIC – Engenharia mecânica, 2008)

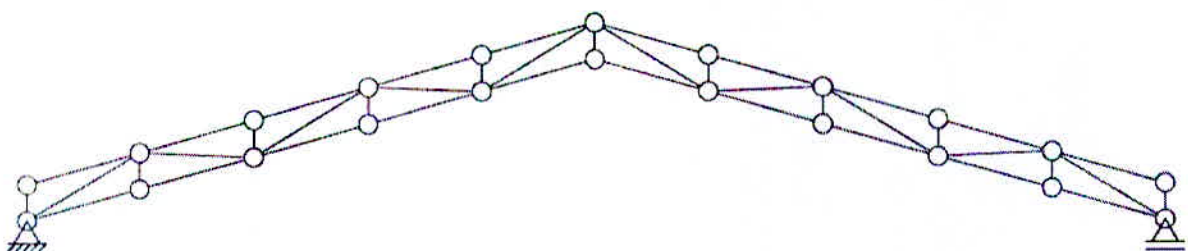


Figura 3.4: treliça duas águas paralelas (Fonte: UNIS, PIC – Engenharia mecânica, 2008)

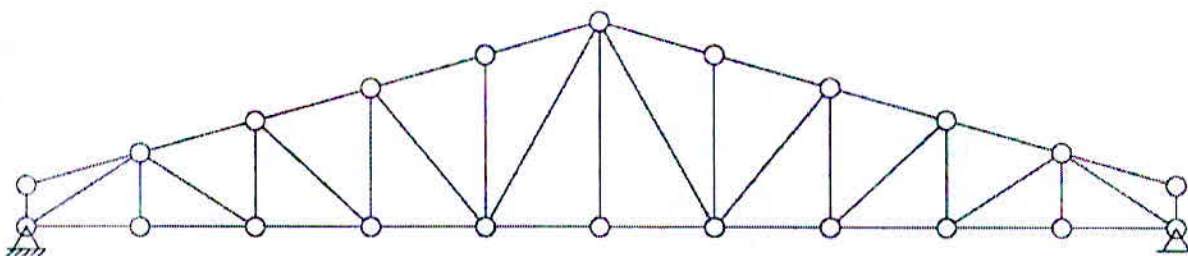


Figura 3.5: treliça duas águas com montante lateral nas extremidades (Fonte: UNIS, PIC – Engenharia mecânica, 2008)

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

Inicialmente, foi feita uma revisão bibliográfica sobre projetos e tipologias de galpões metálicos - pórticos de alma cheia e pórticos treliçados – duas águas sem montantes nas extremidades, arco, duas águas em ângulo, duas águas com montante lateral nas extremidades.

Posteriormente, serão apresentados todos os dados preliminares de um projeto de um galpão com estrutura em aço. Serão realizados a determinação dos esforços devido a ação do vento, do carregamento nas telhas de cobertura e das várias tipologias dos pórticos transversais para este galpão.

Após o dimensionamento dos elementos estruturais, serão realizadas as análises comparativas entre os pórticos de alma cheia e os treliçados.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo o Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas (Ministério da Indústria e Comércio, 1986, pag. 269), os galpões são, geralmente, construções de um pavimento, com a finalidade de fechar e cobrir grandes áreas, protegendo as instalações, os produtos armazenados ou, simplesmente, fornecendo abrigo em relação às condições climáticas externas. Destina-se a diversos fins, como fábricas, almoxarifado, feiras, estádios, etc. Na maioria das vezes, os galpões de uso geral se estendem por grandes áreas em um único pavimento e são constituídos por pórticos planos regularmente espaçados com cobertura na parte superior e fechamento lateral.

De acordo com a CBCA, Galpões em Estrutura de Aço, módulo 6, pág. 3, os componentes principais de um galpão industrial são: estrutura principal, cobertura: terças e telhas, Fechamento: longarinas e elementos de vedação e contraventamentos: horizontal e vertical.

Sendo que a estrutura principal serve como apoio para as terças transmitindo os esforços para as colunas da estrutura, que por sua vez, transmitem os esforços para as fundações, pode ser constituídos por vigas em perfis de alma cheia ou por vigas em treliças planas, de acordo com Viera, 2009 pág. 7.

De acordo com, Bellei (2006), os edifícios industriais podem ser classificados em: estruturas de vão simples e estruturas de vão múltiplos.

Segundo Pinho (2005) existe dois tipos básicos de galpões em pórticos, definidos em função do tipo da estrutura transversal portante: pórticos de alma cheia e pórticos treliçados.

De acordo, com Chaves 2007, pág. 10, nos pórticos de alma cheia se utilizam perfis laminados ou soldados de grandes dimensões como elementos principais da estrutura, enquanto nos pórticos treliçados, se empregam perfis menores formando reticulados em treliça para compor os elementos principais da estrutura.

De acordo com Nogueira, 2009, página 132, os pórticos compostos por perfis em alma cheia apresentam taxas de consumo de aço superiores a todas as outras tipologias em pórticos treliçados com vão livre igual a 32 m. Para 16 m de vão livre o pórtico em alma cheia apresenta o consumo de aço superior às demais tipologias, quando a velocidade do vento for $v_0 = 30\text{m/s}$.

Mas de acordo, com o Manual de Construção em Aço, Dimensionamento dos Perfis Formados a Frio Conforme a NBR14762 e NBR 6355, página 10, 2008, os perfis de aço formados a frio são cada vez mais viáveis para uso na construção civil, em vista da rapidez e

economia exigidas pelo mercado. Esse elemento estrutural pode ser eficientemente utilizado em galpões de pequeno e médio porte, coberturas, mezaninos, em casas populares e edifícios de pequeno porte. Utilizando este perfil se consegue eliminar travamentos, reduzir áreas de pintura e reduzir a probabilidade da corrosão.

6. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como base para a fundamentação teórica foi utilizada as aulas ministradas e os slides disponíveis pelo professor Mestre Antonio Faria, que tem como base a NBR 6123:1988 – Forças Devidas ao Vento em Edificações e a NBR 8800:2008 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios.

6.1 NBR 8800:2008 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios

A NBR 8800:2008 utiliza o método dos estados limites e estabelece os requisitos que devem ser obedecidos em um projeto, pois o objetivo de um projeto estrutural são, de acordo com Pfeil página 34: garantia de segurança estrutural evitando-se o colapso da estrutura; garantia de bom desempenho evitando-se a ocorrência de grandes deslocamentos, vibrações, danos causais.

Assim, um estado limite ocorre sempre que a estrutura deixar de atender um dos itens acima. Estes podem ser divididos em dois tipos de estados limites: o estado limite último que está associado à ocorrência de cargas excessivas e com isto se tem o colapso da estrutura, por exemplo, plastificação total de um elemento estrutural ou de uma seção. Temos ainda o estado limite de utilização que incluem deformações excessivas e vibrações excessivas.

Segundo a NBR 8800:2008 na análise estrutural deve ser considerada a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a estrutura, levando-se em conta os estados limites últimos e de serviço. As ações a serem consideradas classificam-se em permanentes, variáveis e excepcionais.

De acordo ainda com a NBR 8800:2008 ações permanentes são as ações que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida útil da construção. Também são consideradas permanentes as ações que crescem no tempo, tendendo a um valor-limite constante. Deve-se levar em consideração na cobertura uma sobrecarga, aonde esta englobe as cargas decorrentes de instalações elétricas e hidráulicas, de isolamentos térmicos e acústicos e de pequenas peças eventualmente fixadas na cobertura.

As ações variáveis são as que ocorrem com valores que apresentam variações significativas durante a vida útil da construção. São ações variáveis as ações decorrentes de sobrecarga em pisos e coberturas, de pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas, pela variação da temperatura da estrutura, assim como pela ação do vento.

As ações excepcionais são as que têm duração extremamente curta e probabilidade muito baixa de ocorrência durante a vida da construção, porém, devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas.

Segundo Bellei, os galpões industriais estão sujeitos a um conjunto de cargas que atuam ora em combinações uma com as outras ora isoladamente. A NBR 8800:2008 define as seguintes combinações de ações para verificações nos estados limites últimos:

- Combinação normal: com os carregamentos possíveis durante a vida útil da estrutura;
- Combinação construtiva: com carregamentos possíveis durante a construção ou montagem da estrutura;
- Combinações excepcional: com os carregamentos devidos a acidentes.

Para as combinações normais e construtivas, temos que:

$$S_d = \Sigma \gamma_g \cdot G + \gamma_{q1} \cdot Q + \Sigma_{i=1}^n \gamma_{qi} \cdot \psi_i \cdot Q_i \quad (1)$$

Onde, G é a ação permanente;

γ_g é o coeficiente de majoração de ação permanente, segundo a tabela abaixo;

Q_1 é a ação variável principal – sobrecarga;

γ_{q1} é o coeficiente de majoração da ação variável principal, ver tabela abaixo;

Q_i é as demais ações variáveis;

ψ_i são os fatores de combinações.

Tabela 6.1: Fonte NBR 8800:2008

Coeficiente γ_q de Majoração das Ações Permanentes ^(a)			
Tipos das Ações	Combinações		
	Normais	Construtivas	Excepcionais
Pequena variabilidade ^(b)	1,3 (1,0)	1,2 (1,0)	1,1 (1,0)
Grande variabilidade	1,4 (0,9)	1,3 (0,9)	1,2 (0,9)

Tabela 6.2: Fonte NBR 8800:2008

Coeficiente γ_q de Majoração das Ações Variáveis			
Tipos das Ações	Combinações		
	Normais	Construtivas	Excepcionais
Recalque de apoio não planejado	1,2	1,2	0
Varição de Temperatura ^(c)	1,2	1,0	0
Proveniente do uso da edificação ^(d)	1,5	1,3	1,1
Demais Ações Variáveis	1,4	1,2	1,0

Tabela 6.3: Fonte NBR 8800:2008

Fatores ψ de Combinação das Ações ^(a)	
Sobrecargas em pisos de bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens. Conteúdo de silos e reservatórios	0,75
Sobrecargas em outros tipos de pisos. Cargas de equipamentos e pontes rolantes.	0,65
Variações de temperatura ^(b) . Pressão dinâmica do vento.	0,60

Depois do estudo das ações que a estrutura foi submetida, inicia-se a análise estrutural. Dessa análise começa a etapa do dimensionamento e a verificação dos perfis adotados para cada estrutura. Esta verificação assegura que a estrutura seja segura e tenha bom desempenho.

Segundo Pfeil, página 35, existe um conjunto de regras e especificações, para cada tipo de estrutura, que são reunidos em documentos oficiais, denominados normas, que estabelecem bases comuns, utilizadas para todos os engenheiros na elaboração dos projetos. As verificações utilizadas nos dimensionadas das barras, são apresentadas abaixo.

6.1.1 Barras tracionadas

As barras tracionadas são submetidas a solicitações de trações axiais ou simples. No estudo realizado, temos as barras tracionadas de treliças. Para o dimensionamento das barras das treliças deve ser atendida a seguinte condição:

$$N_{t,Rd} \geq N_{t,Sd} \quad (2)$$

Onde $N_{t,Sd}$ é a força axial de tração solicitante de cálculo e $N_{t,Rd}$ é a força de tração resistente de cálculo.

Para o escoamento da seção bruta, temos que

$$N_{t,Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{al} \quad (3)$$

Onde A_g é a área bruta da seção transversal da barra, f_y é a resistência ao escoamento do aço e γ_{al} é o coeficiente de ponderação da resistência do aço, no estudo aqui apresentado 1,10.

6.1.2 Barras comprimidas

As barras comprimidas são submetidas a solicitações de compressões axiais ou simples. No estudo realizado, temos as barras comprimidas de treliças. Para o dimensionamento das barras das treliças deve ser atendida a seguinte condição:

$$N_{c,Rd} \geq N_{c,Sd} \quad (4)$$

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

$$N_{C, Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{al} \quad (5)$$

Temos que X é o fator de redução associado à resistência à compressão, Q é o fator de redução total associado à flambagem local, A_g é a área bruta da seção transversal da barra e γ_{al} é o fator de segurança.

6.1.3 Barras submetidas à flexão

As treliças de alma cheia possuem barras submetidas à flexão. Para as barras submetidas à flexão foi verificada a flambagem local da alma (FLA), flambagem local da mesa (FLM), flambagem lateral com torção (FLT), esforço cortante e a flecha máxima de acordo com a NBR 8800:2008.

Na verificação dos momentos temos que:

$$M_{Sd} < M_{Rd} \quad (6)$$

Onde M_{Sd} é o momento fletor solicitante de cálculo e M_{Rd} é o momento resistente de cálculo.

Para o esforço cortante:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (7)$$

Onde V_{Sd} é a força cortante solicitante de cálculo e V_{Rd} é a força cortante resistente de cálculo.

Para a flecha foi utilizado que a flecha máxima, delimitada pela NBR 8800:2008, comprimento da barra /250 tem que ser menor a flecha produzida pelo somatório das flechas atuantes.

6.1.4 Barras submetidas à flexão, tração e compressão

Em alguns casos as barras podem sofrer os efeitos simultâneos de força axial (tração e compressão) e momento fletor, neste caso temos o dimensionamento das terças. As verificações dos estados limites tem que limitadas pela expressão a seguir, assim como tem que ser verificado o esforço cortante e a flecha máxima .

$$(M_{S,dx} / M_{R,dx}) + (M_{S,dy} / M_{R,dy}) \leq 1 \quad (8)$$

6.2 NBR 6123:1988 – Forças Devidas ao Vento em Edificações

A ação do vento nas estruturas metálicas é uma das mais importantes a ser consideradas. Segundo Bellei, página 91, para os estudos das forças devidas ao vento, é necessário fundamentalmente, o conhecimento de três parâmetros básicos:

Pressão dinâmica, coeficiente de pressão e o coeficiente de forma.

Pressão dinâmica: a pressão dinâmica depende da velocidade básica do vento – V_0 , e dos fatores que a influenciam. A velocidade do básico do vento é obtida através do gráfico de isopletras do Brasil, figura abaixo.

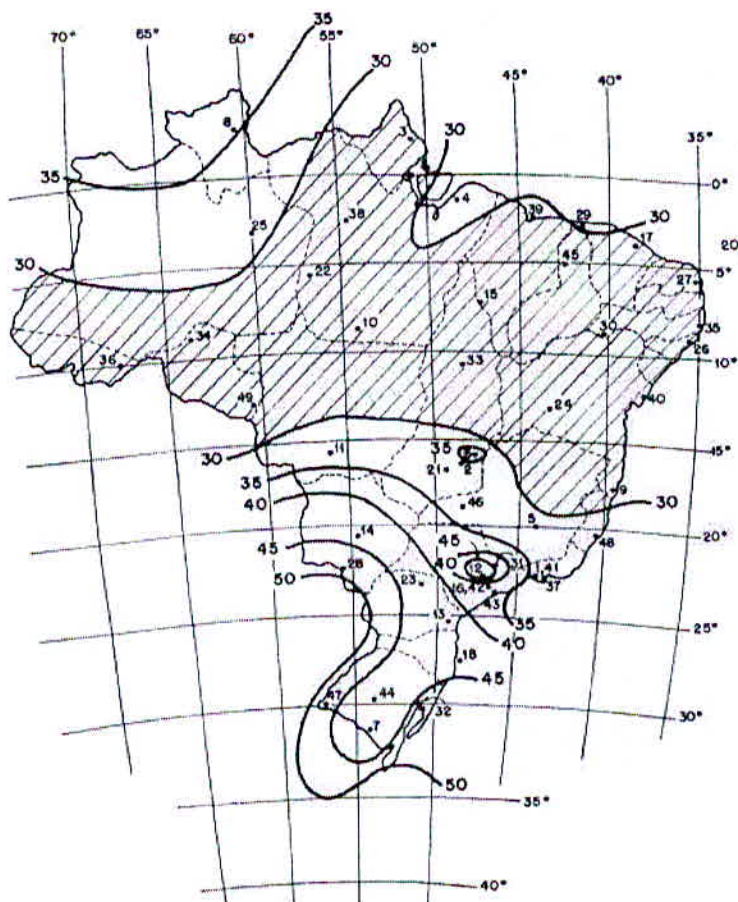


Figura 6.1: isopletas do Brasil

Fonte: NBR 6123/88

Os fatores que influenciam a pressão dinâmica, são:

Fator topográfico (S_1), que está relacionado com a topografia do terreno, para terreno plano ou quase plano temos que o fator será 1, para taludes ou morros temos 1,05 e para vales profundo protegidos de qualquer vento temos que terá o valor de 0,9.

Fator de rugosidade e dimensões da edificação (S_2), a rugosidade do terreno é determinado por cinco categorias de acordo com a norma que são:

- Categoria I: superfícies lisas com grandes dimensões com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.
- Categoria II: terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.
- Categoria III: terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.
- Categoria IV: terrenos cobertos por obstáculos numerosos e poucos espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada.

- Categoria V: terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e poucos espaçados. Para as dimensões das edificações foram padronizadas as classes, que são, de acordo com a NBR 6123:

- Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas de vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20m.

- Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20m e 50m.

- Classe C: Toda edificação ou parte da edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical exceda 50m.

Temos que a norma estabelece a seguinte equação para o cálculo de S_2 :

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot (Z/10)^p \quad (9)$$

Onde os parâmetros b , F_r e p são dados através da tabela abaixo e z é a altura do edifício.

Tabela 6.4: Parâmetros meteorológicos – fonte NBR 6123/88

Categoria	z_r (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		F_r	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

- Fator estatístico (S_3): é baseado em conceitos estatísticos e é definido dependendo do uso da edificação, os valores exigidos pela norma, segue na tabela abaixo:

Tabela 6.5: Valores mínimos do fator estatístico S_3 – fonte NBR 6123/88

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

Com isto obtemos a velocidade característica do vento (V_k):

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (10)$$

Assim, a pressão dinâmica (p) é dado por:

$$p = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (11)$$

Coeficiente de pressão e de forma: segundo Bellei ao incidir sobre uma edificação, o vento, devido á sua natureza, provoca pressões ou sucções, estas dependem exclusivamente da forma e da proporção da construção e da localização das aberturas.

Os coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas simétricas, em edificação de planta retangular, temos a tabela 6.6:

Tabela 6.6: Fonte NBR 6123/88

Altura relativa	θ	Valores de C_p 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
	0°	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,8	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-1,0	-0,6	-0,8	-0,6	-1,8	-1,5	-1,5	-1,2
	20°	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
	30°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0			-1,0
	45°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,5				
	60°	+0,6	-0,5	-0,8	-0,5				
	0°	-0,8	-0,6	-0,9	-0,7	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,8	1,8	1,5	-1,2
	20°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	30°	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5			
	40°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-1,0			
	60°	+0,5	-0,5	-0,8	-0,7				

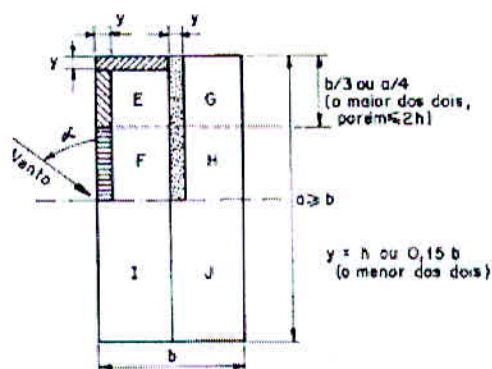


Figura 6.2: Fonte NBR 6123/88

Para edificações com paredes internas permeáveis, a pressão interna pode ser considerada uniforme. No nosso caso foram adotados os seguintes valores, pois foi considerado uma construção com duas faces opostas igualmente permeáveis e as outras faces impermeáveis,

assim, para vento perpendicular a uma face permeável temos que a pressão interna (C_i) é +0,2 (sobrepessão) e para o vento perpendicular a uma face impermeável será -0,3 (sucção).

Logo a força do vento sobre um elemento plano de edificação de área A atua em direção perpendicular a ele é dado por:

$$F = (C_e - C_i) \cdot q \cdot A \quad (12)$$

Para o calculo das ações devido ao vento foi utilizado o programa visual ventos. Para a cobertura em arco foi utilizado o anexo E da NBR 6123/1988. Todos os cálculos estão disponíveis no apêndice A.

7. DIMENSIONAMENTO DAS TRELIÇAS

Para os cálculos da treliça será utilizada a NBR 8800/ 2008. Será levado em consideração que será utilizada a mesma terça para todas as geometrias das treliças, pois como queremos uma análise comparativa do consumo de aço por metro quadrado construído, as terças não devem influenciar no resultado final. Os cálculos para o dimensionamento da terça segue no apêndice B.

Para as treliças com duas águas sem montante, com montante, paralelas e arco, foi calculado as forças axiais que o peso próprio, sobrecarga e ventos produzem através do programa Ftool. Em seguida foram realizadas as combinações necessárias de acordo com a NBR 8800:2008, assim se pode fazer o dimensionamento e a verificação dos perfis escolhidos. Todo os cálculos segue no anexo C.

Para a treliça em alma cheia foi realizado os cálculos dos momentos e da força de cisalhamento através do programa Ftool e em seguida o seu dimensionamento de acordo com a NBR 8800:2008 e a verificação do perfil escolhido, que segue no anexo B.

Segue abaixo a geometria utilizada em cada treliça, assim como os perfis adotados e o consumo de aço de cada tipologia.

1º tipo: treliça duas águas sem montante nas extremidades

A geometria utilizada nas tesouras segue em abaixo.

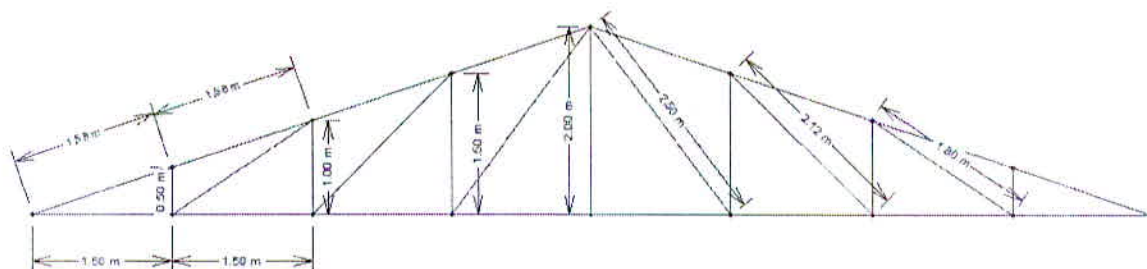


Figura 7.1: Geometria tesoura.

Perfis adotados	
Banzo inferior	2L 3,81 x 3,00 Kg/m
Banzo superior	2L 4,445 x 6,30 Kg/m
Diagonais	L 4,445 x 2,14Kg/m
Montante	L 3,81 x 1,83 kg/m

Logo, o total de aço consumido para uma treliça será de:

Banzo inferior: 12 metros de comprimento x 3,00 = 36,00 kg

Banzo superior: 12,64 metros de comprimento x 6,30 = 79,632 kg

Diagonais: 12,84 metros de comprimento x 2,14 = 27,4776 kg

Montante: 10 metros de comprimento x 1,83 = 18,30 Kg

Total de aço consumido = 144,94 Kg.

Total de aço (treliça): 144,94 . 11 = 1594,34kg.

Total de aço (treliça) por metro quadrado: 1594,34/720 = **2,21kg/m²**

Terças: perfil C de 4'': 10,16cm x 10,80kg/m = 10,80 . 9 . 60 = 5832 kg.

Total de aço: 7426,34kg

Total de aço por metro quadrado: 7426,34/720 = **10,31kg/m²**

2º tipo: treliça em arco

A geometria utilizada na tesoura segue abaixo.

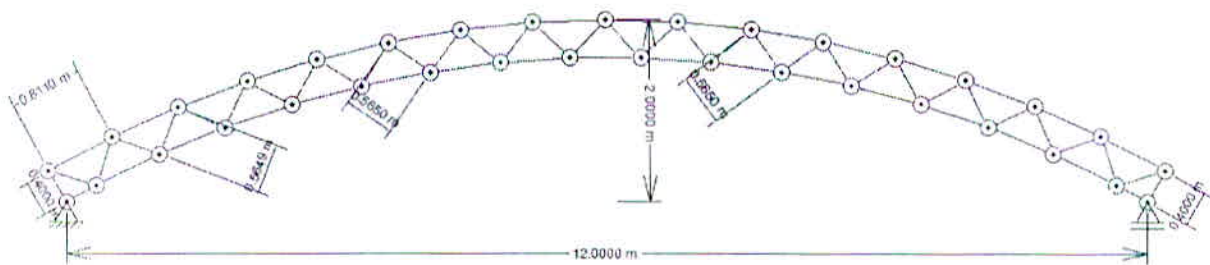


Figura 7.2: Geometria tesoura.

Segundo Souza (2006), as treliças de arco circulares são utilizadas para coberturas de médio e grande vão e deve-se verificar que o ângulo entre os banzos e a diagonais esteja entre 45° a 60°, para que tenha uma boa distribuição dos esforços nas diagonais. A relação entre a altura e o vão livre deve ficar entre 1/40 e 1/30 para pequenos vãos.

Assim, o ângulo entre os banzos e as diagonais vale:

$$\text{sen } \theta = 0,40 / 0,5649$$

$$\theta = 45,10^\circ$$

A altura h, adotado foi de 40cm, pois:

$$h = 0,40 / 12 = 1 / 30$$

Perfis adotados	
Banzo inferior	2L 3,81 x 6,96 kg/m
Banzo superior	2L 6,35 x 9,14 Kg/m
Diagonais	2,54 x 1,73 kg/m
Montante	L 2,54 x 1,19 kg/m

Logo, o total de aço consumido para uma tesoura será de:

Banzo inferior: 12,56 metros de comprimento x 6,96 = 87,4176 kg

Banzo superior: 12,976 metros de comprimento x 9,14 = 118,6006 kg

Diagonais: 18,08 metros de comprimento x 1,73 = 31,2784 kg

Montante: 0,8 metros de comprimento x 1,19 = 0,952 Kg

Total de aço consumido = 238,25 Kg.

Total de aço (treliça): 238,25 . 11 = 2620,75 kg.

Total de aço (treliça) por metro quadrado: 2620,75/720 = **3,64kg/m²**

Terças: perfil C de 4": 10,16cm x 10,80kg/m = 10,80 . 9 . 60 = 5832 kg.

Total de aço: 8453 kg

Total de aço por metro quadrado: 8453/720 = **11,74 kg/m²**

3º tipo: treliça com duas águas paralelas

Para a Cobertura em duas águas paralelas será utilizadas os mesmos valores calculados para a cobertura duas águas.

Assim temos que a geometria utilizada segue abaixo:

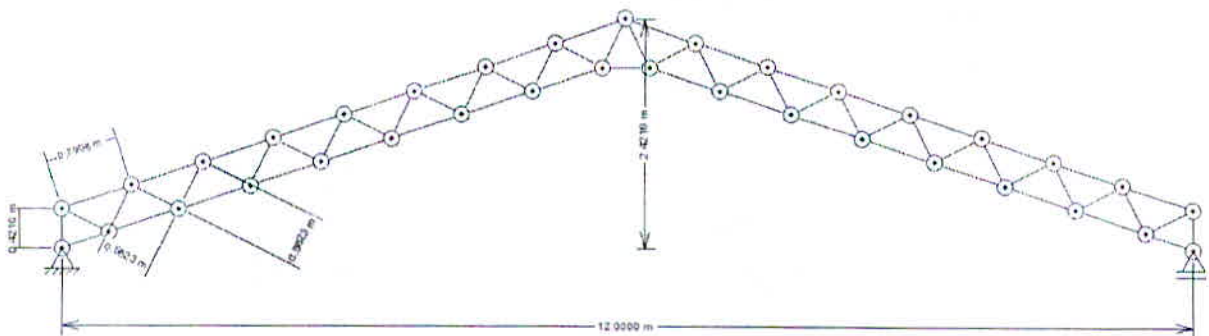


Figura 7.3: Geometria da tesoura.

Segundo Souza (2006), o ângulo ideal da inclinação entre as diagonais e o banzos é de 45°. Mas nos casos de treliças as treliças com pequenas distâncias entre os banzos, o ângulo ideal é menor que 45°. A altura adotada será a mesma do arco, assim $h = 40$ cm.

Assim, o ângulo entre os banzos e as diagonais vale:

$$\text{sen } \theta = 0,40 / 0,40$$

$$\theta = 45^\circ$$

Perfis adotados	
Banzo inferior	2L 5,08 x 7,26 kg/m
Banzo superior	2L 6,35 x 9,14 Kg/m
Diagonais	L 3,81 x 2,68 kg/m
Montante	L 2,54 x 1,19 kg/m

O total de aço consumido para uma tesoura será de:

Banzo inferior: 12,622 metros de comprimento x 7,26 = 91,6357 kg

Banzo superior: 12,65 metros de comprimento x 9,14 = 115,621 kg

Diagonais: 18 metros de comprimento x 2,68 = 48,24 kg

Montante: 0,80 metros de comprimento x 1,19 = 0,952 Kg

Total de aço consumido = 256,45 Kg.

Total de aço (treliça): 256,45 . 11 = 2820,95 kg.

Total de aço (treliça) por metro quadrado: 2820,95/720 = **3,92kg/m²**

Terças: perfil C de 4": 10,16cm x 10,80kg/m = 10,80 . 9 . 60 = 5832 kg.

Total de aço: 8653 kg

Total de aço por metro quadrado: 8653/720 = **12,02 kg/m²**

4º tipo: treliça com duas águas sem montante nas extremidades

Na Cobertura em duas águas com montante será utilizado os mesmos valores calculados para a cobertura em duas águas sem montante.

A geometria utilizada para as diagonais e os montantes será o mesmo que foi utilizado na geometria duas águas. Assim temos que a geometria utilizada segue abaixo:

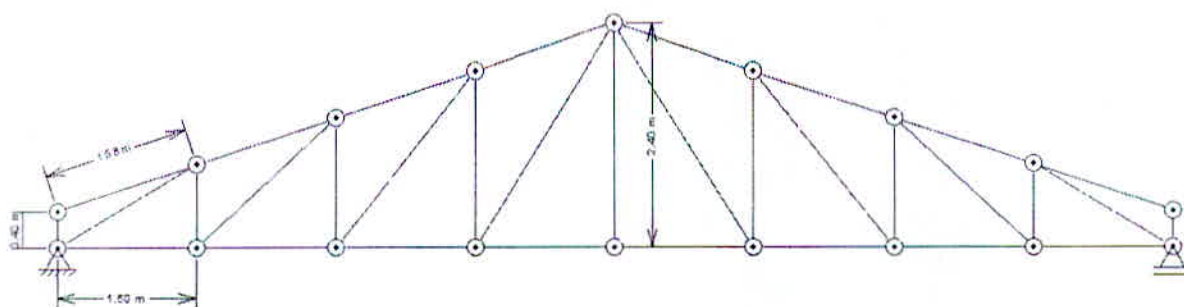


Figura 7.4: Geometria da tesoura.

Perfis adotados	
Banzo inferior	2L 1,905 x 1,74 kg/m
Banzo superior	2L 3,81 x 3,66 Kg/m
Diagonais	L 5,08 x 3,63Kg/m
Montante	L 3,175 x 2,20 kg/m

Total de aço consumido para uma tesoura será de:

Banzo inferior: 12 metros de comprimento x 1,74 = 20,88 kg

Banzo superior: 12,64 metros de comprimento x 3,66 = 46,2624 kg

Diagonais: 18,1 metros de comprimento x 3,63 = 65,703 kg

Montante: 11,6 metros de comprimento x 2,20 = 25,52 Kg

Total de aço consumido = 158,37 Kg.

Total de aço (treliça) : 158,37 . 11 = 1742,07kg.

Total de aço (treliça) por metro quadrado: 1742,07/720 = **2,42kg/m²**

Terças: perfil C de 4": 10,16cm x 10,80kg/m = 10,80 . 9 . 60 = 5832 kg.

Total de aço: 7574,07 kg

Total de aço por metro quadrado: 7574,07/720 = **10,52 kg/m²**

5º tipo: treliça de alma cheia

Para o calculo da cobertura em alma cheia será levado em consideração que será utilizada a mesma terça para todos.

A geometria utilizada nas tesouras segue em abaixo.



Figura 7.5: Geometria tesoura.

O perfil adotado foi o W360 x 44.

Aço consumido na tesoura: $(44\text{kg/m} \cdot 6,3246) \cdot 2 = 556,56\text{ kg}$.

Total de aço (treliça): $556,56 \cdot 11 = 6122,16\text{ kg}$.

Total de aço (treliça) por metro quadrado: $6122,16 / 720 = 8,5\text{kg/m}^2$

Terças: perfil C de 4": $10,16\text{cm} \times 10,80\text{kg/m} = 10,80 \cdot 9 \cdot 60 = 5832\text{ kg}$.

Total de aço: $11954,16\text{ kg}$

Total de aço por metro quadrado: $11954,16 / 720 = 16,60\text{ kg/m}^2$

8. DEFORMAÇÃO

Para a análise da deformação sofrida pelas treliças se utilizou a NBR 8800:2008 anexo C, na qual sugere que o deslocamento máximo vertical admitido nas treliças é de $L/250$ (sendo L o comprimento da treliça). Para o cálculo dos deslocamentos máximos verticais, vamos considerar somente as ações da carga permanente e da sobrecarga, já que estas influenciam diretamente na estrutura e estão presentes na maior parte do tempo. A ação do vento é de suma importância nos deslocamentos horizontais, como este não faz parte do objetivo de estudo, não será levado em consideração neste trabalho.

Para o estudo dos deslocamentos verticais, será utilizado um nó somente para o estudo. Sendo este verificado em todas as treliças. Segue abaixo a tabela com os deslocamentos máximos, os cálculos dos deslocamentos estão no anexo D.

Tabela 8.1: Deslocamentos verticais nas treliças

Treliça	Peso próprio (dy -mm)	Sobrecarga (dy-mm)	Deslocamento máximo (L/250)	Deslocamento Total (mm)
Duas águas s/ mont. nas ext.	0,661	0,564	48	1,225
Duas águas c/ mont. nas ext.	1,757	1,461	48	3,218
Duas águas paralelas	1,430	1,160	48	2,590
Arco	1,513	1,264	48	2,777
Alma cheia	46,56	38,72	48	84,28

9. RESULTADOS

Como foi verificada temos que o consumo de aço por metro quadrado de área construída para cada tipologia que segue abaixo. Será feita uma comparação em primeiro instante entre os pórticos treliçados e o de alma cheia.

Tabela 9.1: Consumo de aço das treliças.

Tipologia	Consumo	Análise comparativa – consumo
Duas águas sem montante nas extremidades	10,31kg/m ²	62,11%
Duas águas com montante nas extremidades	10,52 kg/m ²	63,37%
Duas águas paralelas	12,02 kg/m ²	72,41%
Arco	11,74 kg/m ²	70,72%
Alma cheia	16,60 kg/m ²	100%

Como pode ser verificado, o consumo de aço por metro quadrado de área construída da alma cheia é o maior, o que é condizente com a literatura. Tem se que o consumo da treliça de duas águas sem montante nas extremidades é aproximadamente 38% menor que a de alma cheia.

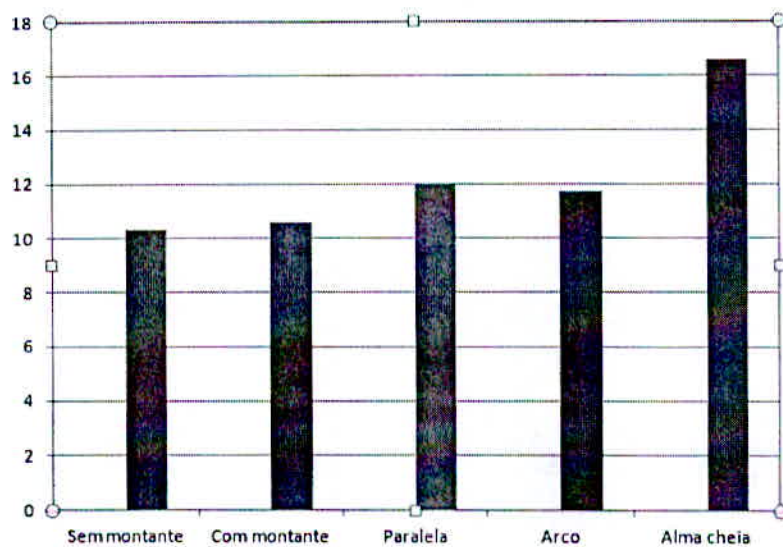


Gráfico 1: Consumo de aço.

Fazendo uma análise entre as treliças duas águas com montante nas extremidades e sem montante nas extremidades, temos que a diferença de consumo é insignificante. Assim como a de duas águas paralela e a de arco. O que é condizente, pois a geometria dessas é semelhante.

Em relação à deformação temos que a treliça de alma cheia se deforma com maior intensidade. Entre os treliçados o que mais se deformou foi a treliça duas águas com montante nas extremidades.

10. CONCLUSÃO

Com as análises temos que o pórtico de alma cheia apresenta uma taxa de consumo de aço superior aos pórticos treliçados, que já era esperado. E que é condizente com a literatura. Porém não significa um menor custo para os pórticos treliçados, pois vários fatores influenciam no custo final de um projeto. Sendo que no pórtico de alma cheia, segundo a literatura, Manual de Construção em Aço, Dimensionamento dos Perfis Formados a Frio Conforme a NBR14762 e NBR 6355, se utilizando este perfil se consegue eliminar travamentos, reduzir áreas de pintura e reduzir a probabilidade da corrosão.

Com os pórticos treliçados temos que a treliça de duas águas sem montante nas extremidades é a que possui um consumo de aço menor, sendo a de duas águas paralelas possui o consumo de aço maior. Sendo que as duas águas sem montante nas extremidades e com montante nas extremidades, possui valores muito próximos, o que ocorre com a de arco e duas águas paralelas. Tal resultado é de se esperar devido às características geométricas das treliças com montante e sem montante e a de arco e duas águas paralelas serem muito semelhantes.

11. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR – 8800: 2008 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR – 6123: 1988 – Forças Devido ao Vento em Edifícios.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR – 14762: 2001 – Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formadas a Frio.

BELLEI, Ildony H. Edifícios Industriais em Aço - Projeto e Cálculo. 6.ed. São Paulo: PINI, 2006.

D'ALAMBERT. F., Galpões em Pórticos com Perfis Estruturais Laminados, Belo Horizonte: GERDAU Aço Minas, 2004 1º Ed. V. 3.

FARIA, A. Notas de aula – disciplina: Estrutura III, UNIS – Varginha MG, 2013

MADEIRA, A. R., Estrutura em Aço para Pavilhão Industrial: Comparação entre Soluções com Elementos Treliçados e de Alma Cheia, UFRS, 2009.

Manual de Construção em Aço, Dimensionamento dos Perfis Formados a Frio Conforme a NBR14762 e NBR 6355. Centro Brasileiro da Construção em Aço. 2008.

MATHA, L. F.; Ftool – Two-Dimensional Frame Analysis Tool – Versão 2.12 – 2008. Programa Livre Educacional (TECGRAF/PUC-RIO – Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC – RJ, Rio de Janeiro- RJ, 2008.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. SECRETARIA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL (MIC/STI). *Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas*. v.1. Brasília: MIC/STI, 1986.

NOGUEIRA, G. S., Avaliação de Soluções Estruturais para Galpões Compostos por Perfis de Aço Formados a Frio, Ouro Preto, Escola de Minas\UFOP, 2009.

PFEIL, W.; PFEIL M.; Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008

PINHO, F. O. *Galpões em Pórticos de Aço*. Construção Metálica, n.70, Mai-Jun, 2005. p.21-27.

PINHEIRO, A. C. F. B., Estruturas Metálicas, 2º Ed. São Paulo-SP, Editora Edgard Blucher, 2005.

PRAVIA, Z. M. C.; Visual Ventos Versão 2.0.2. 2008. Programa Livre Educacional (FEAR – Faculdade de Engenharia e Arquitetura) Universidade de Passo Fundo – UPF MG, Minas Gerais – MG, 2008.

SANTOS, S. V., RODRIGUES, M. C., SILVA, J. C., CARVALHO, H. F., BALTAZAR, E., PEDROSA, H. F., ARIMATEA, A. C., PEREIRA, A. C., Diferentes Geometrias de treliças, Varginha, UNIS-PIC Engenharia Mecânica , 2008.

SOUZA, A. N., MALITE, M., Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 7, n. 27, p. 27-58, 2005.

ANEXO A

CARGAS DEVIDO AO VENTO

Segundo Bellei, página 86, a ação do vento nas estruturas metálicas é uma das mais importantes a considerar, principalmente se não houver ações de ponte rolante, não podendo ser negligenciada, sob o risco de colocar a estrutura em colapso. Para o estudo do vento foi considerada a NBR 6123/1988.

Velocidade Básica do Vento V_0

O galpão em estudo se situa na região sudeste, no Sul de Minas Gerais, na cidade de Varginha, com isto, a velocidade básica do vento foi estabelecida em 40m/s, segundo o gráfico de isopletas da velocidade básica, no Brasil, com intervalos de 5m/s, figura 2.1.

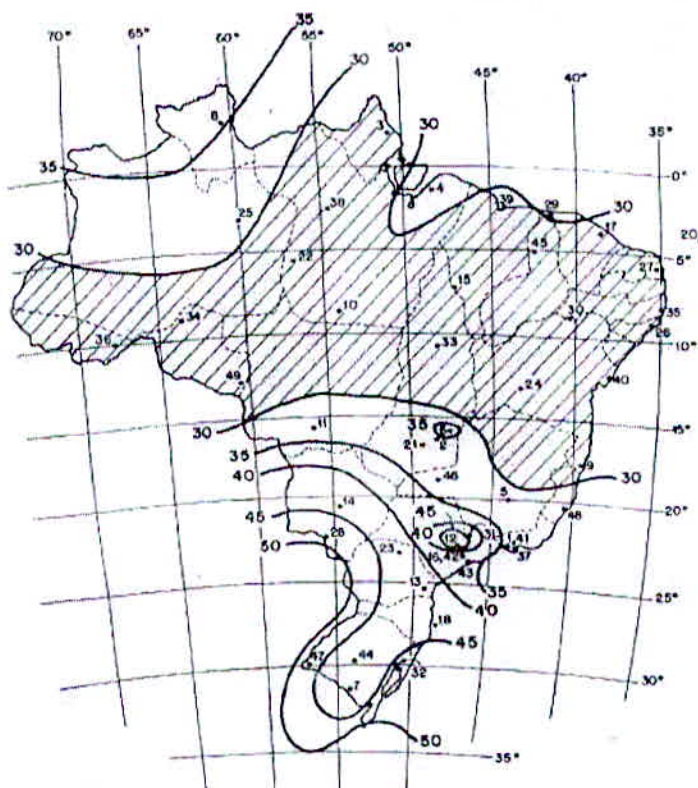


Figura 1: isopletas do Brasil

Fonte: NBR 6123/88

Fator topográfico S_1 e Fator de Rugosidade S_2

O galpão em estudo se situa em um terreno plano, ou fracamente acidentado, ou seja, caso a, segundo a NBR 6123/1988, logo $S_1 = 1,0$.

Este se situa em uma zona industrial parcialmente desenvolvido sua categoria é IV e como possui comprimento maior que 50m sua classe será C, de acordo com a NBR 6123/1988.

O fator de rugosidade S_2 é obtido pela expressão:

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot (Z/10)^p$$

Onde os parâmetros $p = 0,135$, $b = 0,84$ e $F_r = 0,95$.

Fazendo $Z = 3,0\text{m}$

$$Z = 6,0\text{m}$$

$$Z = 9,0\text{m}$$

Temos:

$$\text{Para } Z \leq 3,0\text{m} - S_2 = 0,84 \cdot 0,95 \cdot (3/10)^{0,135} = 0,6783$$

$$\text{Para } Z \leq 6,0\text{m} - S_2 = 0,84 \cdot 0,95 \cdot (6/10)^{0,135} = 0,7448$$

$$\text{Para } Z \leq 9,0\text{m} - S_2 = 0,84 \cdot 0,95 \cdot (9/10)^{0,135} = 0,7867$$

Logo a velocidade característica:

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

Assim

$$h \leq 3,0\text{m} - V_k = 40 \cdot 0,6783 \cdot 1,0 = 27,13\text{m/s}$$

$$h \leq 6,0\text{m} - V_k = 40 \cdot 0,7448 \cdot 1,0 = 29,79\text{m/s}$$

$$h \leq 9,0\text{m} - V_k = 40 \cdot 0,7867 \cdot 1,0 = 31,46\text{m/s}$$

Logo a pressão dinâmica será:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2$$

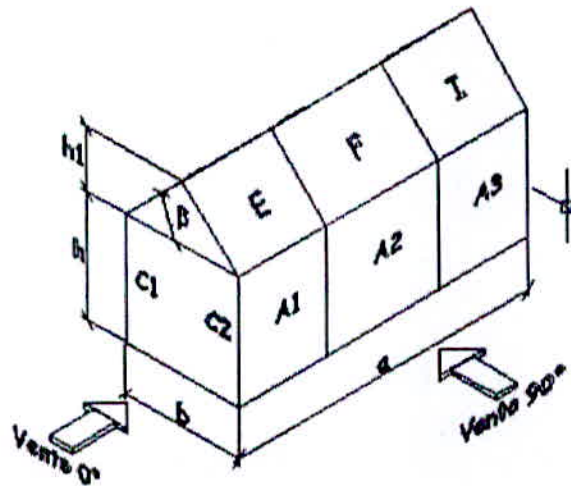
$$h \leq 3,0\text{m} - q = 0,613 \cdot (27,13)^2 = 451,19 \text{ N/m}^2$$

$$h \leq 6,0\text{m} - q = 0,613 \cdot (29,79)^2 = 473,41 \text{ N/m}^2$$

$$h \leq 9,0\text{m} - q = 0,613 \cdot (31,46)^2 = 606,71 \text{ N/m}^2$$

O galpão possui pé direito de 6m e declividade da cobertura de 18,43°.

Com o programa visual ventos temos:



Velocidade básica do vento $V_o = 40,00$ m/s

Fator Topográfico (S1) Terreno plano ou fracamente acidentado $S1 = 1,00$

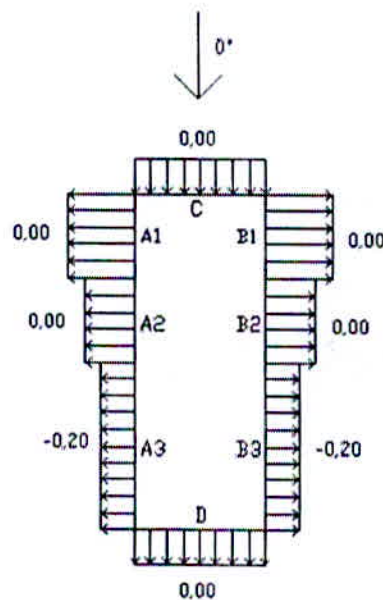
Fator de Rugosidade (S2) Categoria IV Classe C Parâmetros retirados da Tabela 2 da NBR6123/88 que relaciona Categoria e Classe $b = 0,84$ $Fr = 0,95$ $p = 0,13$

$S2 = b * Fr * (z/10)^{exp p}$ $S2 = 0,84 * 0,95 * (8,00/10)^{exp 0,13}$ $S2 = 0,77$

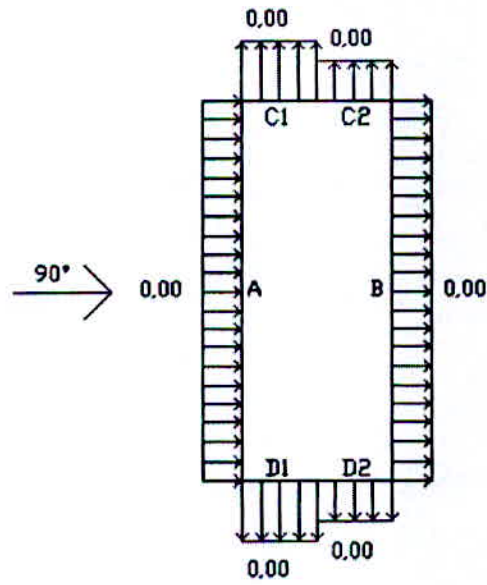
Fator Estático (S3) Grupo 1 $S3 = 1,00$

Coefficiente de pressão externa Paredes

Vento 0°

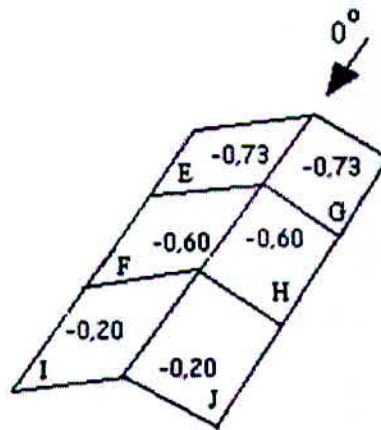


Vento 90°

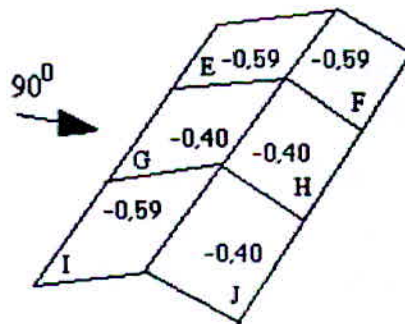


Telhado

Vento 0°



Vento 90°



Coeficiente de pressão interno $C_{pi 1} = 0,20$ $C_{pi 2} = -0,30$

Velocidade Característica de Vento $V_k = V_o * S1 * S2 * S3$

$$V_k = 40,00 * 1,00 * 0,77 * 1,00$$

$$V_k = 30,97 \text{ m/s}$$

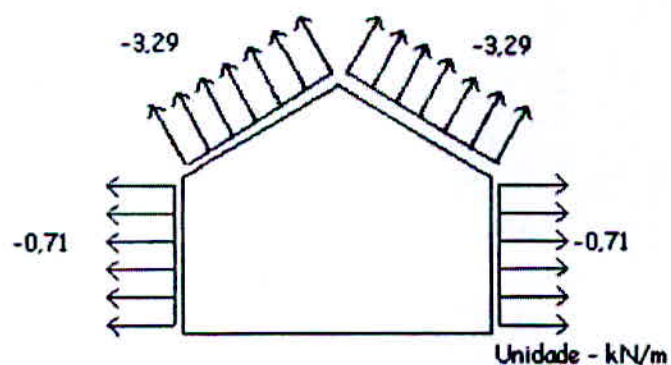
Pressão Dinâmica $q = 0,613 * V_k^2$

$$q = 0,613 * 30,97^2$$

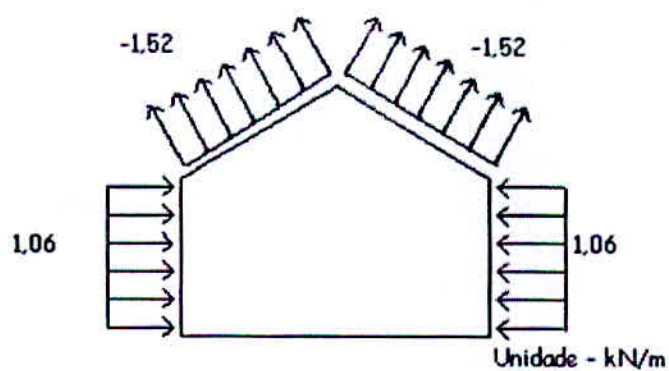
$$q = 0,59 \text{ kN/m}^2$$

Esforços Resultantes

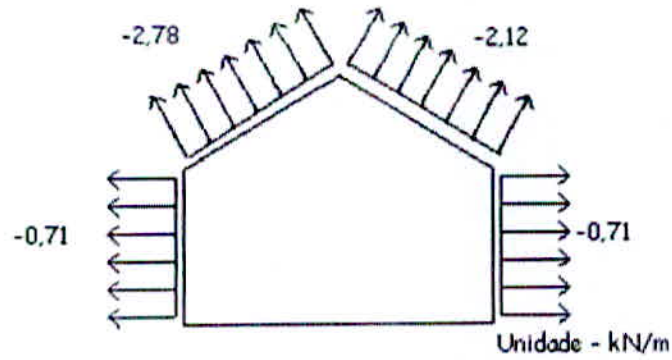
Vento 0° - $C_{pi} = 0,20$



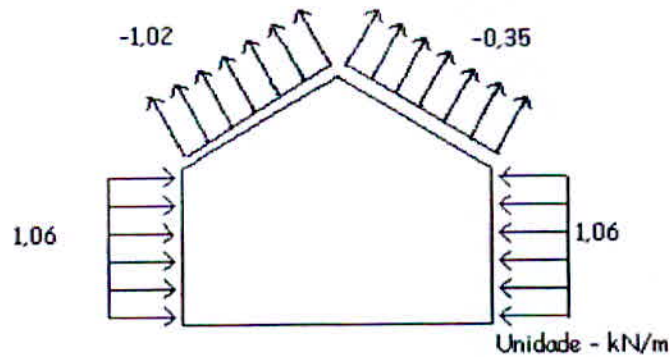
Vento 0° - $C_{pi} = -0,30$



Vento 90° - $C_{pi} = 0,20$



Vento 90° - $C_{pi} = -0,30$



Coefficientes de forma externos

Os coeficientes de forma externos foram calculados conforme a tabela 5 da NBR 6123 /1988.

De acordo com os dados do galpão o seu comprimento (h) é de 12 metros e possui um pé direito (a) de 6 metros. Logo h/a é igual a 0,5. Tendo o telhado uma declividade de 18,43°, temos os coeficientes de forma externe:

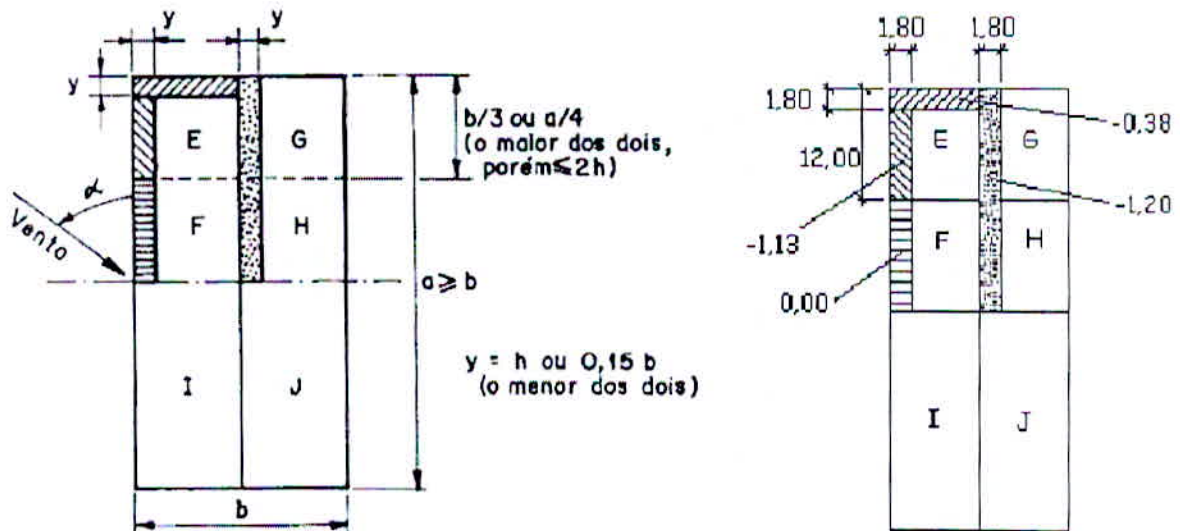


Figura 2: Coeficientes de forma externos . Fontes: NBR 6123/1988 e programa visual vento.

Vento a 90°: Zonas EF, $C_e = -0,59$

Zonas GH, $C_e = -0,40$

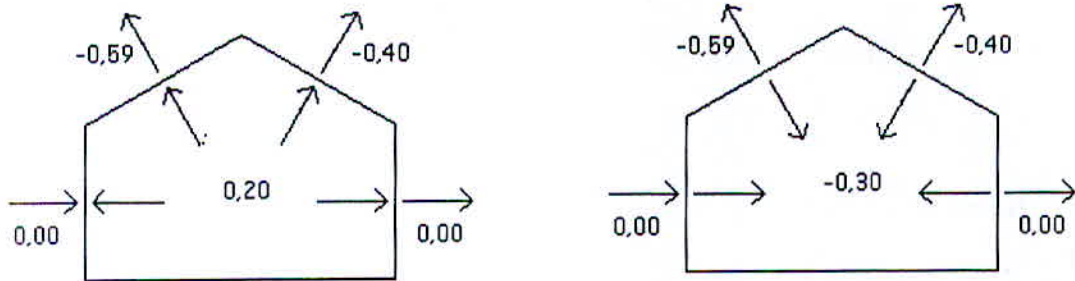


Figura 3: Fonte: Programa visual ventos

Vento a 0°: Zonas EF, $C_e = -0,59$

Zonas GH, $C_e = -0,40$

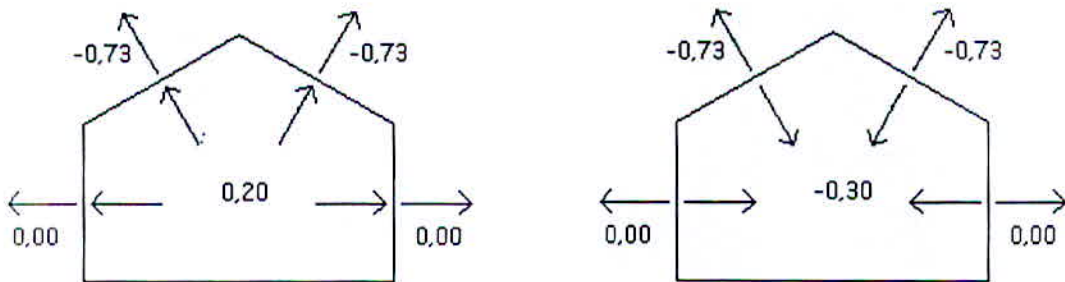


Figura 4: Fonte Programa visual vento

Assim, a condição mais desfavorável para o coeficiente de pressão resultante é:

$$C_e - C_i = -1,2 - (0,2) = -1,4$$

Sendo que o carregamento devido ao vento será dado por:

$$\text{Carga} = (C_e - C_i) \cdot \text{área de influência}$$

Cobertura em arco treliçado metálico

A velocidade básica do vento será a mesma estabelecida anteriormente, ou seja, 40m/s. O fator topográfico S_1 será igual a 1 e o fator de rugosidade também foi calculado anteriormente. Logo, a pressão crítica será $606,71 \text{ N/m}^2$.

Coefficientes de forma externos

Temos que o galpão possui largura de 12 metros, comprimento de 60 metros e possui um pé direito (a) de 6 metros.



Figura 5: Planta do galpão.

Os coeficientes de forma externos foram calculados conforme o anexo E da NBR 6123 /1988.

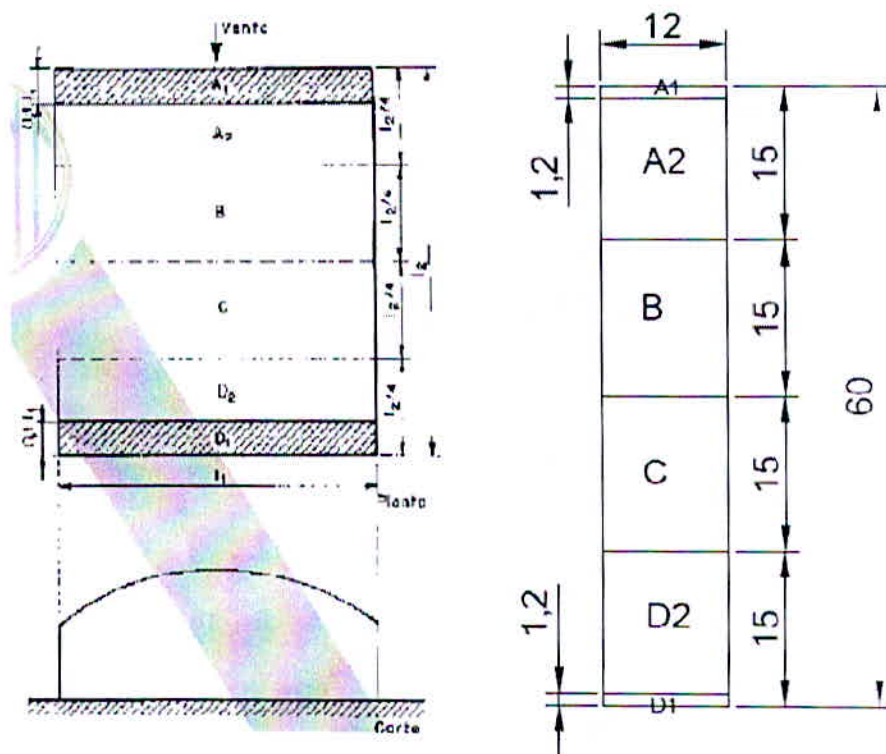


Figura 2: Vento paralelo à geratriz da cobertura, segundo a NBR6123, pag. 50.

Onde $l_2 = 60\text{m}$, assim temos que $l_2/4 = 15\text{m}$. Na qual $l_1 = 12\text{m}$, logo $0,1 \cdot l_1 = 1,2\text{m}$.

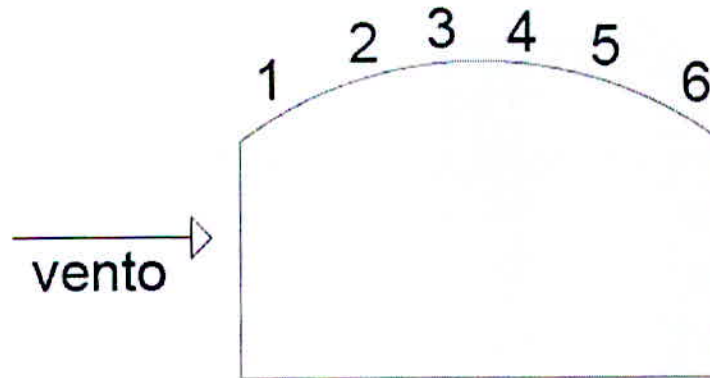


Figura 6: vento perpendicular à geratriz da cobertura.

Temos que:

$f/l_2 = 2/12 = 1/6 \approx 1/5$, usando o valor de $1/10$ na tabela 24 anexo E da norma NBR 6123.

$h/l_2 = 6/12 = 1/2$.

Então os coeficientes de pressão externa para vento soprando perpendicularmente à geratriz da cobertura será:

1	2	3	4	5	6
-1,2	-0,7	-0,9	-0,8	-0,3	-0,2

De acordo com as tabelas 25 e 26, temos que os coeficientes de pressão externa será:

- para ventos soprando paralelamente à 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

- para ventos soprando obliquamente à geratriz da cobertura:

Parte da cobertura	A_1	D_1
C_{pe}	-1,8	-1,8

Será utilizada os coeficientes de pressão interna igual a -0,3 (sucção) e 0,2. Logo os coeficientes de pressão serão:

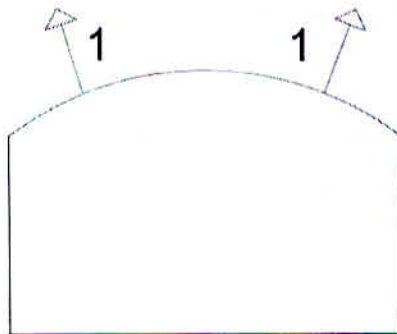
Caso1: vento 90° mais coeficiente de pressão interna +0,2

1	2	3	4	5	6
1,4	0,9	1,1	1,0	0,5	0,4

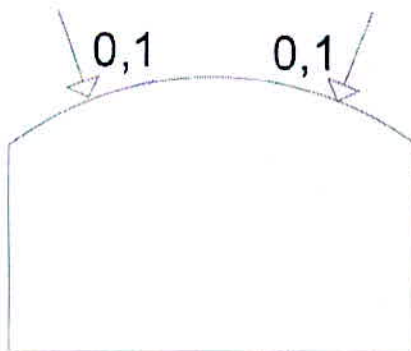
Caso2: vento 90° mais coeficiente de pressão interna -0,3

1	2	3	4	5	6
0,9	0,4	0,6	0,5	0,0	-0,1

Caso3: vento 0° mais coeficiente de pressão interna +0,2



Caso 4: vento 0° coeficiente de pressão interna -0,3



Assim, a condição mais desfavorável para o coeficiente de pressão resultante é:

$$C_e - C_i = -1,4 - (0,2) = -1,6$$

O carregamento devido ao vento será dado por:

$$\text{Carga} = q \cdot (C_e - C_i) \cdot \text{área de influência}$$

Logo teremos os seguintes casos:

- Caso1: vento 90° mais coeficiente de pressão interna +0,2

$$q_1 = 606,71 \cdot 1,4 \cdot 6 = 5,1\text{KN/m}$$

$$q_2 = 606,71 \cdot 0,9 \cdot 6 = 3,3\text{KN/m}$$

$$q_3 = 606,71 \cdot 1,1 \cdot 6 = 4,0\text{KN/m}$$

$$q_4 = 606,71 \cdot 1,0 \cdot 6 = 3,6\text{KN/m}$$

$$q_5 = 606,71 \cdot 0,5 \cdot 6 = 1,8\text{KN/m}$$

$$q_6 = 606,71 \cdot 0,4 \cdot 6 = 1,5\text{KN/m}$$

1	2	3	4	5	6
5,1	3,3	4,0	3,6	1,8	1,5

Caso2: vento 90° mais coeficiente de pressão interna -0,3

$$q_1 = 606,71 \cdot 0,9 \cdot 6 = 3,3\text{KN/m}$$

$$q_2 = 606,71 \cdot 0,4 \cdot 6 = 1,5\text{KN/m}$$

$$q_3 = 606,71 \cdot 0,6 \cdot 6 = 2,2\text{KN/m}$$

$$q_4 = 606,71 \cdot 0,5 \cdot 6 = 1,8\text{KN/m}$$

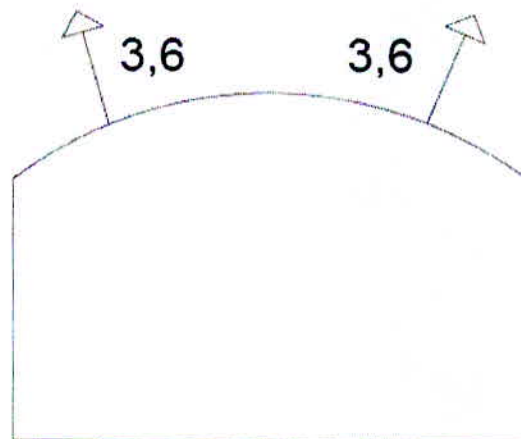
$$q_5 = 606,71 \cdot 0,0 \cdot 6 = 0,0\text{KN/m}$$

$$q_6 = 606,71 \cdot -0,1 \cdot 6 = -0,36\text{KN/m}$$

1	2	3	4	5	6
3,3	1,5	2,2	1,8	0,0	-0,36

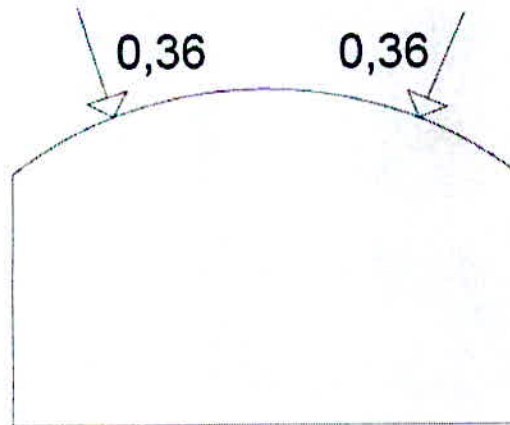
Caso3: vento 0° mais coeficiente de pressão interna +0,2

$$q_1 = 606,71 \cdot 1 \cdot 6 = 3,6\text{KN/m}$$



Caso 4: vento 0° coeficiente de pressão interna -0,3

$$q_i = 606,71 \cdot -0,1 \cdot 6 = -0,36 \text{KN/m}$$



Sendo que o carregamento devido ao vento será dado por:

$$\text{Vento} = -1,6 \cdot 606,71 = -970,74 \text{N/m}^2$$

APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DA TERÇA

CARREGAMENTOS ATUANTES NAS TERÇAS

Para os carregamentos nas terças foram consideradas ações permanentes e variáveis que atuam nas terças de coberturas dos galpões para uso geral.

São designadas como ações permanentes o peso próprio da terça, telha, sistema de iluminação e contraventamentos e ações variáveis a sobrecarga e o vento.

Telhas

Será utilizada telha termoacústica, aonde teremos o isolante térmico e acústico utilizado o poliestileno EPS, mas conhecido como isopor, tipo 4.

Telha Sanduiche com EPS (isopor).

Espessura do EPS : 50mm

Densidade (segundo a NBR 11757/07) : 18 kg/m^3

Altura da onda: 40mm

Espessura de uma telha: 0,50mm

Peso da telha: $4,89 \text{ Kg/m}^2$

Assim, o peso total da telha será: Peso da telha + peso da lã de vidro

$$P = 2 \cdot 4,89 \cdot 10 + 18 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \approx 109 \text{ N/m}^2$$

Sobrecarga

A sobrecarga segundo a NBR 8800 será de 250 N/m^2 .

Vento

Sendo que o carregamento devido ao vento será dado por:

$$\text{Vento} = -1,4 \cdot 606,71 = -849,40 \text{ N/m}^2$$

Carregamento nas telhas de cobertura

O carregamento total nas telhas de cobertura será:

- Peso próprio:	109 N/m^2
- Sobrecarga:	250 N/m^2
- Total:	359 N/m^2
- Vento:	-850 N/m^2

Logo teremos as seguintes combinações em relação ao carregamento nas telhas:

- Peso próprio + sobrecarga = 359N/m^2

- Peso próprio + vento = -741N/m^2

Temos que o vão máximo entre as terças será dado para uma flecha máxima de pelo $L/200$, com isto o fabricante (figura 3.1) fornece um vão máximo de 2,4m.

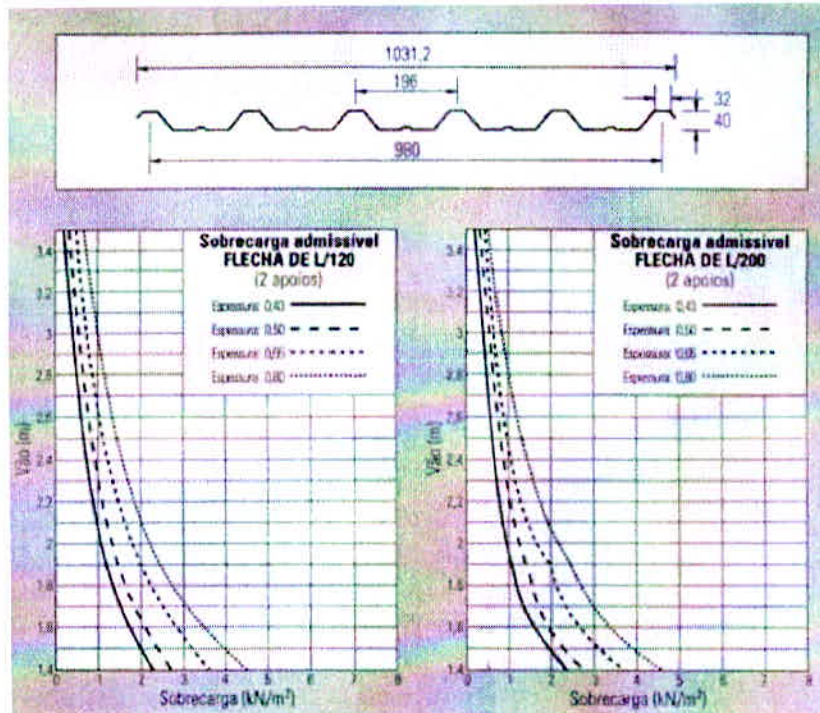


Figura 1: Telhas de aço zincado. Sobrecargas admissíveis, considerando a flecha em dois apoios. Fonte: Pinheiro 2005

Assim o afastamento adotado entre as terças será de $6,40/4 = 1,6\text{m}$.

DIMENSIONAMENTO DAS TERÇAS

Segundo Pinheiro, a altura da terça será dada por:

$$(L/40) \leq \text{altura} \leq (L/60)$$

$$600/40 \leq \text{altura} \leq 600/60$$

$$150\text{mm} \leq \text{altura} \leq 100\text{mm}$$

Será adotado perfil C de 4": 10,16cm x 9,30kg/m

Onde:

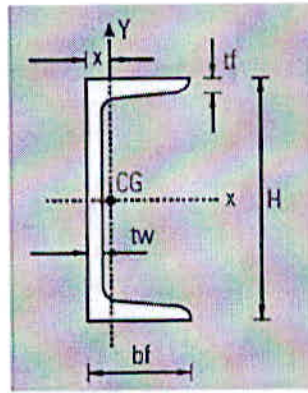


Figura 2: Fonte Pinheiro.

Tabela E.3 — Perfil C
Propriedades para dimensionamento

H	P	A	b _r	t _r	t _w	EIXO X-X			EIXO Y-Y			x	α	
						I	W	r	I	W	r			
pol	cm	kg/m	cm ²	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	-	
3"	7,62	6,11	7,78	3,58	0,69	0,432	68,9	18,1	2,98	8,2	3,32	1,03	1,11	276
		7,44	9,48	3,80	0,69	0,655	77,2	20,3	2,85	10,3	3,82	1,04	1,11	293
		8,93	11,40	4,05	0,69	0,904	86,3	22,7	2,75	12,7	4,39	1,06	1,16	313
4"	10,16	7,95	10,10	4,01	0,75	0,457	159,5	31,4	3,97	13,1	4,61	1,14	1,16	252
		9,30	11,90	4,18	0,75	0,627	174,4	34,3	3,84	15,5	5,10	1,14	1,15	260
		10,80	13,70	4,37	0,75	0,813	190,6	37,5	3,73	18,0	5,61	1,15	1,17	273
6"	15,24	12,20	15,50	4,88	0,87	0,508	546,0	71,7	5,94	28,8	8,16	1,36	1,30	236
		15,60	19,90	5,17	0,87	0,798	632,0	82,9	5,63	36,0	9,24	1,34	1,27	250
		19,40	24,70	5,48	0,87	1,110	724,0	95,0	5,42	43,9	10,50	1,33	1,31	265
		23,10	29,40	5,79	0,87	1,420	815,0	107,0	5,27	52,4	11,90	1,33	1,38	279
8"	20,32	17,10	21,80	5,74	0,99	0,559	1.356,0	133,4	7,89	54,9	12,80	1,59	1,45	236
		20,50	26,10	5,95	0,99	0,770	1.503,0	147,9	7,60	63,6	14,00	1,56	1,41	245
		24,20	20,80	6,18	0,99	1,003	1.667,0	164,0	7,35	72,9	15,30	1,54	1,40	254
		27,90	35,60	6,42	0,99	1,237	1.830,0	180,1	7,17	82,5	16,60	1,52	1,44	264
		31,60	40,30	6,65	0,99	1,471	1.990,0	196,2	7,03	92,6	17,90	1,52	1,49	273

Figura 3: tabela perfil C, propriedades para dimensionamento. Fonte Pinheiro.

Verificação da Terça

Segundo a NBR 8800 será verificada a flambagem local da alma e flambagem local da mesa da terça.

Flambagem local da alma – eixo de maior inércia

O índice de esbeltez é dada por:

$$\lambda = h / t_w = (10,16 - 2 \cdot (0,75)) / 0,627 = 13,811$$

Onde o parâmetro de esbeltez limite é dado de acordo com a NRB 8800:

$$\lambda_p = 3,76 (E/f_y)^{1/2}$$

Onde

E – módulo de elasticidade do aço = 2000000kg/cm²

f_y – resistência ao escoamento do aço = 250 Mpa

Logo

$$\lambda_p = 106,35$$

Temos que $\lambda < \lambda_p$, assim $M_{Rd} = M_{pl} / \lambda_{a1}$

$$M_{pl} = Z_x \cdot f_y = 1,12 \cdot W_x \cdot f$$

$$M_{pl} = 1,12 \cdot 32,3 \cdot 25 = 904,4 \text{KN.cm}$$

$$M_{Rd} = 904,4 / 1,1 = 822,18 \text{KN.cm}$$

Flambagem local da mesa – eixo de maior inércia

O índice de esbeltez é dada por:

$$\lambda = b_f / t_f = 4,18 / 0,75 = 5,57$$

Onde o parâmetro de esbeltez limite é dado de acordo com a NRB 8800:

$$\lambda_p = 0,38 (E/f_y)^{1/2} = 10,75$$

Como $\lambda < \lambda_p$, temos que $M_{Rd} = M_{pl} / \lambda_{a1}$

$$M_{pl} = Z_x \cdot f_y = 1,12 \cdot W_x \cdot f$$

$$M_{pl} = 1,12 \cdot 32,3 \cdot 25 = 904,4 \text{KN.cm}$$

$$M_{Rd} = 904,4 / 1,1 = 822,18 \text{KN.cm}$$

Flambagem local de torção

Como as terças serão travadas lateralmente pelo eixo x, temos que: $L_b = 0$

Assim, $M_{Rd} = 822,18 \text{KN} \cdot \text{cm}$

Flambagem local da mesa – eixo de menor inércia

O índice de esbeltez é dada por:

$$\lambda = h / t_w = (10,16 - 2 \cdot (0,75)) / 0,627 = 13,811$$

Onde o parâmetro de esbeltez limite é dado de acordo com a NRB 8800:

$$\lambda_p = 0,38 (E/f_y)^{1/2} = 10,75$$

Temos que o parâmetro de esbeltez limite para seções semicompactadas será dado por, de acordo com a NBR 8800:

$$\lambda_R = 0,83 \cdot (E / (f_y - \sigma_R))^{1/2}$$

$$\lambda_R = 0,83 \cdot (200000 / (0,7 \cdot 250))^{1/2}$$

$$\lambda_R = 28,06$$

Segundo a NBR 8800 temos que o momento fletor correspondente ao início do escoamento (M_R) é dado por:

$$M_R = (f_y - \sigma_R) \cdot W_y$$

$$M_R = (0,7 \cdot 25) \cdot 5,10 = 89,25 \text{ KN.cm}$$

Como $\lambda_p < \lambda < \lambda_R$, temos uma flambagem inelástica, assim o momento fletor resistente de cálculo (M_{Rd}) será dado por:

$$M_{Rd} = [M_{pl} - (M_{pl} - M_R) \cdot [(\lambda - \lambda_p) / (\lambda_R - \lambda_p)]] / \gamma_{al}$$

Onde:

$$M_{pl} = Z_y \cdot f_y = 1,12 \cdot W_y \cdot f_y = 1,12 \cdot 5,10 \cdot 25 = 142,8 \text{ KN} \cdot \text{cm}$$

Assim,

$$M_{Rd} = [142,8 - (142,8 - 89,25) \cdot [(13,81 - 10,75) / (28,06 - 10,75)]] / 1,10$$

$$M_{Rd} = 121,21 \text{ KN} \cdot \text{cm}$$

Flambagem local da alma – eixo de menor inércia

O índice de esbeltez é dada por:

$$\lambda = b_f / t_f = 4,18 / 0,75 = 5,57$$

Onde o parâmetro de esbeltez limite é dado de acordo com a NRB 8800:

$$\lambda_p = 1,12 (E/f_y)^{1/2} = 31,68$$

Como $\lambda < \lambda_p$, temos que:

$$M_{Rd} = M_{pl} / \lambda_{al}$$

$$M_{pl} = Z_y \cdot f_y = 1,12 \cdot W_y \cdot f$$

$$M_{pl} = 1,12 \cdot 5,10 \cdot 25 = 142,8 \text{ KN.cm}$$

$$M_{Rd} = 142,8 / 1,1 = 129,82 \text{ KN.cm}$$

Esforços internos solicitantes nas terças

Carregamento

O peso das terças será de $9,30 \cdot 10 / 1,6 = 58,125 \text{ N/m}^2$. Será considerado um valor de 10 N/m^2 , para as correntes. Logo teremos um valor de aproximadamente 68 N/m^2 .

O vão das terças em torno do eixo x será de 6,0 m e em torno de y teremos corrente intermediária, com isto, $L_y = 3,0$ m. O vão entre terças será no plano do telhado de 1,6m e no plano horizontal de: $1,6 \cdot \cos 18,43^\circ = 1,52$ m.

Cargas atuantes

Será estimado um carregamento de:

- Peso próprio (terças mais correntes) = $68 \cdot 1,52 = 103,36$ N/m
- Peso próprio (telhas) = $109 \cdot 1,52 = 165,68$ N/m
- Total = $269,04$ N/m

A sobrecarga estimada de acordo com a NBR é de 250 N/m^2 , assim temos que:

- Sobrecarga = $250 \cdot 1,52 = 380$ N/m

O vento será de:

- Vento = $-850 \cdot 1,52 = -1292$ N/m

Combinações

Nas terças temos as cargas verticais que são o peso próprio e a sobrecarga. O vento é uma carga ortogonal ao plano da cobertura, figura 4.1.

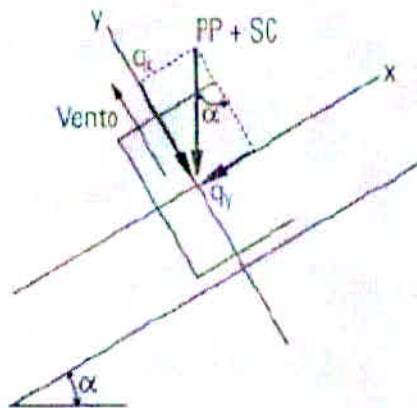


Figura 4: Cargas atuantes nas terças. Fonte Pinheiro

Temos que a decomposição do peso próprio mais a sobrecarga será dado por:

- q_x (direção x) = $(269,04 + 380) \cdot \sin 18,43^\circ = 205,19$ N/m
- q_y (direção y) = $(269,04 + 380) \cdot \cos 18,43^\circ = 615,75$ N/m

Já a decomposição do vento e do peso próprio será igual a:

- q_x (direção x) = $269,04 \cdot \sin 18,43^\circ = 85,06 \text{ N/m}$
- q_y (direção y) = $269,04 \cdot \cos 18,43^\circ - 1292 = -1036,76 \text{ N/m}$

As terças serão biapoiadas nas tesouras e travadas lateralmente no sentido do eixo X por correntes (barras redondas), com isto, temos que os esforços internos solicitantes será:

Peso próprio mais sobrecarga:

- $M_x = q_y \cdot L^2 / 8 = 615,75 \cdot 6^2 / 8 = 2770,87 \text{ N} \cdot \text{m}$
- $M_y = q_x \cdot L^2 / 8 = 205,19 \cdot 3^2 / 8 = 230,84 \text{ N} \cdot \text{m}$

Peso próprio mais vento:

- $M_x = q_y \cdot L^2 / 8 = 1036,76 \cdot 6^2 / 8 = 4665,42 \text{ N} \cdot \text{m}$
- $M_y = q_x \cdot L^2 / 8 = 85,06 \cdot 3^2 / 8 = 95,69 \text{ N} \cdot \text{m}$

A cortante máxima será dado por:

$$V_{\max} = q \cdot L / 2 = 1036,76 \cdot 6 / 2 = 3110,28 \text{ N}$$

Segundo a NBR 8800:

$$(M_{s,dx} / M_{R,dx}) + (M_{s,dy} / M_{R,dy}) \leq 1$$

Para a combinação do carregamento:

- Peso próprio mais sobrecarga temos que:

$$\begin{aligned} (1,4 \cdot 221,59 / 822,18) + (1,4 \cdot 0,231 / 121,21) &\leq 1 \\ 0,377 + 0,003 &\leq 1 \\ 0,380 &\leq 1 \end{aligned}$$

- Peso próprio mais vento temos que:

$$\begin{aligned} (1,4 \cdot 466,54 / 822,18) + (1,4 \cdot 0,096 / 121,21) &\leq 1 \\ 0,795 + 0,011 &\leq 1 \\ 0,796 &\leq 1 \end{aligned}$$

Logo, o perfil atende.

Flexão simples cortante

Temos que o índice de esbeltez será:

$$\lambda = h / t_w = (10,16 - 2 \cdot (0,75)) / 0,627 = 13,811$$

Temos que $a / h = 600 / 8,66 = 69,28$, então o coeficiente $K_v = 5$, página 50, NBR 8800. Temos que o parâmetro de esbeltez limite para seções compactadas será dado por:

$$\lambda_p = 1,12 (E \cdot k_v / f_y)^{1/2} = 1,12 \cdot (200000 \cdot 5 / 250)^{1/2}$$

$$\lambda_p = 70,83$$

Como $\lambda < \lambda_p$, temos que a força cortante resistente de cálculo será:

$$V_{Rd} = V_{pl} / \gamma_{a1}$$

Onde $V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y$,

Temos que $A_w = d \cdot t_w = 10,16 \cdot 0,627 = 6,37 \text{ cm}^2$

Assim,

$$V_{pl} = 0,60 \cdot 6,37 \cdot 25 = 95,56 \text{ KN}$$

Logo

$$V_{Rd} = 95,56 / 1,1 = 86,87 \text{ KN}$$

Temos que $V_{sd} = 3,1 \text{ KN}$, assim o perfil atende.

COBERTURA EM ARCO

Esforços internos solicitantes nas terças

Carregamento

O peso das terças será de $9,30 \cdot 10 / 1,6 = 58,125 \text{ N/m}^2$. Será considerado um valor de 10 N/m^2 , para as correntes. Logo teremos um valor de aproximadamente 68 N/m^2 .

O vão das terças em torno do eixo x será de 6,0 m e em torno de y teremos corrente intermediária, com isto, $L_y = 3,0 \text{ m}$. O vão entre terças será no plano do telhado de 1,6m.

Cargas atuantes

Será estimado um carregamento de:

- Peso próprio (terças mais correntes) = $68 \cdot 1,6 = 108,8 \text{ N/m}$
- Peso próprio (telhas) = $109 \cdot 1,6 = 174,4 \text{ N/m}$
- Total = $283,2 \text{ N/m}$

A sobrecarga estimada de acordo com a NBR é de 250 N/m^2 , assim temos que:

- Sobrecarga = $250 \cdot 1,6 = 400 \text{ N/m}$

O vento será de:

- Vento = $-970,74 \cdot 1,6 = -1553,18 \text{ N/m}$

Combinações

Nas terças temos as cargas verticais que são o peso próprio e a sobrecarga. O vento é uma carga ortogonal ao plano da cobertura, figura 5.

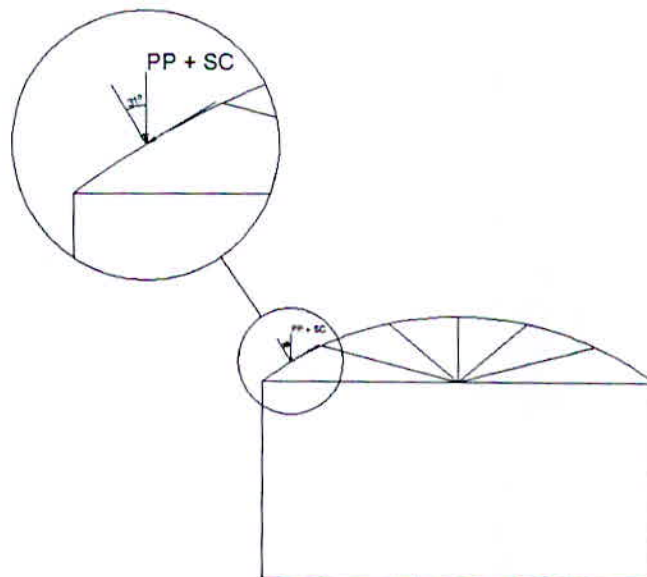


Figura 5: Decomposição das cargas atuantes nas terças.

Temos que a decomposição do peso próprio mais a sobrecarga será dado por:

$$- q_x \text{ (direção x)} = (283,2 + 400) \cdot \text{sen } 31^\circ = 351,87 \text{ N/m}$$

$$- q_y \text{ (direção y)} = (283,2 + 400) \cdot \text{cos } 31^\circ = 585,62 \text{ N/m}$$

Já a decomposição do vento e do peso próprio será igual a:

$$- q_x \text{ (direção x)} = 283,2 \cdot \text{sen } 31^\circ = 145,86 \text{ N/m}$$

$$- q_y \text{ (direção y)} = 283,2 \cdot \text{cos } 31^\circ = 238,18 \text{ N/m}$$

As terças serão biapoiadas nas tesouras e travadas lateralmente no sentido do eixo X por correntes (barras redondas), com isto, temos que os esforços internos solicitantes será:

Peso próprio mais sobrecarga:

$$- M_x = q_y \cdot L^2 / 8 = 585,62 \cdot 6^2 / 8 = 2635,29 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$- M_y = q_x \cdot L^2 / 8 = 351,87 \cdot 3^2 / 8 = 395,85 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Peso próprio mais vento:

$$- M_x = q_y \cdot L^2 / 8 = 238,18 \cdot 6^2 / 8 = 850,25 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$- M_y = q_x \cdot L^2 / 8 = 145,86 \cdot 3^2 / 8 = 164,09 \text{ N} \cdot \text{m}$$

A cortante máxima será dado por:

$$V_{\text{max}} = q \cdot L / 2 = 238,18 \cdot 6 / 2 = 714,54 \text{ N}$$

Segundo a NBR 8800:

$$(M_{s,dx} / M_{R,dx}) + (M_{s,dy} / M_{R,dy}) \leq 1$$

Para a combinação do carregamento:

- Peso próprio mais sobrecarga temos que:

$$(1,4 \cdot 2635,29 / 822,18) + (1,4 \cdot 395,85 / 121,21) \leq 1$$

$$0,449 + 0,457 \leq 1$$

$$0,906 \leq 1$$

- Peso próprio mais vento temos que:

$$(1,4 \cdot 850,25 / 822,18) + (1,4 \cdot 164,09 / 121,21) \leq 1$$

$$1,00 + 0,189 \leq 1$$

$$1,189 \leq 1$$

Logo, o perfil não atende atende.

Adotando então o perfil C de 4": 10,16cm x 10,80kg/m

Verificação da Terça

Segundo a NBR 8800 será verificada a flambagem local da alma e flambagem local da mesa da terça.

Flambagem local da alma – eixo de maior inércia

O índice de esbeltez é dada por:

$$\lambda = h / t_w = (10,16 - 2 \cdot (0,75)) / 0,813 = 10,811$$

Onde o parâmetro de esbeltez limite é dado de acordo com a NRB 8800:

$$\lambda_p = 3,76 (E/f_y)^{1/2}$$

Onde

E – módulo de elasticidade do aço = 2000000kg/cm²

f_y – resistência ao escoamento do aço = 250 Mpa

Logo

$$\lambda_p = 106,35$$

Temos que $\lambda < \lambda_p$, assim $M_{Rd} = M_{pl} / \lambda_{a1}$

$$M_{pl} = Z_x \cdot f_y = 1,12 \cdot W_x \cdot f$$

$$M_{pl} = 1,12 \cdot 37,5 \cdot 25 = 1050 \text{KN.cm}$$

$$M_{Rd} = 1050 / 1,1 = 954,55 \text{ KN.cm}$$

Flambagem local da mesa – eixo de maior inércia

O índice de esbeltez é dada por:

$$\lambda = b_f / t_f = 4,37 / 0,75 = 5,83$$

Onde o parâmetro de esbeltez limite é dado de acordo com a NRB 8800:

$$\lambda_p = 0,38 (E/f_y)^{1/2} = 10,75$$

Como $\lambda < \lambda_p$, temos que $M_{Rd} = M_{pl} / \lambda_{a1}$

$$M_{pl} = Z_x \cdot f_y = 1,12 \cdot W_x \cdot f$$

$$M_{pl} = 1,12 \cdot 37,5 \cdot 25 = 1050 \text{KN.cm}$$

$$M_{Rd} = 1050 / 1,1 = 954,55 \text{ KN.cm}$$

Flambagem local de torção

Como as terças serão travadas lateralmente pelo eixo x, temos que: $L_b = 0$

Assim, $M_{Rd} = 954,55 \text{ KN} \cdot \text{cm}$

Flambagem local da mesa – eixo de menor inércia

O índice de esbelteza é dada por:

$$\lambda = h / t_w = (10,16 - 2 \cdot (0,75)) / 0,813 = 10,65$$

Onde o parâmetro de esbelteza limite é dado de acordo com a NRB 8800:

$$\lambda_p = 0,38 (E/f_y)^{1/2} = 10,75$$

Temos que o parâmetro de esbelteza limite para seções semcompactadas será dado por, de acordo com a NBR 8800:

$$\begin{aligned} \lambda_R &= 0,83 \cdot (E / (f_y - \sigma_R))^{1/2} \\ \lambda_R &= 0,83 \cdot (200000 / (0,7 \cdot 250))^{1/2} \\ \lambda_R &= 28,06 \end{aligned}$$

Segundo a NBR 8800 temos que o momento fletor correspondente ao início do escoamento (M_R) é dado por:

$$\begin{aligned} M_R &= (f_y - \sigma_R) \cdot W_y \\ M_R &= (0,7 \cdot 25) \cdot 5,61 = 98,18 \text{ KN.cm} \end{aligned}$$

Como $\lambda < \lambda_p < \lambda_R$, temos uma flambagem inelástica, assim o momento fletor resistente de cálculo (M_{Rd}) será dado por:

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

Onde:

$$M_{pl} = Z_y \cdot f_y = 1,12 \cdot W_y \cdot f_y = 1,12 \cdot 5,61 \cdot 25 = 157,08 \text{ KN} \cdot \text{cm}$$

Assim,

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= 157,08 / 1,10 \\ M_{Rd} &= 142,80 \text{ KN} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

Flambagem local da alma – eixo de menor inércia

O índice de esbelteza é dada por:

$$\lambda = b_f / t_f = 4,37 / 0,75 = 5,83$$

Onde o parâmetro de esbelteza limite é dado de acordo com a NRB 8800:

$$\lambda_p = 1,12 (E/f_y)^{1/2} = 31,68$$

Como $\lambda < \lambda_p$, temos que:

$$M_{Rd} = M_{pl} / \lambda_{a1}$$

$$M_{pl} = Z_y \cdot f_y = 1,12 \cdot W_y \cdot f$$

$$M_{pl} = 1,12 \cdot 5,61 \cdot 25 = 157,08 \text{ KN.cm}$$

$$M_{Rd} = 157,08 / 1,1 = 142,80 \text{ KN.cm}$$

Verificação

Assim, para a cobertura em arco teremos segundo a NBR 8800:

$$(M_{s,dx} / M_{R,dx}) + (M_{s,dy} / M_{R,dy}) \leq 1$$

Para a combinação do carregamento:

- Peso próprio mais sobrecarga temos que:

$$(1,4 \cdot 263,53 / 954,55) + (1,4 \cdot 39,59 / 142,80) \leq 1$$

$$0,387 + 0,388 \leq 1$$

$$0,775 \leq 1$$

- Peso próprio mais vento temos que:

$$(1,4 \cdot 589,69 / 954,55) + (1,4 \cdot 16,40 / 142,8) \leq 1$$

$$0,865 + 0,161 \leq 1$$

$$1,0 \leq 1$$

Logo o perfil atende.

Para a cobertura em duas águas teremos segundo a NBR 8800:

$$(M_{s,dx} / M_{R,dx}) + (M_{s,dy} / M_{R,dy}) \leq 1$$

Para a combinação do carregamento:

- Peso próprio mais sobrecarga temos que:

$$(1,4 \cdot 221,59 / 954,55) + (1,4 \cdot 23,1 / 142,8) \leq 1$$

$$0,325 + 0,227 \leq 1$$

$$0,552 \leq 1$$

- Peso próprio mais vento temos que:

$$(1,4 \cdot 466,54 / 954,55) + (1,4 \cdot 9,6 / 142,8) \leq 1$$

$$0,684 + 0,094 \leq 1$$

$$0,778 \leq 1$$

Logo o perfil atende.

Flexão simples cortante

Temos que o índice de esbeltez será:

$$\lambda = h / t_w = (10,16 - 2 \cdot (0,75)) / 0,813 = 10,65$$

Temos que $a / h = 600 / 8,66 = 69,28$, então o coeficiente $K_v = 5$, página 50, NBR 8800. Temos que o parâmetro de esbeltez limite para seções compactadas será dado por:

$$\lambda_p = 1,12 (E \cdot k_v / f_y)^{1/2} = 1,12 \cdot (200000 \cdot 5 / 250)^{1/2}$$

$$\lambda_p = 70,83$$

Como $\lambda < \lambda_p$, temos que a força cortante resistente de cálculo será:

$$V_{Rd} = V_{pl} / \gamma_{af}$$

Onde $V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y$,

Temos que $A_w = d \cdot t_w = 10,16 \cdot 0,813 = 8,26 \text{ cm}^2$

Assim,

$$V_{pl} = 0,60 \cdot 8,26 \cdot 25 = 123,90 \text{ KN}$$

Logo

$$V_{Rd} = 123,90 / 1,1 = 112,64 \text{ KN}$$

Temos que $V_{sd} = 3,9 \text{ KN}$, assim o perfil atende.

Verificação da flecha máxima

A flecha admissível é:

$$\delta_{\max} = L / 180 = 600 / 180 = 3,33 \text{ cm}$$

A flecha prevista será dado por:

$$\delta = (5 \cdot q \cdot L^4) / (384 \cdot E \cdot I)$$

$$\delta = (5 \cdot 0,0058562 \cdot 600^4) / (384 \cdot 20000 \cdot 190,6)$$

$$\delta = 2,59 \text{ cm} < 3,33$$

Logo o perfil atende.

Se o perfil atende ao arco, com certeza atenderá as outras estruturas da cobertura.

APÊNDICE C – DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO DAS TRELIÇAS

CÁLCULO DA COBERTURA EM DUAS ÁGUAS SEM MONTANTE NAS EXTREMIDADES

Para os cálculos da tesoura será utilizada a NBR 8800/ 2008. Será calculada cada tesoura para cada tipologia, levando em consideração que será utilizada a mesma terço para todos.

A geometria utilizada nas tesouras segue em abaixo.

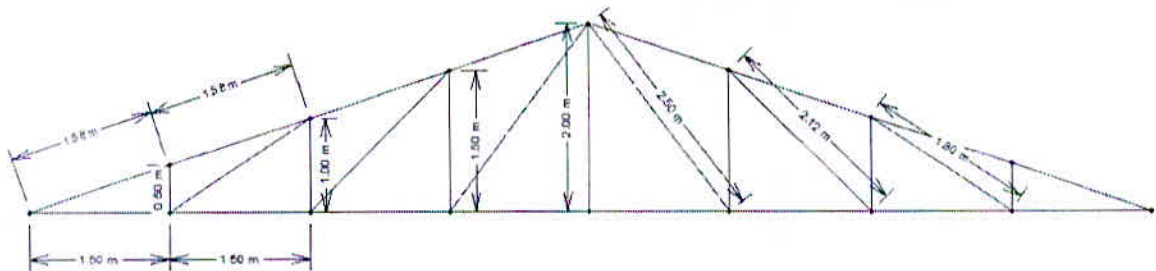


Figura 1: Geometria tesoura.

Carregamento

Terças

Na terço será dotado o perfil C de 4": 10,16cm x 10,80kg/m.

Assim

$$PP_{\text{terço}} = 10,80 \cdot 10 / 1,6$$

$$PP_{\text{terço}} = 67,5 \text{ N/m}^2$$

Treliça

Uma estimativa do peso próprio da treliça é dada pela fórmula de Pratt:

$$PP_{\text{treliça}} = 2,3 \cdot (1 + 0,33 \cdot L)$$

$$PP_{\text{treliça}} = 2,3 \cdot (1 + 0,33 \cdot 12)$$

$$PP_{\text{treliça}} = 11,41 \text{ kgf/m}^2$$

$$PP_{\text{treliça}} = 114,10 \text{ N/m}^2$$

Logo, teremos

$$\text{Terço} = 67,50 \text{ N/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Treliça} &= 114,10 \text{ N/m}^2 \\ \text{Contraventamentos mais correntes} &= 10,00 \text{ N/m}^2 \\ \text{PP estrutura} &= 191,60 \text{ N/m}^2 \\ \text{Telhas} &= 109 \text{ N/m}^2 \\ \text{PP total} &= 300,6 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Assim,

$$P_1 = 300,6 \cdot 1,5 \cdot 6 = 2705,4 \text{ N}$$

$$P_2 = 300,6 \cdot 1,5 \cdot 6 / 2 = 1352,7 \text{ N}$$

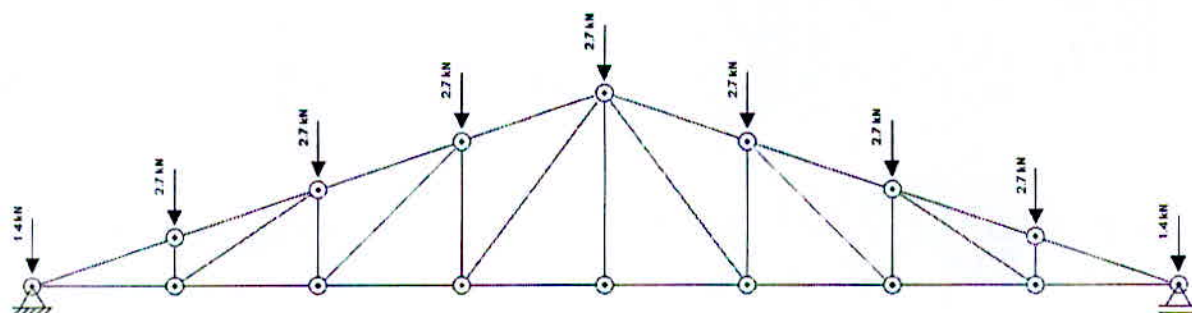


Figura 2: Cargas atuantes (PP).

Resultados Obtidos em KN:

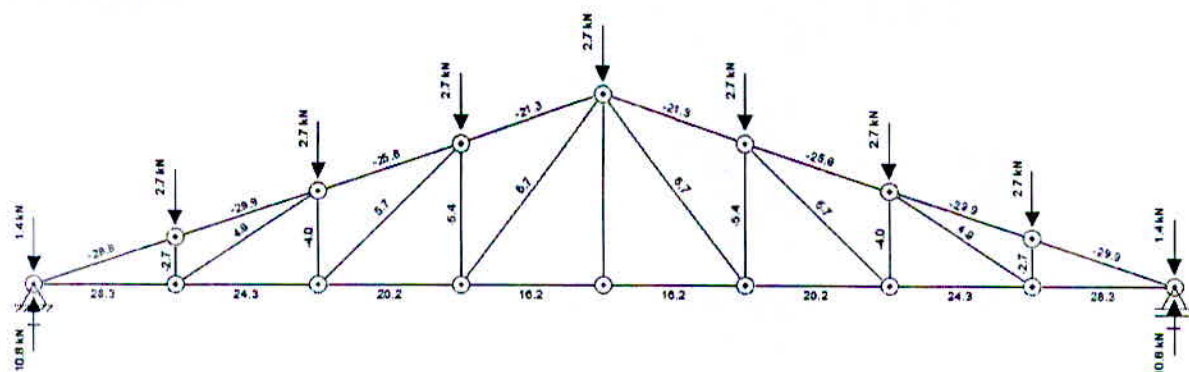


Figura 3: Forças axial Programa Ftool .

Sobrecarga

Segundo a NBR 8800- 2008, é:

$$SC = 250 \text{ N/m}^2$$

$$SC_1 = 250 \cdot 1,5 \cdot 6 = 2250 \text{ N}$$

$$SC_2 = 250 \cdot 1,5 \cdot 6 / 2 = 1125 \text{ N}$$

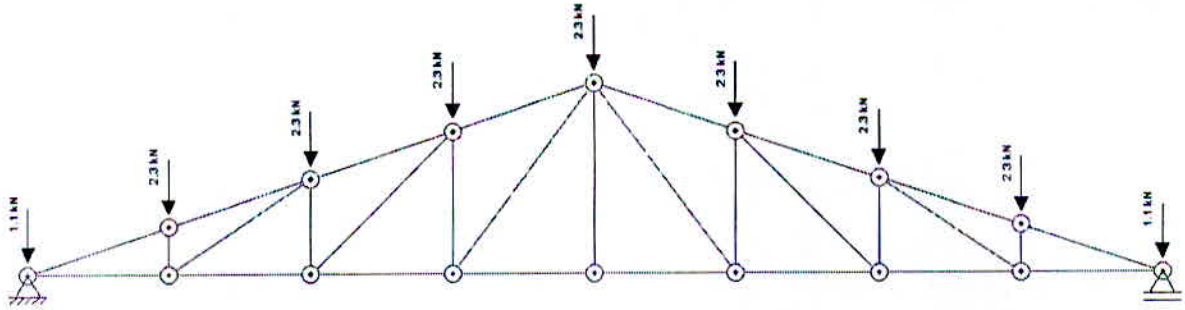


Figura 4: Cargas atuantes (SC).

Resultados obtidos, através do programa Ftool:

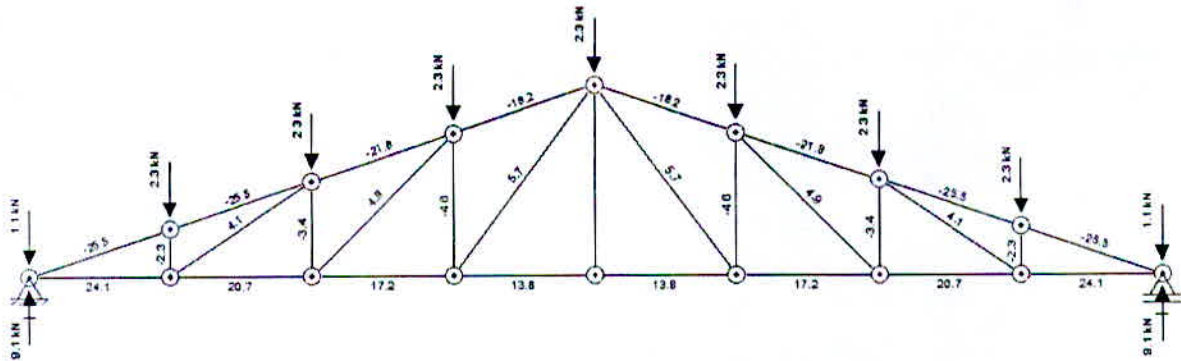
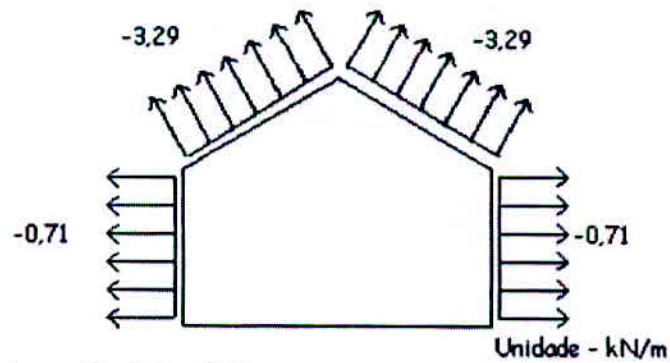


Figura 5: Forças axial Programa Ftool.

Vento

De acordo com os cálculos temos que, para:

Vento 0° – $C_{pi} = 0,20$



$$q = (3,29 \cdot 6,40) / 6 = 3,51 \text{ kN}$$

$$q_{1y} = 3,51 \cdot \cos 18,43^\circ = 3,33 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 1,67 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 3,51 \cdot \sin 18,43^\circ = 1,11 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,55 \text{ kN}$$

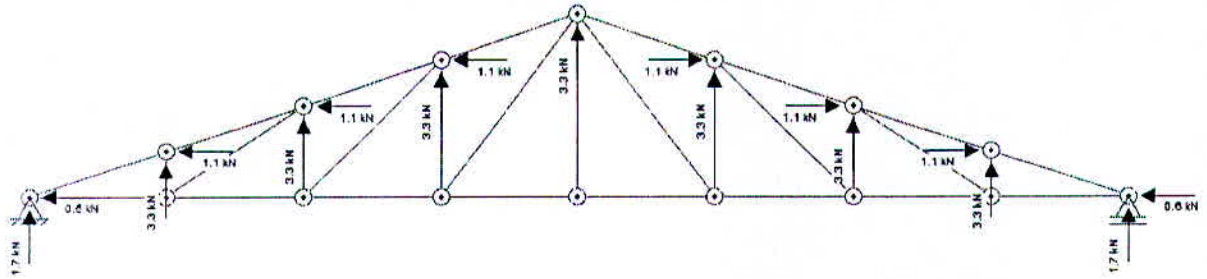


Figura 6: Cargas atuantes (Vento).

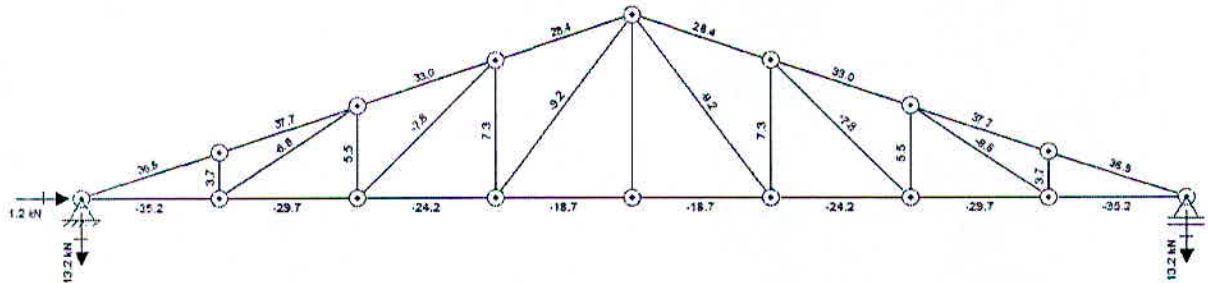
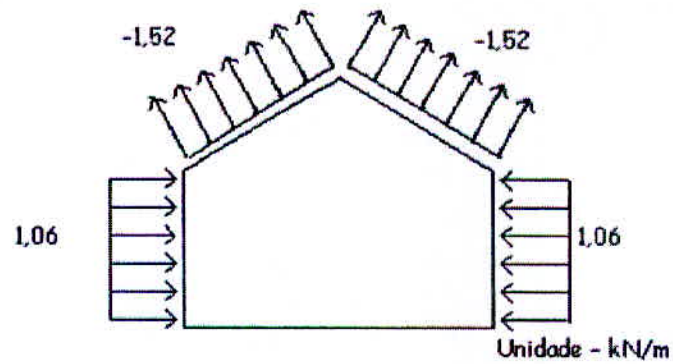


Figura 7: Forças axial Programa Ftool.

Vento 0° – Cpi = -0,30



$$q = (1,52 \cdot 6,40) / 6 = 1,62 \text{ kN}$$

$$q_{1y} = 1,62 \cdot \cos 18,43^\circ = 1,54 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 0,77 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 1,62 \cdot \sin 18,43^\circ = 0,51 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,26 \text{ kN}$$

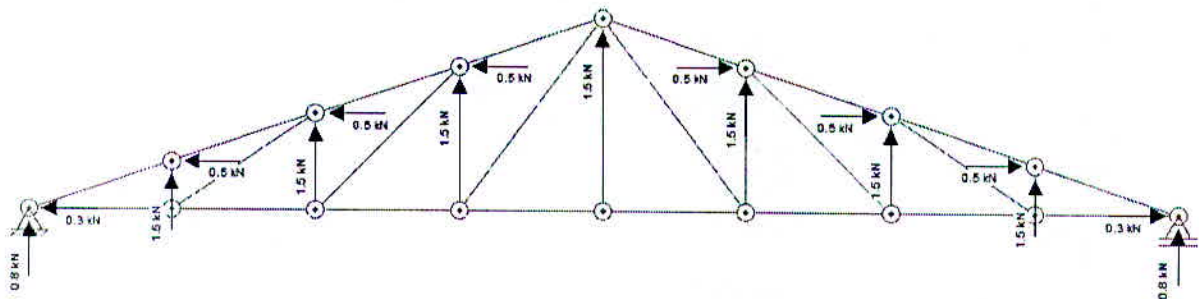


Figura 8: Cargas atuantes (Vento).

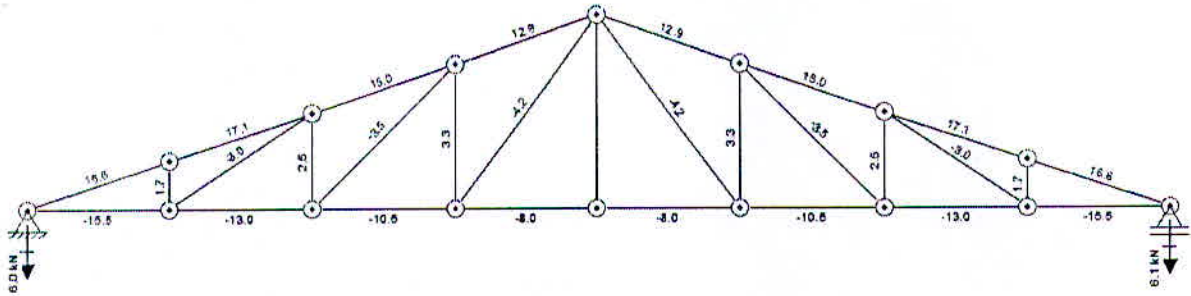
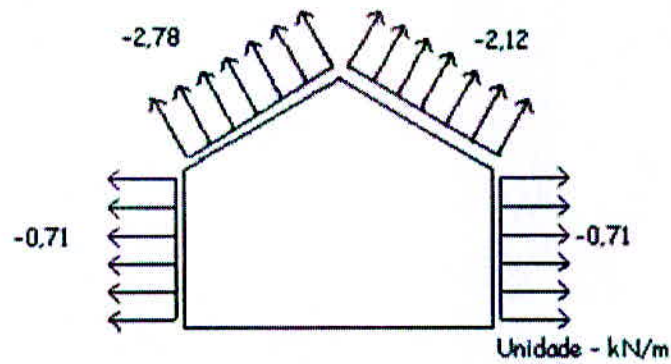


Figura 9: Forças axial Programa Ftool.

Vento $90^\circ - C_{pi} = 0,20$



Para o lado esquerdo

$$q = (2,78 \cdot 6,40) / 6 = 2,97 \text{ kN}$$

$$q_{1y} = 2,97 \cdot \cos 18,43^\circ = 2,82 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 1,41 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 2,97 \cdot \sin 18,43^\circ = 0,94 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,47 \text{ kN}$$

Para o lado direito

$$q = (2,12 \cdot 6,40) / 6 = 2,26 \text{ kN}$$

$$q_{1y} = 2,26 \cdot \cos 18,43^\circ = 2,14 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 1,07 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 2,26 \cdot \sin 18,43^\circ = 0,72 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,36 \text{ kN}$$

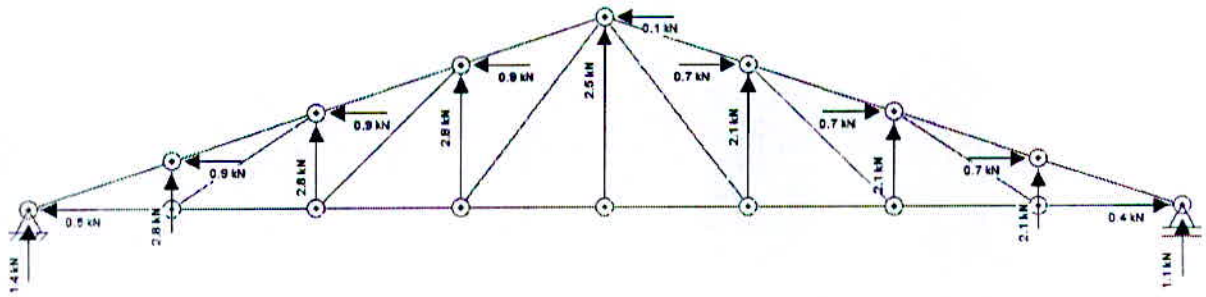


Figura 10: Cargas atuantes (Vento).

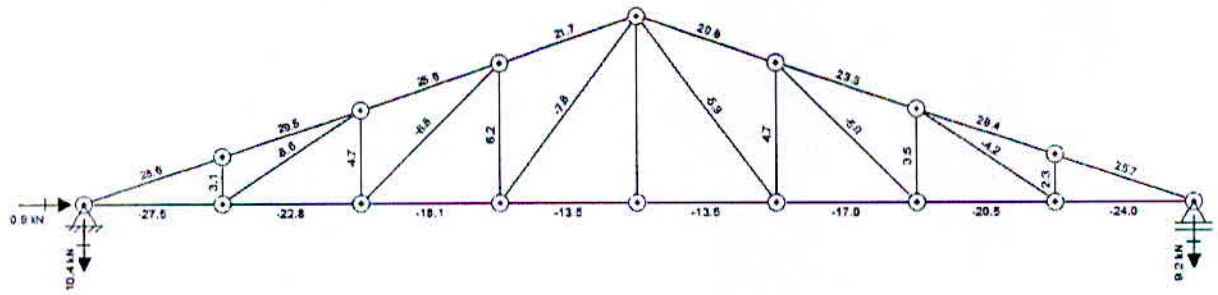
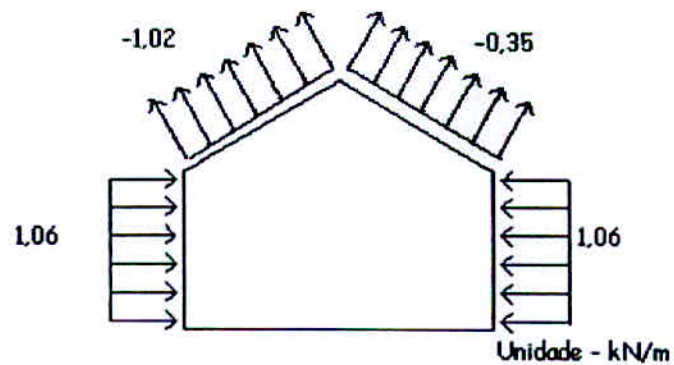


Figura 11: Forças axial Programa Ftool.

Vento 90° - $C_{pi} = -0,30$



Para o lado esquerdo

$$q = (1,02 \cdot 6,40) / 6 = 1,09 \text{ kN}$$

$$q_{1y} = 1,09 \cdot \cos 18,43^\circ = 1,03 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 0,52 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 1,09 \cdot \sin 18,43^\circ = 0,35 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,17 \text{ kN}$$

Para o lado direito

$$q = (0,35 \cdot 6,40) / 6 = 0,37 \text{ kN}$$

$$q_{1y} = 0,37 \cdot \cos 18,43^\circ = 0,35 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 0,18 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,37 \cdot \sin 18,43^\circ = 0,12 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,06 \text{ kN}$$

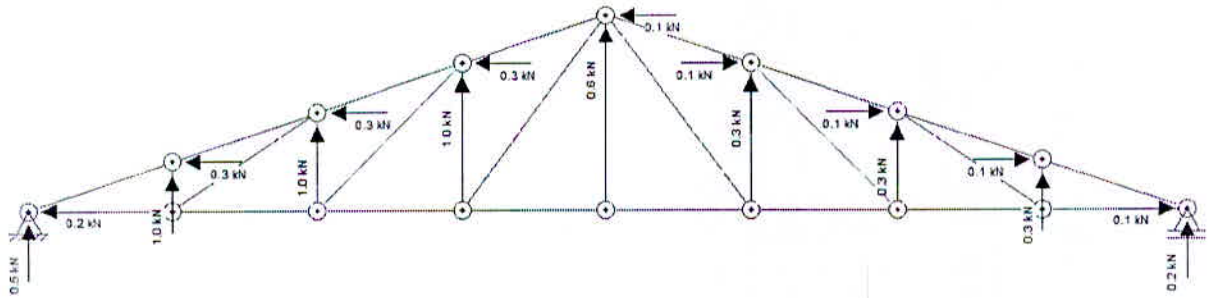


Figura 12: Cargas atuantes (Vento).

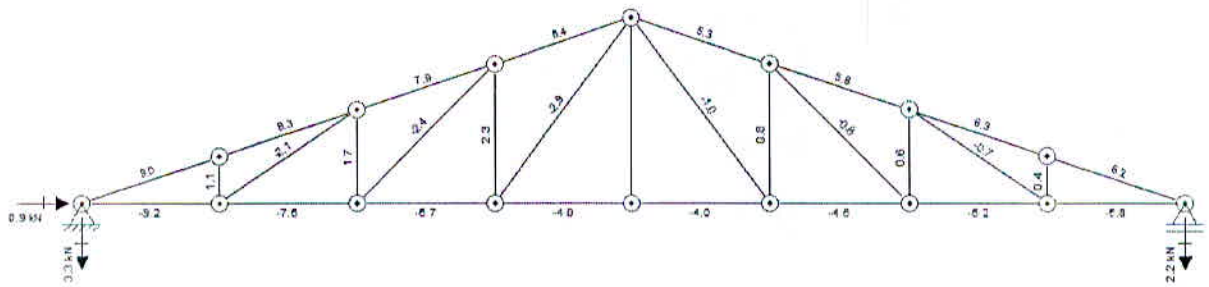


Figura 13: Forças axial Programa Ftool.

Combinação

De acordo com a NBR 8800/2008, temos que os coeficientes de majoração para as combinações utilizadas foram:

Coeficiente γ_g de Majoração das Ações Permanentes			
Tipos das Ações	Combinações		
	Normais	Construtivas	Excepcionais
Pequena Variabilidade	1,30	1,20	1,10
	1,00	1,00	1,00
Grande Variabilidade	1,40	1,30	1,20
	0,90	0,90	0,90

Coeficiente γ_q de Majoração das Ações Variáveis			
Tipos das Ações	Combinações		
	Normais	Construtivas	Excepcionais
Recalque de apoio não planejado	1,2	1,2	0,0
Variação de Temperatura	1,2	1,0	0,0
Proveniente do uso da edificações	1,5	1,3	1,1
Demais Ações Variáveis	1,4	1,2	1,0

Fatores Ψ de Combinação das Ações	
Sobrecargas em pisos de biblioteca, arquivos, oficinas e garagens. Conteúdo de silos e reservatórios.	0,75
Sobrecargas em outros tipos de pisos. Cargas de equipamentos e ponte rolantes.	0,65
Variações de temperatura. Pressão dinâmica do vento.	0,60
Não incluídas nas combinações anteriores adotar	1,00

Figuras 14: Tabela das combinações. Fonte NBR 8800

Temos que os esforços máximos e mínimos do banzo superior e inferior, das diagonais e dos montantes foram realizados através do programa excell e os resultados estão apresentadas abaixo.

Como exemplo, para as barras 1-2 temos:

$$\text{Combinação 1} = 28,30 \cdot 1,30 + 24,10 \cdot 1,4 = 70,53\text{KN}$$

$$\text{Combinação 2} = 28,30 + 24,10 \cdot 1,4 + (-15,50 \cdot 1,4 \cdot 0,60) = 49,02\text{KN}$$

$$\text{Combinação 3} = 28,30 + (-15,50 \cdot 1,4) + 24,1 \cdot 1,4 \cdot 1 = 40,34\text{KN}$$

$$\text{Combinação 4} = 28,30 + 24,10 \cdot 1,4 + (-35,20 \cdot 1,4 \cdot 0,60) = 32,4720\text{KN}$$

$$\text{Combinação 5} = 28,30 + (-35,20 \cdot 1,4) + 24,1 \cdot 1,4 \cdot 1 = 12,76\text{KN}$$

	Barras	PP	Sobrecarga	Ventos		Combinação 1 (PP + SC)	Combinação 2 (PP + SC + V1)	Combinação 3 (PP + V1 + SC)	Combinação 4 (PP + SC + V2)	Combinação 5 (PP + V2 + SC)	Esforço máximo	Esforço mínimo
				V1 0° - cpi = 0,30	V2 00° - cpi = 0,20							
Banzo Inferior (kN)	1-2	28,300	24,100	-15,500	-35,200	70,530	49,020	40,340	32,472	12,760	70,530	12,760
	2-3	24,300	20,700	-13,000	-29,700	60,570	42,360	35,080	28,332	11,700	60,570	11,700
	3-4	20,200	17,200	-10,500	-24,200	50,340	35,460	29,580	23,952	10,400	50,340	10,400
	4-5	16,200	13,800	-8,000	-18,700	40,380	28,800	24,320	19,812	9,340	40,380	9,340
	5-6	16,200	13,800	-8,000	-18,700	40,380	28,800	24,320	19,812	9,340	40,380	9,340
	6-7	20,200	17,200	-10,500	-24,200	50,340	35,460	29,580	23,952	10,400	50,340	10,400
	7-8	24,300	20,700	-13,000	-29,700	60,570	42,360	35,080	28,332	11,700	60,570	11,700
	8-9	28,300	24,100	-15,500	-35,300	70,530	49,020	40,340	32,388	12,620	70,530	12,620
	Banzo Superior (kN)	1-10	-29,900	-25,500	16,600	36,500	-74,570	-51,656	-42,360	-34,940	-14,500	-14,500
10-11		-29,900	-25,500	17,100	37,700	-74,570	-51,236	-41,660	-33,932	-12,820	-12,820	-74,570
11-12		-25,600	-21,800	15,000	33,000	-63,800	-43,520	-35,120	-28,400	-9,920	-9,920	-63,800
12-13		-21,300	-18,200	12,900	28,400	-53,170	-35,944	-28,720	-22,924	-7,020	-7,020	-53,170
13-14		-21,300	-18,200	12,900	28,400	-53,170	-35,944	-28,720	-22,924	-7,020	-7,020	-53,170
14-15		-25,600	-21,800	15,000	33,000	-63,800	-43,520	-35,120	-28,400	-9,920	-9,920	-63,800
15-16		-29,900	-25,500	17,100	37,700	-74,570	-51,236	-41,660	-33,932	-12,820	-12,820	-74,570
16-9		-29,900	-25,500	16,600	36,500	-74,570	-51,656	-42,360	-34,940	-14,500	-14,500	-74,570

	Barras	PP	Sol	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço
Vig. geral (kN)	2-11	13,400	4,100	-3,000	-6,600	23,160	16,620	14,940	13,596	9,900	23,160	9,900
	3-12	15,300	4,900	-3,500	-7,800	26,750	19,220	17,260	15,608	11,240	26,750	11,240
	4-13	17,600	5,700	-4,200	-9,200	30,860	22,052	19,700	17,852	12,700	30,860	12,700
	13-6	17,600	5,700	-4,200	-9,200	30,860	22,052	19,700	17,852	12,700	30,860	12,700
	14-7	15,300	4,900	-3,500	-7,800	26,750	19,220	17,260	15,608	11,240	26,750	11,240
15-8	13,400	4,100	-3,000	-6,600	23,160	16,620	14,940	13,596	9,900	23,160	9,900	
Momentos (kNm)	2-10	-2,700	-2,300	1,700	3,700	-6,730	-4,492	-3,540	-2,812	-0,740	-0,740	-6,730
	3-11	-4,000	-3,400	2,500	5,500	-9,960	-6,660	-5,260	-4,140	-1,060	-1,060	-9,960
	4-12	-5,400	-4,600	3,300	7,300	-13,460	-9,068	-7,220	-5,708	-1,620	-1,620	-13,460
	5-13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	6-14	-5,400	-4,600	3,300	7,300	-13,460	-9,068	-7,220	-5,708	-1,620	-1,620	-13,460
	7-15	-4,000	-3,400	2,500	5,500	-9,960	-6,660	-5,260	-4,140	-1,060	-1,060	-9,960
	8-16	-2,700	-2,300	1,700	3,700	-6,730	-4,492	-3,540	-2,812	-0,740	-0,740	-6,730

	Barras	PP	Sol	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço
Vig. geral (kN)	1-2	28,300	24,100	-9,200	-27,500	70,530	54,312	49,160	38,940	23,540	70,530	23,540
	2-3	24,300	20,700	-7,500	-22,800	60,570	46,980	42,780	34,128	21,360	60,570	21,360
	3-4	20,200	17,200	-5,700	-18,100	50,340	39,492	36,300	29,076	18,940	50,340	18,940
	4-5	16,200	13,800	-4,000	-13,500	40,380	32,160	29,920	24,180	16,620	40,380	16,620
	5-6	16,200	13,800	-4,000	-13,500	40,380	32,160	29,920	24,180	16,620	40,380	16,620
	6-7	20,200	17,200	-4,600	-17,000	50,340	40,416	37,840	30,000	20,480	50,340	20,480
	7-8	24,300	20,700	-5,200	-20,500	60,570	48,912	46,000	36,060	24,580	60,570	24,580
	8-9	28,300	24,100	-5,800	-24,000	70,530	57,168	53,920	41,880	28,440	70,530	28,440
	10-11	-29,900	-25,500	9,000	28,600	-74,570	-58,040	-53,000	-41,576	-25,560	-25,560	-74,570
	11-12	-25,600	-21,800	7,900	25,600	-63,800	-49,484	-45,060	-34,616	-20,280	-20,280	-63,800
	12-13	-21,300	-18,200	6,400	21,700	-53,170	-41,404	-37,820	-28,552	-16,400	-16,400	-53,170
	13-14	-21,300	-18,200	6,400	21,700	-53,170	-41,404	-37,820	-28,552	-16,400	-16,400	-53,170
	14-15	-25,600	-21,800	5,800	23,500	-63,800	-51,248	-48,000	-36,380	-23,220	-23,220	-63,800
	15-16	-29,900	-25,500	6,300	26,400	-74,570	-60,308	-56,780	-43,424	-28,640	-28,640	-74,570
	16-9	-29,900	-25,500	6,200	25,700	-74,570	-60,392	-56,920	-44,012	-29,620	-29,620	-74,570

	Barras	PP	Sol	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço	Esforço
Vig. geral (kN)	2-11	13,400	4,100	-2,100	-5,600	23,160	17,376	16,200	14,436	11,300	23,160	11,300
	3-12	15,300	4,900	-2,400	-6,600	26,750	20,144	18,800	16,616	12,920	26,750	12,920
	4-13	17,600	5,700	-2,900	-7,800	30,860	23,144	21,520	19,028	14,660	30,860	14,660
	13-6	17,600	5,700	-1,000	-5,900	30,860	24,740	24,180	20,624	17,320	30,860	17,320
	14-7	15,300	4,900	-0,800	-5,000	26,750	21,488	21,040	17,960	15,160	26,750	15,160
15-8	13,400	4,100	-0,700	-4,200	23,160	18,552	18,160	15,612	13,260	23,160	13,260	
Momentos (kNm)	2-10	-2,700	-2,300	1,100	3,100	-6,730	-4,996	-4,380	-3,316	-1,580	-1,580	-6,730
	3-11	-4,000	-3,400	1,700	4,700	-9,960	-7,332	-6,380	-4,812	-2,180	-2,180	-9,960
	4-12	-5,400	-4,600	2,300	6,200	-13,460	-9,908	-8,620	-6,632	-3,160	-3,160	-13,460
	5-13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	6-14	-5,400	-4,600	0,800	4,700	-13,460	-11,168	-10,720	-7,892	-5,260	-5,260	-13,460
	7-15	-4,000	-3,400	0,600	3,500	-9,960	-8,256	-7,920	-5,820	-3,860	-3,860	-9,960
	8-16	-2,700	-2,300	0,400	2,300	-6,730	-5,584	-5,360	-3,988	-2,700	-2,700	-6,730

Dimensionamento das barras

Banzo inferior

As barras com maiores solicitações foram nas barras 1-2 = 8-9.

O esforço máximo é de tração que é 70,53KN, o comprimento das barras é de 1,50 m. Segundo a NRB 8800, página 121 anexo E, tabela E.1, o coeficiente de flambagem a flexão (K) é de 1,0. O índice de esbeltez (λ) ≤ 200 , sendo que λ é dado por:

$$\lambda = K \cdot L / r$$

Fazendo $\lambda = 200$, temos que

$$200 = 1 \cdot 150 / r_{\min}$$

$$r_{\min} = 0,75\text{cm}$$

Será adotando o perfil 2L 3,175 x 3,00 Kg/m

Onde

$$N_{C,Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{af}$$

Assim,

$$N_{C,Rd} = 3,86 \cdot 25 / 1,1 = 87,73 \text{ kN}$$

Como $N_{C,Rd} > N_{C,sd}$, o perfil atende.

Logo o perfil adotado para o banzo inferior será o cantoneira dupla de águas iguais 2L 3,175 x 3,00 Kg/m.

Banzo superior

Barra com maior solicitação = barra₁₋₁₀ = barra₁₀₋₁₁ = barra₁₅₋₁₆ = barra₁₆₋₉

Esforço máximo ($N_{C,sd}$) = 74,57KN - compressão

Será adotando o perfil 2L 4,445 x 6,30 Kg/m

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 157 / 1,37 = 114,60 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (200 \cdot 1000 / 250)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 15,84$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 4,445 / 0,476 = 9,34$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 14,90) / (1 \cdot 157)^2$$

$$N_e = 119,32 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 8 \cdot 25 / 119,32)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 1,29$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$X = 0,50$$

Assim,

$$N_{C,Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{al}$$

$$N_{C,Rd} = 0,50 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 25 / 1,1 = 90,91 \text{ KN}$$

Como $N_{C,Rd} > N_{C,sd}$, o perfil atende.

O perfil adotado tanto para o banzo inferior e superior será 2L 4,445 x 6,30 Kg/m.

Diagonal

A barra mais solicitada é 4-13 e 13-6, cujo valor é 30,86KN – tração.

Onde o índice de esbeltez (λ) ≤ 200 , sendo que λ é dado por:

$$\lambda = K \cdot L / r$$

Fazendo $\lambda = 200$, temos que

$$200 = 1 \cdot 250 / r_{\min}$$

$$r_{\min} = 1,25\text{cm}$$

Adotando o perfil cantoneira de abas iguais **4,445 x 2,14Kg/m**.

O estado limite de escoamento da seção bruta é dado por:

$$N_{c,Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{al}$$

$$N_{c,Rd} = 2,71 \cdot 25 / 1,10 = 61,59 \text{ KN}$$

Como $N_{t,Rd} > N_{t,sd}$, o perfil atende.

Montante

A barra mais solicitada é as barras 4-12 e 6-14. O Esforço máximo de compressão é ($N_{C,sd}$) = 13,46 KN.

Onde $L = 150\text{cm}$, assim $\lambda = K \cdot L / r$

Fazendo $\lambda = 200$, temos que

$$200 = 1 \cdot 150 / r_{\min}$$

$$r_{\min} = 0,75\text{cm}$$

Adotando o perfil de cantoneiras de abas iguais **3,81 x 1,83 kg/m**.

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 150 / 1,17 = 128,21 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 0,45 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 0,45 \cdot (200 \cdot 1000 / 250)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 12,73$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 3,81 / 0,317 = 12,02$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 3,33) / (1 \cdot 150)^2$$

$$N_e = 29,21 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 2,32 \cdot 25 / 29,21)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 1,41$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$X = 0,44$$

Assim,

$$N_{C, Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{al}$$

$$N_{C, Rd} = 0,44 \cdot 1 \cdot 2,32 \cdot 25 / 1,1 = 23,2 \text{ KN}$$

Como $N_{C, Rd} > N_{C, sd}$, o perfil atende.

Quadro Resumo	
Banzo inferior	2L 3,81 x 3,00 Kg/m
Banzo superior	2L 4,445 x 6,30 Kg/m
Diagonais	L 4,445 x 2,14Kg/m
Montante	L 3,81 x 1,83 kg/m

Logo, o total de aço consumido para uma tesoura será de:

Banzo inferior: 12 metros de comprimento x 3,00 = 36,00 kg

Banzo superior: 12,64 metros de comprimento x 6,30 = 79,632 kg

Diagonais: 12,84 metros de comprimento x 2,14 = 27,4776 kg

Montante: 10 metros de comprimento x 1,83 = 18,30 Kg

Total de aço consumido = 144,94 Kg.

CÁLCULO DA COBERTURA EM ARCO

A geometria utilizada na tesoura segue abaixo.

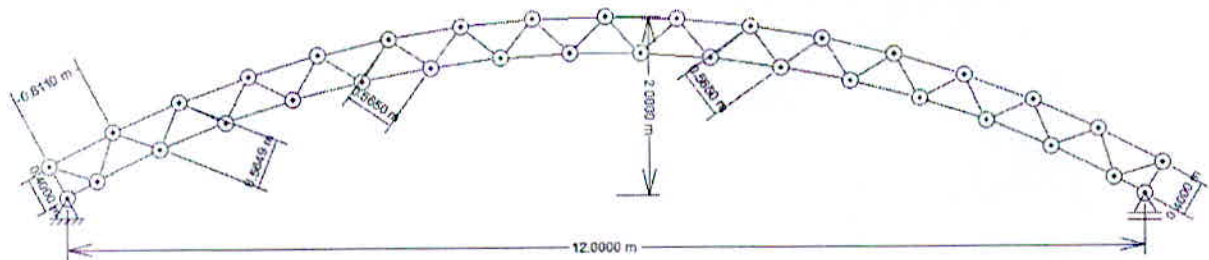


Figura 15: Geometria tesoura.

Segundo Souza (2006), as treliças de arco circulares são utilizadas para coberturas de médio e grande vão e deve-se verificar que o ângulo entre os banzos e a diagonais esteja entre 45° a 60°, para quês e tenha uma boa distribuição dos esforços nas diagonais. A relação entre a altura e o vão livre deve ficar entre 1/40 e 1/30 para pequenos vãos.

Assim, o ângulo entre os banzos e as diagonais vale:

$$\text{sen } \theta = 0,40 / 0,5649$$

$$\theta = 45,10^\circ$$

A altura h , adotado foi de 40cm, pois:

$$h = 0,40 / 12 = 1 / 30$$

Carregamento

Terças

Na terça será dotado o perfil C de 4": 10,16cm x 10,80kg/m.

Assim

$$PP_{\text{terça}} = 10,80 \cdot 10 / 1,6$$

$$PP_{\text{terça}} = 67,5 \text{ N/m}^2$$

Treliça

A estimativa do peso próprio da treliça será dado também pela fórmula de Pratt:

$$PP_{\text{treliça}} = 2,3 \cdot (1 + 0,33 \cdot L)$$

$$PP_{\text{treliça}} = 2,3 \cdot (1 + 0,33 \cdot 12)$$

$$PP_{\text{treliça}} = 11,41 \text{ kgf/m}^2$$

$$PP_{\text{treli.}} = 114,10 \text{ N/m}^2$$

Logo, teremos

$$\text{Terça} = 67,50 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Treliça} = 114,10 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Contraventamentos mais correntes} = 10,00 \text{ N/m}^2$$

$$\text{PP estrutura} = 191,60 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Telhas} = 109 \text{ N/m}^2$$

$$\text{PP total} = 300,6 \text{ N/m}^2$$

Assim,

$$P_1 = 300,6 \cdot 0,8110 \cdot 6 = 1462,72 \text{ N}$$

$$P_2 = 300,6 \cdot 0,8110 \cdot 6 / 2 = 731,36 \text{ N}$$

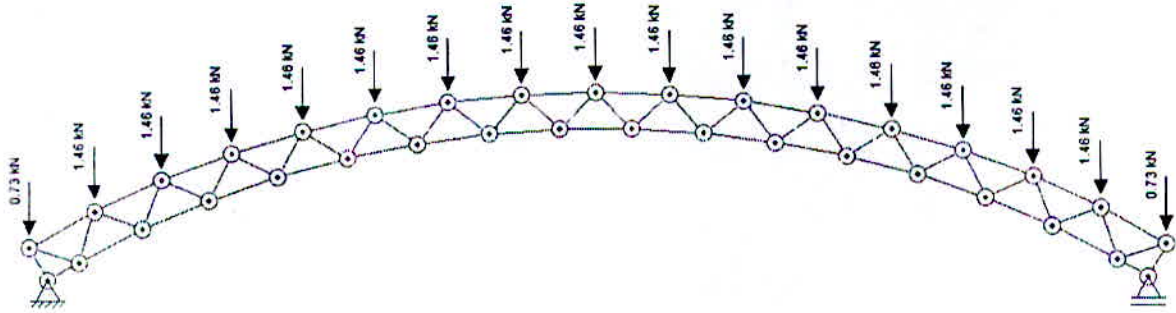
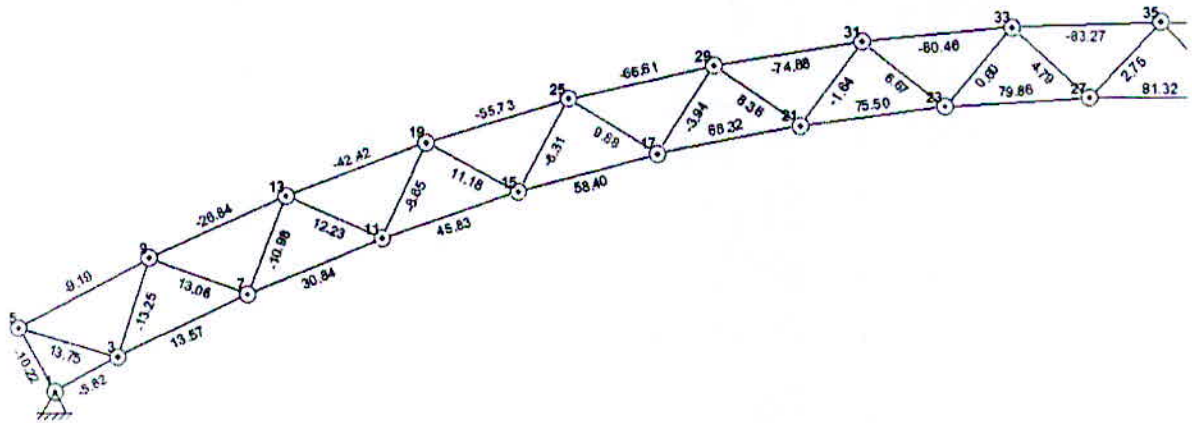


Figura 16: Cargas atuantes (PP).

Resultados Obtidos em KN:



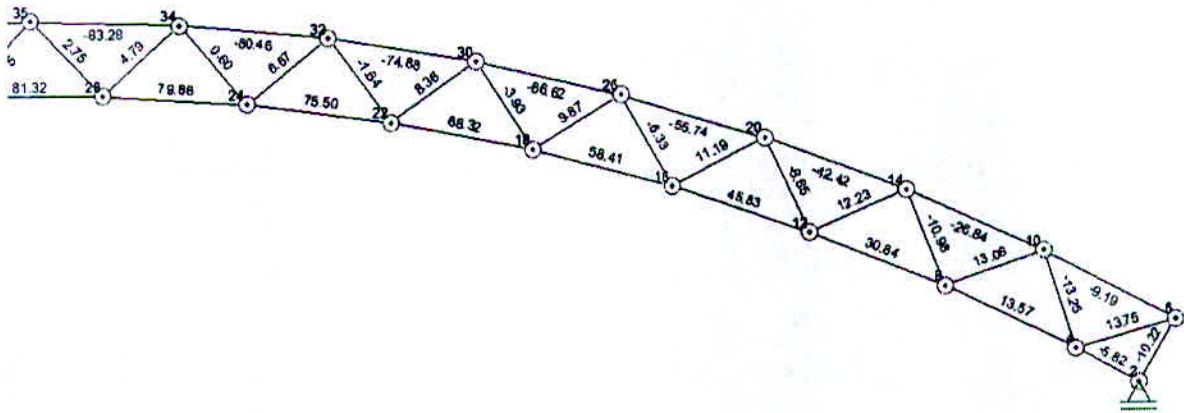


Figura 17: Forças axial Programa Ftool.

Sobrecarga

Segundo a NBR 8800- 2008, é:

$$SC = 250 \text{ N/m}^2$$

$$SC_1 = 250 \cdot 0,8110 \cdot 6 = 1216,5 \text{ N}$$

$$SC_2 = 250 \cdot 0,8110 \cdot 6 / 2 = 608,25 \text{ N}$$

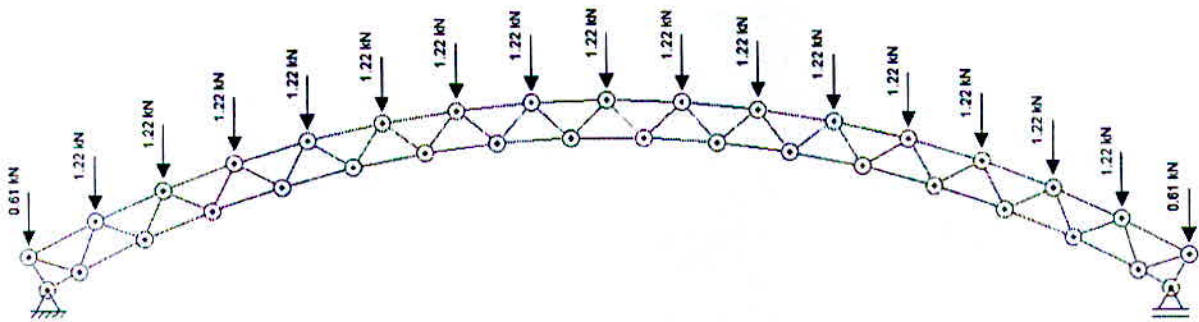


Figura 18: Cargas atuantes (SC).

Resultados obtidos, através do programa Ftool:

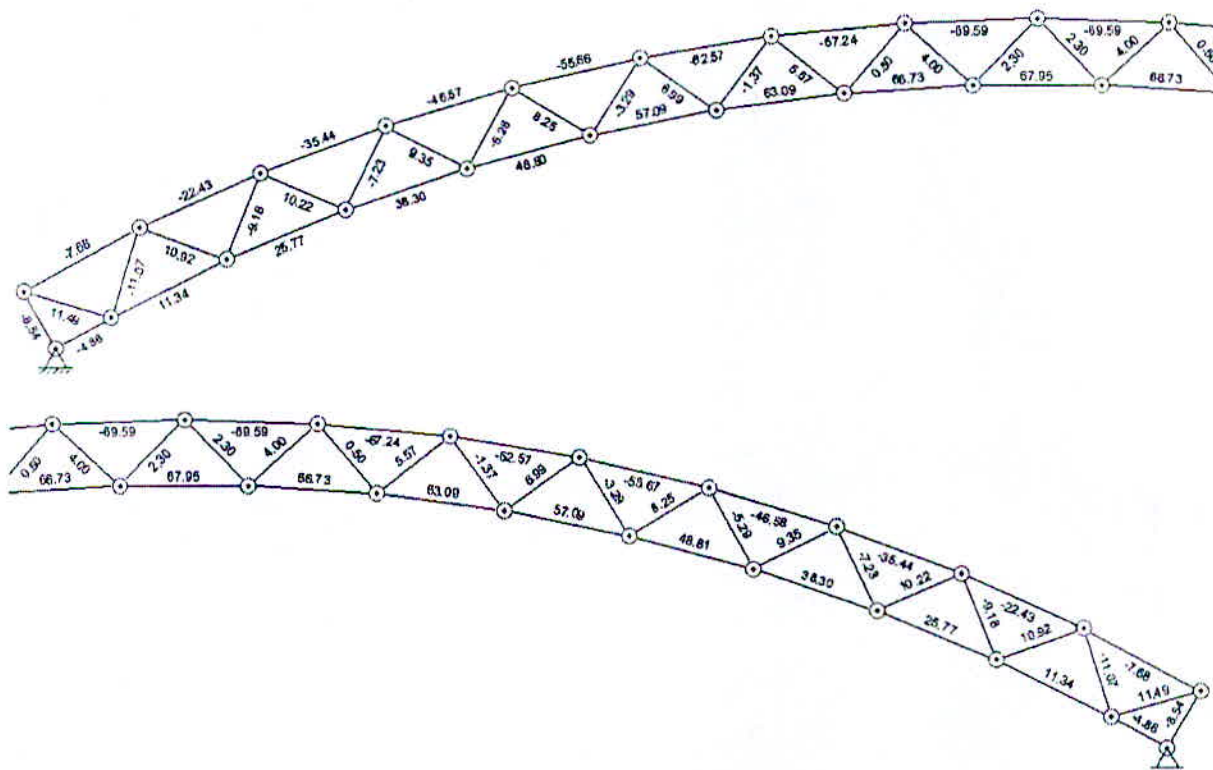
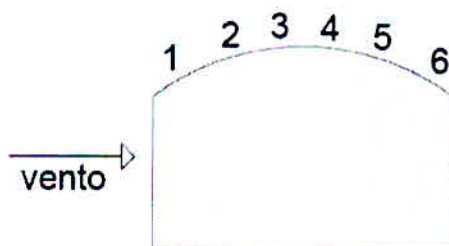


Figura 19: Forças axial Programa Ftool.

Vento

De acordo com os cálculos temos que, para:



Caso1: vento 90° mais coeficiente de pressão interna $+0,2$, dados em KN/m.

1	2	3	4	5	6
5,1	3,3	4,0	3,6	1,8	1,5

Parte 1 – 5,1 KN/m

$$q = (5,1 \cdot 2,43) / 6 = 2,07 \text{ kN}$$

$$q_{1y} = 2,07 \cdot \cos 45^\circ = 1,46 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 2,07 \cdot \sin 45^\circ = 1,46$$

Parte 2 – 3,3 KN/m

$$q = (3,3 \cdot 2,43) / 6 = 1,34 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 1,34 \cdot \cos 45^\circ = 0,95 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 1,34 \cdot \sin 45^\circ = 0,95 \text{ kN}$$

Parte 3 – 4,0 KN/m

$$q = (4,0 \cdot 2,43) / 6 = 1,62 \text{ kN}$$

$$q_{3y} = 1,62 \cdot \cos 45^\circ = 1,15 \text{ kN}$$

$$q_{3x} = 1,62 \cdot \sin 45^\circ = 1,15 \text{ kN}$$

Parte 4 – 3,6 KN/m

$$q = (3,6 \cdot 2,43) / 6 = 1,46 \text{ kN}$$

$$q_{4y} = 1,46 \cdot \cos 45^\circ = 1,03 \text{ kN}$$

$$q_{4x} = 1,46 \cdot \cos 45^\circ = 1,03 \text{ kN}$$

Parte 5 – 1,8 KN/m

$$q = (1,8 \cdot 2,43) / 6 = 0,73 \text{ kN}$$

$$q_{5y} = 0,73 \cdot \cos 45^\circ = 0,52 \text{ kN}$$

$$q_{5x} = 0,73 \cdot \cos 45^\circ = 0,52 \text{ kN}$$

Parte 6 – 5,1 KN/m

$$q = (1,5 \cdot 2,43) / 6 = 0,61 \text{ kN}$$

$$q_{6y} = 0,61 \cdot \cos 45^\circ = 0,43 \text{ kN}$$

$$q_{6x} = 0,61 \cdot \cos 45^\circ = 0,43 \text{ kN}$$

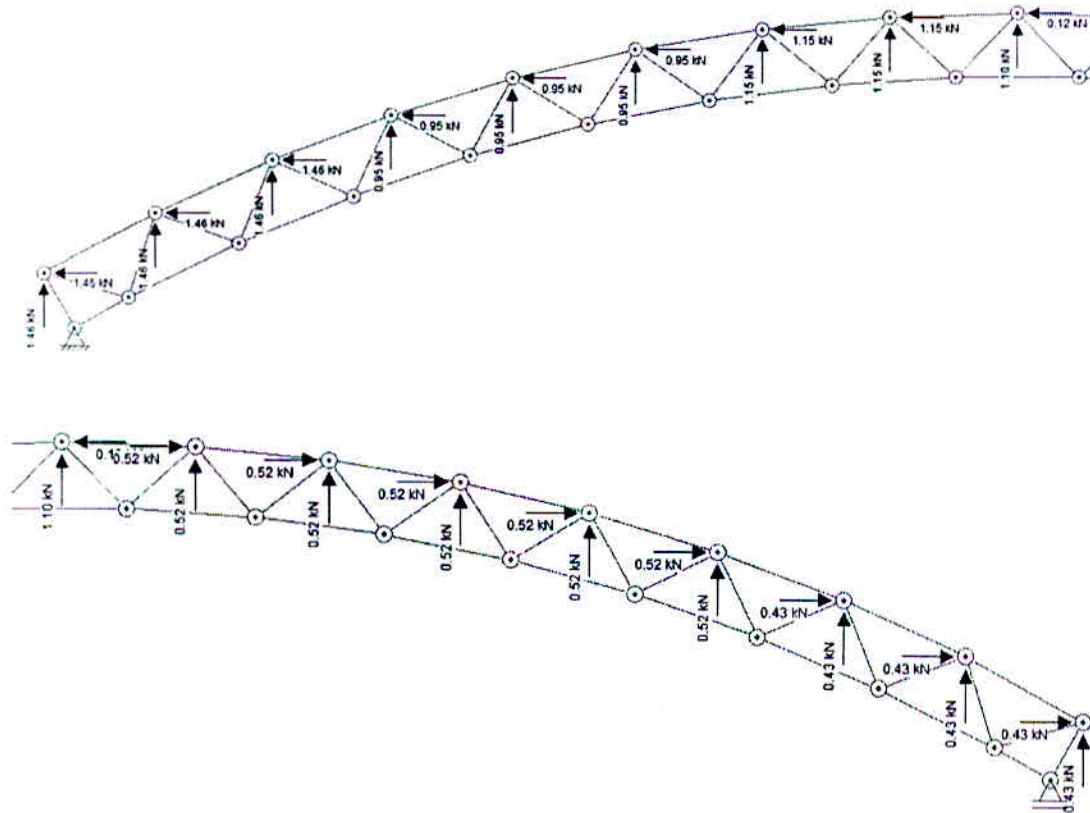


Figura 20: Cargas atuantes (Vento).

Resultados obtidos através do programa Ftool.

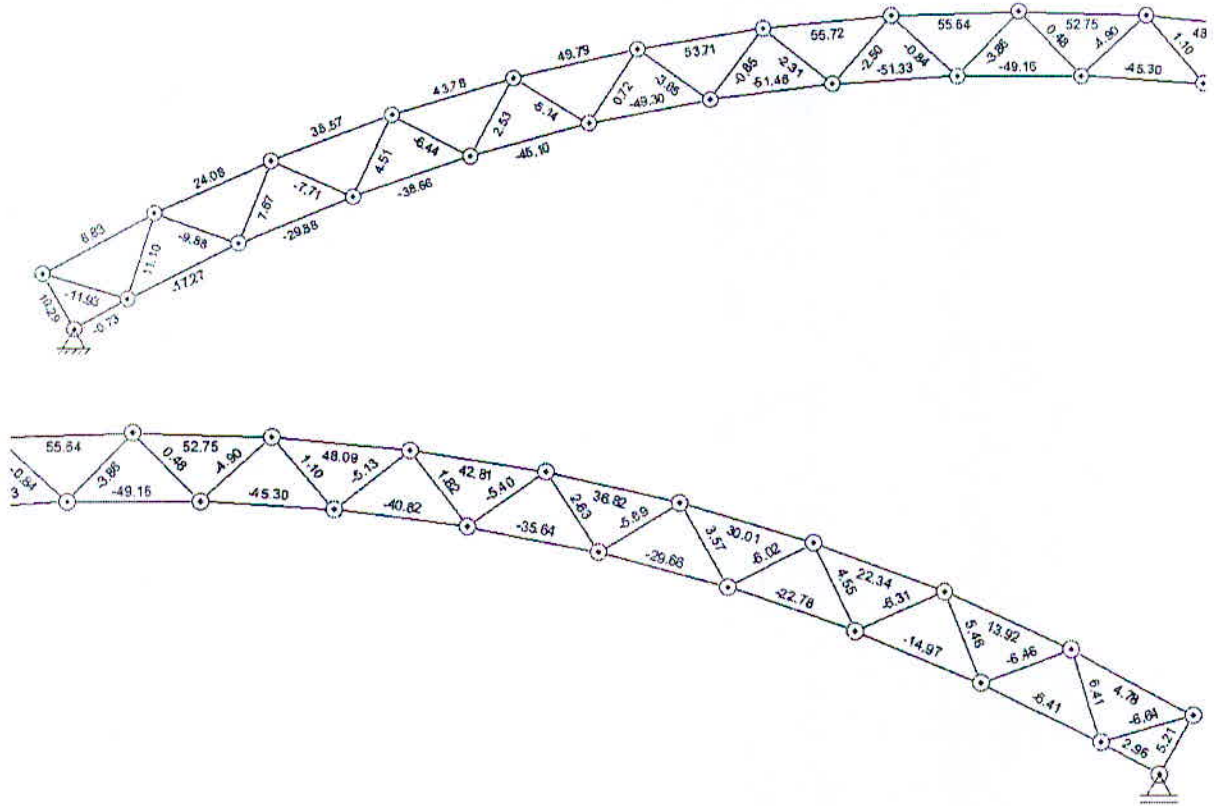


Figura 21: Forças axial Programa Ftool.

Caso2: vento 90° mais coeficiente de pressão interna $-0,3$, dados em KN/m

1	2	3	4	5	6
3,3	1,5	2,2	1,8	0,0	-0,36

Parte 1 – 3,3 KN/m

$$q = (3,3 \cdot 2,43) / 6 = 1,34 \text{ kN}$$

$$q_{1y} = 1,34 \cdot \cos 45^\circ = 0,95 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 1,34 \cdot \sin 45^\circ = 0,95$$

Parte 2 – 1,5 KN/m

$$q = (1,5 \cdot 2,43) / 6 = 0,61 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 0,61 \cdot \cos 45^\circ = 0,43 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,61 \cdot \sin 45^\circ = 0,43 \text{ kN}$$

Parte 3 – 2,2 KN/m

$$q = (2,2 \cdot 2,43) / 6 = 0,89 \text{ kN}$$

$$q_{3y} = 0,89 \cdot \cos 45^\circ = 0,63 \text{ kN}$$

$$q_{3x} = 0,89 \cdot \sin 45^\circ = 0,63 \text{ kN}$$

Parte 4 – 1,8 KN/m

$$q = (1,8 \cdot 2,43) / 6 = 0,73 \text{ kN}$$

$$q_{4y} = 0,73 \cdot \cos 45^\circ = 0,52 \text{ kN}$$

$$q_{4x} = 0,73 \cdot \sin 45^\circ = 0,52 \text{ kN}$$

Parte 5 – 0 KN/m

$$q = (0 \cdot 1,62) / 6 = 0,0 \text{ kN}$$

$$q_{5y} = 0,0 \cdot \cos 45^\circ = 0,0 \text{ kN}$$

$$q_{5x} = 0,0 \cdot \cos 45^\circ = 0,0 \text{ kN}$$

Parte 6 – -0,36 KN/m

$$q = (-0,36 \cdot 2,43) / 6 = -0,15 \text{ kN}$$

$$q_{6y} = -0,15 \cdot \cos 45^\circ = -0,11 \text{ kN}$$

$$q_{6x} = -0,15 \cdot \cos 45^\circ = -0,11 \text{ kN}$$

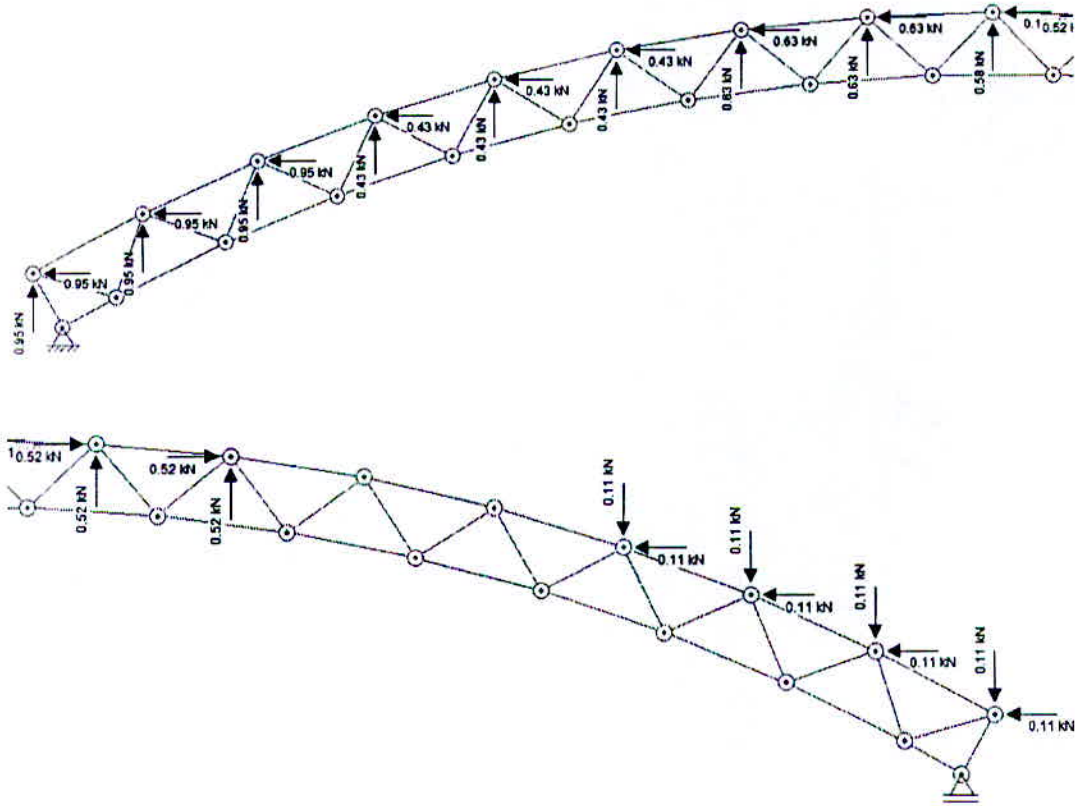
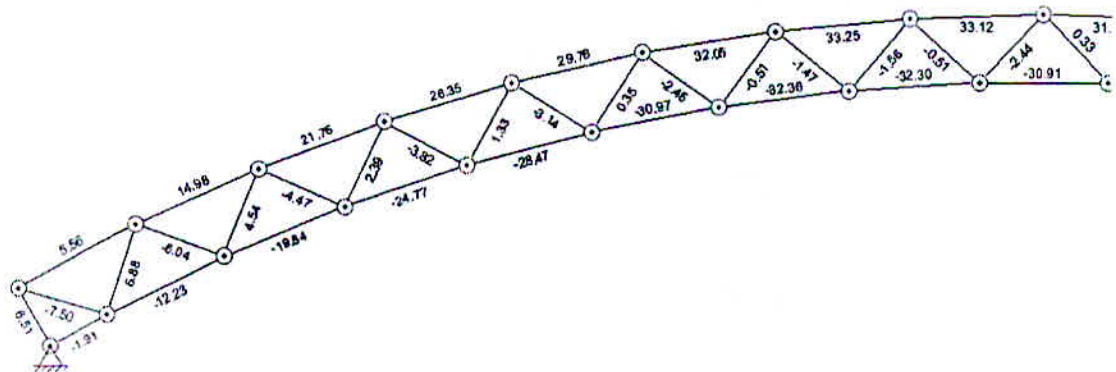


Figura 22: Cargas atuantes (Vento).

Logo, teremos como cargas axiais:



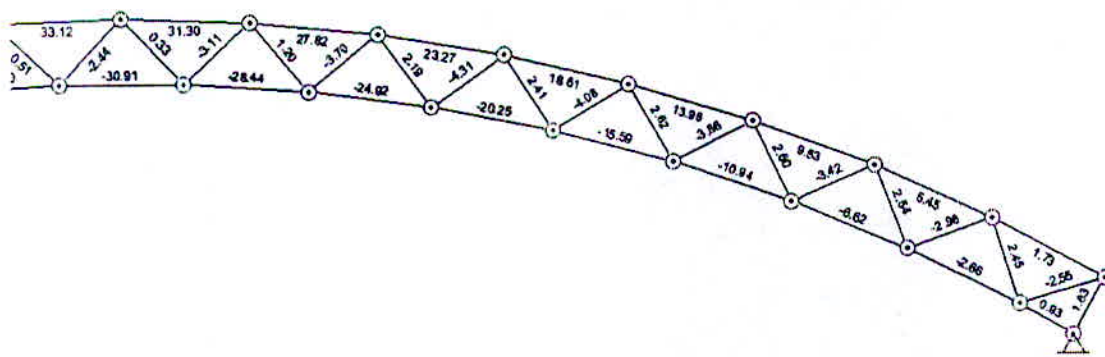
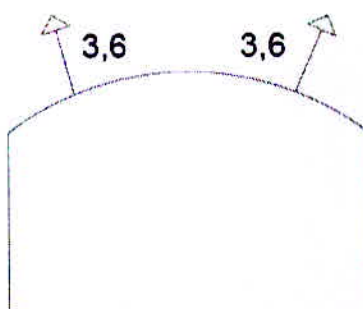


Figura 23: Forças axiais Programa Ftool.

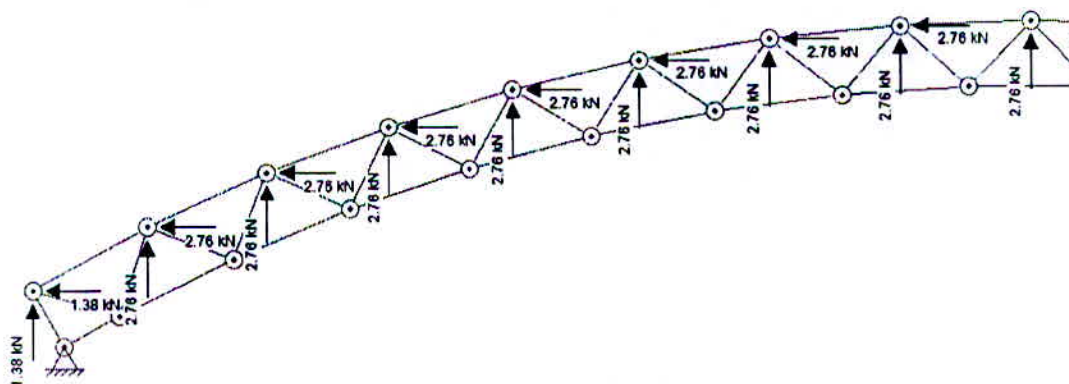
Caso 3: vento 0° mais coeficiente de pressão interna $+0,2$



$$q = (3,6 \cdot 6,50) / 6 = 3,9 \text{ kN}$$

$$q_{1y} = 3,9 \cdot \cos 45^\circ = 2,76 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 1,38 \text{ kN}$$



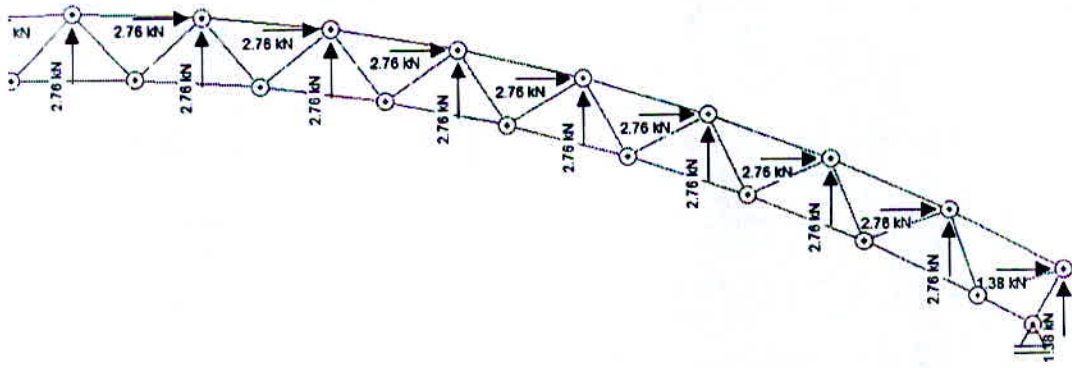


Figura 24: Cargas atuantes (Vento).

Os resultados obtidos através do programa Ftool, para as cargas axiais, segue abaixo.

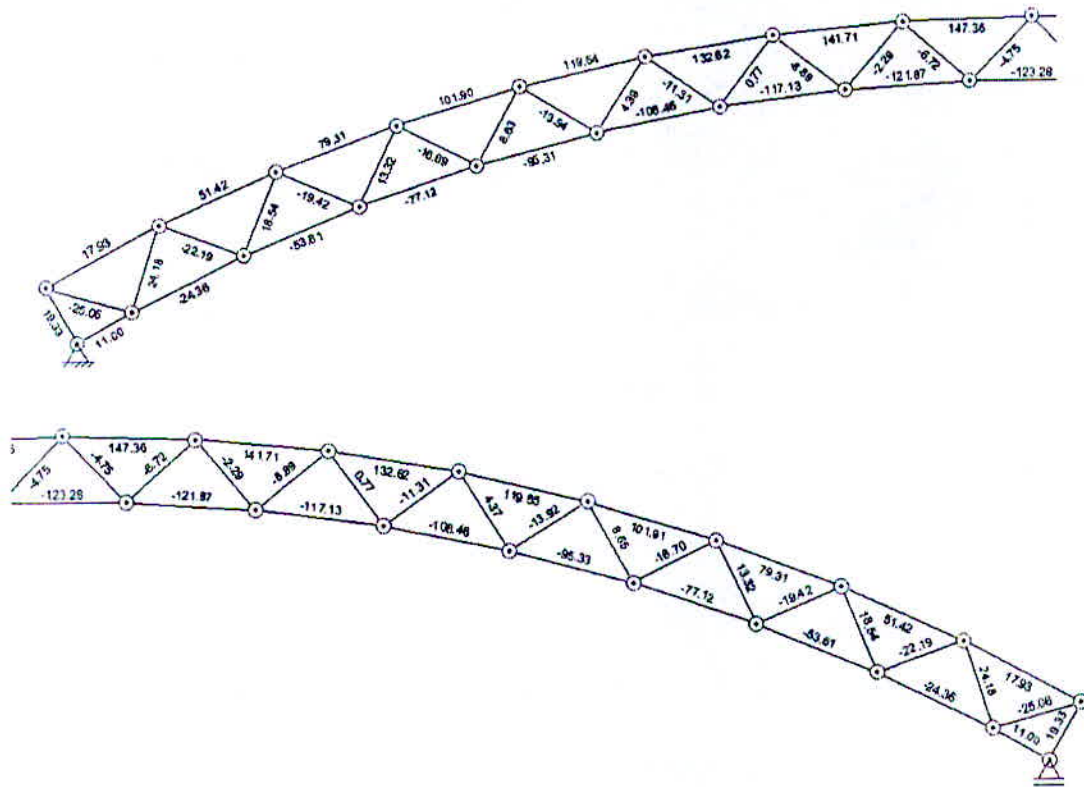
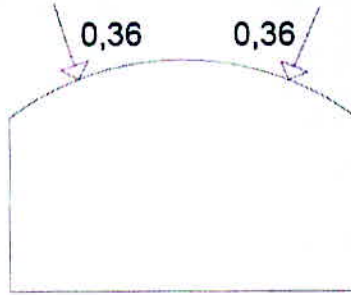


Figura 25: Forças axial Programa Ftool.

Caso 4: vento 0° coeficiente de pressão interna $-0,3$.



$$q = (0,36 \cdot 6,50) / 6 = -0,39 \text{ kN}$$

$$q_{1y} = 0,39 \cdot \cos 45^\circ = -0,28 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,39 \cdot \cos 45^\circ = -0,28 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = -0,14 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = -0,14 \text{ kN}$$

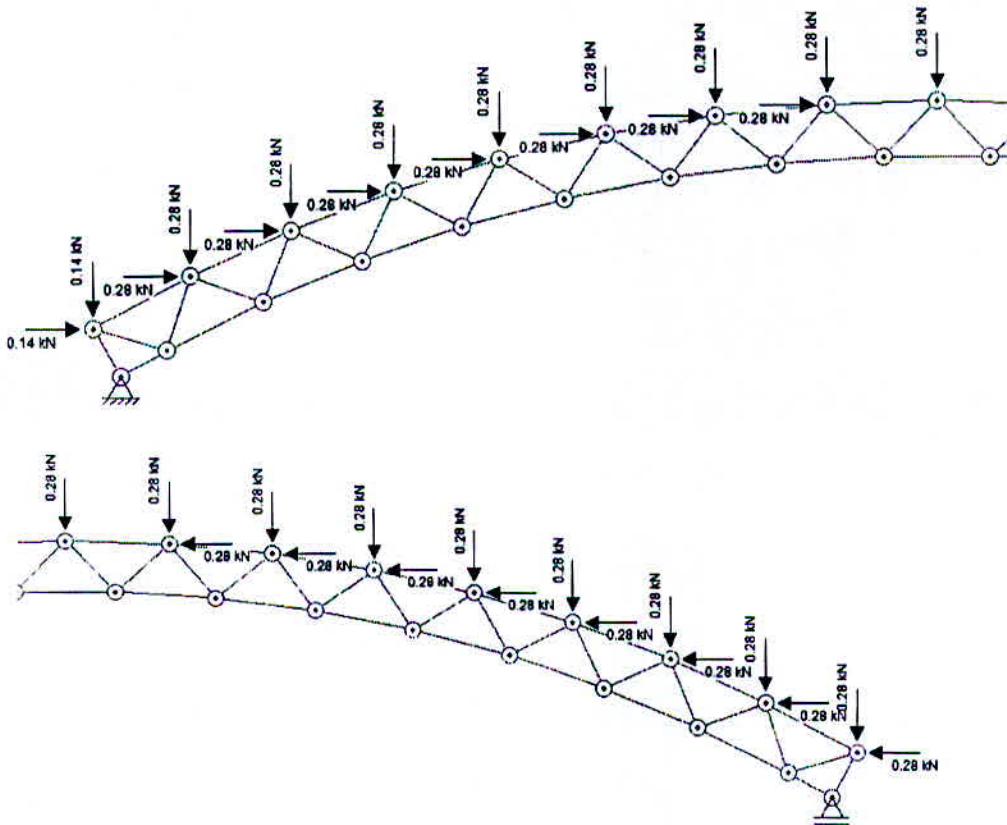


Figura 26: Cargas atuantes (Vento).

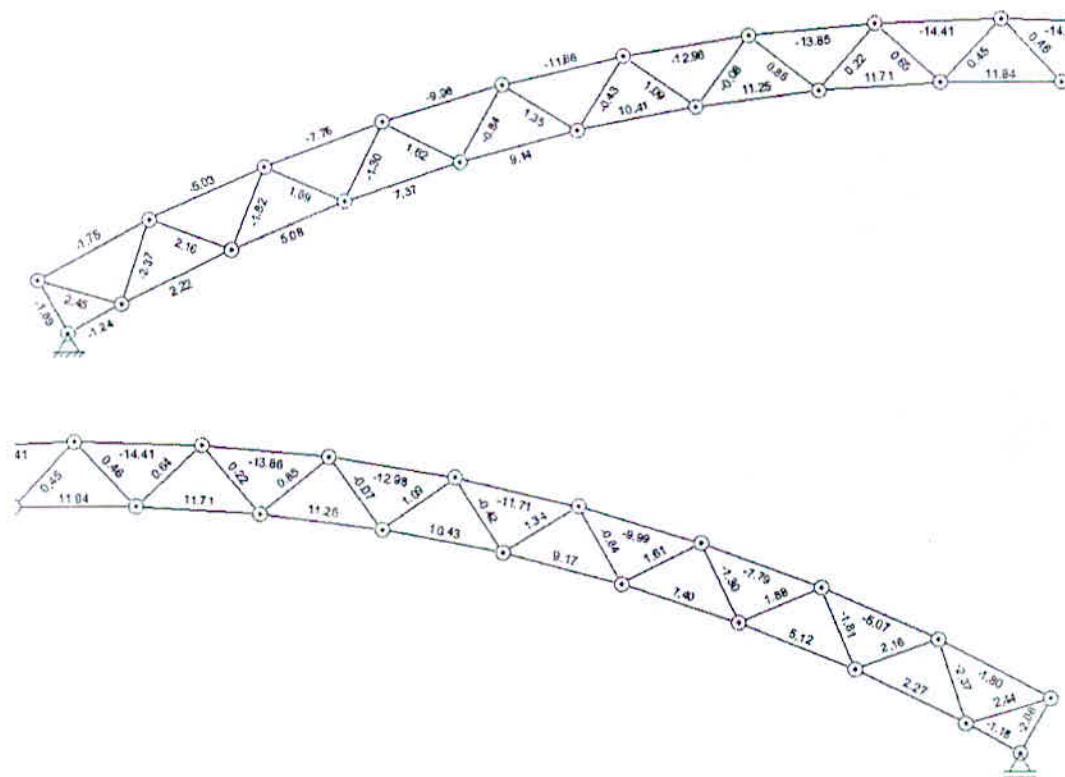


Figura 27: Forças axial Programa Ftool.

Combinação

As combinações foram efetuadas de acordo com a NBR 8800/2008, e os resultados obtidos seguem abaixo:

Barras	PP	Sobrecarga	Ventos		Combinação 1 (PP + SC)	Combinação 2 (PP + SC + V1)	Combinação 3 (PP + V1 + SC)	Combinação 4 (PP + SC + V2)	Combinação 5 (PP + V2 + SC)	Esforo máximo	Esforo mínimo
			V1 0° - cpl = 0,30	V2 90° - cpl = 0,20							
1-3	-5,820	-4,860	-1,240	11,000	-14,370	-13,666	-14,360	-3,384	2,776	2,776	-14,370
3-7	13,570	11,340	2,220	-24,360	33,517	31,311	32,554	8,984	-4,658	33,517	-4,658
7-11	30,840	25,770	5,080	-53,610	76,170	71,185	74,030	21,886	-8,136	76,170	-8,136
11-15	45,830	38,300	7,370	-77,120	113,199	105,641	109,768	34,669	-8,518	113,199	-8,518
15-17	58,400	48,800	9,140	-96,310	144,240	134,398	139,516	45,820	-8,114	144,240	-8,114
17-21	68,320	57,090	10,410	-108,460	168,742	156,990	162,820	57,140	-3,598	168,742	-3,598
21-23	75,500	63,090	11,250	-117,130	186,476	173,276	179,576	65,437	-0,156	186,476	-0,156
23-27	79,860	66,730	11,710	-121,870	197,240	183,118	189,676	70,911	2,664	197,240	2,664
27-28	81,320	67,950	11,840	-123,870	200,846	186,396	193,026	72,399	3,032	200,846	3,032
28-24	79,860	66,730	11,710	-121,870	197,240	183,118	189,676	70,911	2,664	197,240	2,664
24-22	75,500	63,090	11,260	-117,130	186,476	173,284	179,590	65,437	-0,156	186,476	-0,156
22-18	68,320	57,090	10,430	-108,460	168,742	157,007	162,848	57,140	-3,598	168,742	-3,598
18-16	58,400	48,800	9,170	-95,330	144,240	134,423	139,568	46,643	-6,742	144,240	-6,742
16-12	45,830	38,300	7,400	-77,120	113,199	105,666	109,810	34,669	-8,518	113,199	-8,518
12-8	30,840	25,770	5,120	-53,610	76,170	71,219	74,086	21,886	-8,136	76,170	-8,136
8-4	13,570	11,340	2,270	-24,360	33,517	31,353	32,624	8,984	-4,658	33,517	-4,658
4-2	-5,820	-4,860	-1,180	11,000	-14,370	-13,615	-14,276	-3,384	2,776	2,776	-14,370

5-9	-9,190	-7,680	-1,750	17,930	-22,699	-21,412	-22,392	-4,881	5,160	5,160	-22,699
9-0-13	-26,840	-22,430	-6,030	51,420	-66,294	-62,467	-65,284	-15,049	13,746	13,746	-66,294
13-19	-42,420	-35,440	-7,760	79,310	-104,762	-98,554	-102,900	-25,416	18,998	18,998	-104,762
19-25	-55,730	-46,570	-9,960	101,900	-137,647	-129,294	-134,872	-35,332	21,732	21,732	-137,647
25-29	-66,610	-56,660	-11,680	119,540	-164,517	-164,345	-160,886	-44,120	22,822	22,822	-164,517
29-31	-75,880	-62,570	-12,960	132,620	-186,242	-174,364	-181,622	-52,077	22,190	22,190	-186,242
31-33	-80,460	-67,240	-13,850	141,710	-198,734	-186,230	-193,986	-55,560	23,798	23,798	-198,734
33-35	-83,270	-69,590	-14,410	147,360	-205,677	-192,800	-200,870	-56,914	25,608	25,608	-205,677
35-34	-83,270	-69,590	-14,410	147,360	-205,677	-192,800	-200,870	-56,914	25,608	25,608	-205,677
34-32	-80,460	-67,240	-13,860	141,710	-198,734	-186,238	-194,000	-55,560	23,798	23,798	-198,734
32-30	-75,880	-62,570	-12,980	132,620	-186,242	-174,381	-181,650	-52,077	22,190	22,190	-186,242
30-26	-66,610	-56,660	-11,710	119,550	-164,517	-164,370	-160,928	-44,112	22,836	22,836	-164,517
26-20	-55,730	-46,570	-9,990	101,910	-137,647	-129,320	-134,914	-35,324	21,746	21,746	-137,647
20-14	-42,420	-35,440	-7,790	79,310	-104,762	-98,580	-102,942	-25,416	18,998	18,998	-104,762
14-10-0	-26,840	-22,430	-5,070	51,420	-66,294	-62,501	-65,340	-15,049	13,746	13,746	-66,294
10-6-0	-9,190	-7,680	-1,800	17,930	-22,699	-21,454	-22,462	-4,881	5,160	5,160	-22,699

5-03	13,750	11,490	2,450	-25,090	33,961	31,894	33,266	8,760	-5,290	33,961	-5,290
3-9	-13,250	-11,070	-2,370	24,180	-32,723	-30,739	-32,066	-8,437	5,104	5,104	-32,723
9-7	13,060	10,920	2,160	-22,160	32,266	30,162	31,372	9,734	-2,676	32,266	-2,676
7-13	-11,980	-9,180	-1,820	18,540	-28,426	-26,361	-27,380	-18,540	1,124	1,124	-28,426
13-11	12,230	10,220	1,890	-19,420	30,207	28,126	29,184	10,225	-0,650	30,207	-0,650
11-19	-8,650	-7,230	-1,300	13,320	-21,367	-19,864	-20,592	-7,583	-0,124	-0,124	-21,367
19-16	11,180	9,350	1,620	-16,690	27,624	25,631	26,538	10,250	0,964	27,624	0,964
15-25	-6,310	-5,280	-0,840	8,630	-15,595	-14,408	-14,878	-6,453	-1,620	-1,620	-15,595
25-17	9,880	8,250	1,350	-13,940	24,394	22,564	23,320	9,720	1,914	24,394	1,914
17-29	-3,940	-3,290	-0,430	4,390	-9,728	-9,907	-9,148	-4,658	-2,400	-2,400	-9,728
29-21	8,360	6,990	1,090	-11,310	20,654	19,062	19,672	8,646	2,312	20,654	2,312
21-31	-1,640	-1,370	-0,080	0,770	-4,050	-3,625	-3,670	-2,911	-2,480	-2,480	-4,050
31-23	6,670	5,570	0,860	-8,890	16,469	15,190	16,672	7,000	2,022	16,469	2,022
23-33	0,600	0,500	0,220	-2,290	1,480	1,485	1,608	-0,624	-1,906	1,608	-1,906
33-27	4,790	4,000	0,650	-6,720	11,827	10,936	11,300	4,745	0,982	11,827	0,982
27-35	2,750	2,300	0,450	-4,750	6,795	6,348	6,600	1,980	-0,680	6,795	-0,680
35-28	2,750	2,300	0,460	-4,750	6,795	6,356	6,614	1,980	-0,680	6,795	-0,680
28-34	4,790	4,000	0,640	-6,720	11,827	10,928	11,286	4,745	0,982	11,827	0,982
34-24	0,600	0,500	0,220	-2,290	1,480	1,485	1,608	-0,624	-1,906	1,608	-1,906
24-32	6,670	5,570	0,850	-8,890	16,469	15,182	16,658	7,000	2,022	16,469	2,022
32-22	-1,640	-1,370	-0,070	0,770	-4,050	-3,617	-3,656	-2,911	-2,480	-2,480	-4,050

22-30	8,360	6,990	1,090	-11,310	20,654	19,062	19,672	8,646	2,312	20,654	2,312
30-18	-3,940	-3,290	-0,420	4,370	-9,728	-8,999	-9,134	-4,875	-2,428	-2,428	-9,728
18-26	9,870	8,250	1,340	-13,920	24,381	22,546	23,296	9,727	1,932	24,381	1,932
26-16	-6,330	-5,290	-0,840	8,650	-15,635	-14,442	-14,912	-6,470	-1,626	-1,626	-15,635
16-20	11,190	9,350	1,610	-16,790	27,637	25,632	26,534	10,252	0,900	27,637	0,900
20-12	-8,650	-7,230	-1,300	13,320	-21,367	-19,864	-20,592	-7,583	-0,124	-0,124	-21,367
12-14	12,230	10,220	1,880	-19,420	30,207	28,117	29,170	10,225	-0,650	30,207	-0,650
14-8	-10,980	-9,180	-1,810	18,540	-27,126	-25,352	-26,366	-8,258	2,124	2,124	-27,126
8-10	13,060	10,920	2,160	-22,190	32,266	30,162	31,372	9,708	-2,718	32,266	-2,718
10-4	-13,250	-11,070	-2,370	24,180	-32,723	-30,739	-32,066	-8,437	5,104	5,104	-32,723
4-6	13,750	11,490	2,440	-25,060	33,961	31,886	33,252	8,786	-5,248	33,961	-5,248

1-5	-10,220	-8,540	-1,890	19,330	-25,242	-23,764	-24,822	-6,939	4,886	4,886	-25,242
2-6	-10,220	-8,540	-2,080	19,330	-25,242	-23,923	-25,088	-6,939	4,886	4,886	-25,242
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Figura 28: Tabelas Excel – combinações vento 0°

Barras	PP	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp
1-3	-5,820	-4,860	-1,910	-0,730	-14,370	-14,228	-15,298	-13,237	-13,646	-13,237	-15,298
3-7	13,570	11,340	-12,230	-17,270	33,517	19,173	12,324	14,939	5,268	33,517	5,268
7-11	30,840	25,770	-19,840	-29,880	76,170	50,252	39,142	41,819	25,086	76,170	25,086
11-15	45,830	38,300	-24,770	-38,660	113,199	78,643	64,772	66,976	45,326	113,199	45,326
15-17	58,400	48,800	-28,470	-45,100	144,240	102,805	86,862	88,836	63,580	144,240	63,580
17-21	68,320	57,090	-30,970	-49,300	168,742	122,231	104,888	106,834	79,226	168,742	79,226
21-23	75,500	63,090	-32,360	-51,460	186,476	136,644	118,522	120,600	91,782	186,476	91,782
23-27	79,860	66,730	-32,300	-51,330	197,240	146,150	128,062	130,165	101,420	197,240	101,420
27-28	81,320	67,950	-30,910	-49,190	200,846	150,486	133,176	135,130	107,584	200,846	107,584
28-24	79,860	66,730	-28,440	-45,300	197,240	149,392	133,466	135,230	109,862	197,240	109,862
24-22	75,500	63,090	-24,920	-40,820	186,476	142,893	128,938	129,537	106,678	186,476	106,678
22-18	68,320	57,090	-20,250	-35,640	168,742	131,236	119,896	118,308	98,350	168,742	98,350
18-16	58,400	48,800	-15,590	-29,660	144,240	113,624	104,894	101,806	85,196	144,240	85,196
16-12	45,830	38,300	-10,940	-22,780	113,199	90,260	84,134	80,315	67,558	113,199	67,558
12-8	30,840	25,770	-6,620	-14,940	76,170	61,357	57,650	54,368	46,002	76,170	46,002
8-4	13,570	11,340	-2,660	-6,410	33,517	27,212	25,722	24,062	20,472	33,517	20,472
4-2	-5,820	-4,860	0,930	2,960	-14,370	-11,843	-11,322	-10,138	-8,480	-8,480	-14,370

Barras	PP	Sobrecarga		Vento		Terraço		Tubo		Esforço máximo	Esforço mínimo
		PS	SA	50%	100%	50%	100%	50%	100%		
5-9,0	-9,190	-7,680	5,560	8,830	-22,699	-15,272	-12,158	-12,525	-7,580	-7,580	-22,699
9,0-13	-26,840	-22,430	14,980	24,080	-66,294	-45,659	-37,270	-38,015	-24,530	-24,530	-66,294
13-19	-42,420	-35,440	21,760	35,570	-104,762	-73,758	-61,572	-62,157	-42,238	-42,238	-104,762
19-25	-55,730	-46,570	26,350	43,780	-137,647	-98,794	-84,038	-84,153	-59,636	-59,636	-137,647
25-29	-66,610	-55,660	29,760	49,790	-164,517	-119,536	-102,870	-102,710	-74,828	-74,828	-164,517
29-31	-75,880	-62,570	32,050	53,710	-186,242	-136,556	-118,608	-118,362	-88,284	-88,284	-186,242
31-33	-80,460	-67,240	33,250	55,720	-198,734	-146,666	-128,046	-127,791	-96,588	-96,588	-198,734
33-35	-83,270	-69,590	33,120	55,640	-205,677	-152,875	-134,328	-133,958	-102,800	-102,800	-205,677
35-34	-83,270	-69,590	31,300	52,750	-205,677	-154,404	-136,876	-136,386	-106,846	-106,846	-205,677
34-32	-80,460	-67,240	27,820	48,090	-198,734	-151,227	-135,648	-134,200	-107,270	-107,270	-198,734
32-30	-75,880	-62,570	23,270	42,810	-186,242	-143,931	-130,900	-127,518	-103,544	-103,544	-186,242
30-26	-66,610	-55,660	18,610	36,820	-164,517	-128,902	-118,480	-113,605	-92,986	-92,986	-164,517
26-20	-55,730	-46,570	13,950	30,010	-137,647	-109,210	-101,398	-95,720	-78,914	-78,914	-137,647
20-14	-42,420	-35,440	9,530	22,340	-104,762	-84,031	-78,694	-73,270	-60,760	-60,760	-104,762
14-10,0	-26,840	-22,430	5,450	13,920	-66,294	-53,664	-50,612	-46,549	-38,754	-38,754	-66,294
10-6,0	-9,190	-7,680	1,730	4,780	-22,699	-18,489	-17,520	-15,927	-13,250	-13,250	-22,699

Barras	PP	Sobrecarga		Vento		Terraço		Tubo		Esforço máximo	Esforço mínimo
		PS	SA	50%	100%	50%	100%	50%	100%		
5-03	13,750	11,490	-7,500	-11,930	33,961	23,536	19,336	19,815	13,134	33,961	13,134
3-9	-13,250	-11,070	6,880	11,100	-32,723	-22,969	-19,116	-19,424	-13,208	-13,208	-32,723
9-7	13,060	10,920	-6,040	-9,880	32,266	23,274	19,892	20,049	14,516	32,266	14,516
7-13	-11,980	-9,180	4,540	7,670	-28,426	-21,018	-18,476	-18,389	-14,094	-14,094	-28,426
13-11	12,230	10,220	-4,470	-7,710	30,207	22,783	20,280	20,062	15,744	30,207	15,744
11-19	-8,650	-7,230	2,390	4,510	-21,367	-16,764	-15,426	-14,984	-12,458	-12,458	-21,367
19-15	11,180	9,350	-3,820	-6,440	27,624	21,061	18,922	18,860	15,254	27,624	15,254
15-25	-6,310	-5,280	1,330	2,530	-15,595	-12,585	-11,840	-11,577	-10,160	-10,160	-15,595
25-17	9,880	8,250	-3,140	-5,140	24,394	18,792	17,034	17,112	14,234	24,394	14,234
17-29	-3,940	-3,290	0,350	0,720	-9,728	-8,252	-8,056	-7,941	-7,538	-7,538	-9,728
29-21	8,360	6,990	-2,450	-3,850	20,654	16,088	14,716	14,912	12,756	20,654	12,756
21-31	-1,640	-1,370	-0,510	-0,850	-4,050	-3,986	-4,272	-4,272	-4,748	-3,986	-4,748
31-23	6,670	5,570	-1,470	-2,310	16,469	13,233	12,410	12,528	11,234	16,469	11,234
23-33	0,600	0,600	-1,560	-2,500	1,480	-0,010	-0,884	-0,800	-2,200	1,480	-2,200
33-27	4,790	4,000	-0,510	-0,840	11,827	9,962	9,676	9,684	9,214	11,827	9,214
27-35	2,750	2,300	-2,440	-3,860	6,795	3,920	2,554	2,728	0,566	6,795	0,566
35-28	2,750	2,300	0,330	0,480	6,795	6,247	6,432	6,373	6,642	6,795	6,247
28-34	4,790	4,000	-3,110	-4,900	11,827	7,778	6,036	6,274	3,530	11,827	3,530
34-24	0,600	0,600	1,200	1,100	1,480	2,308	2,980	2,224	2,840	2,980	1,480
24-32	6,670	5,570	-3,700	-5,130	16,469	11,360	9,288	10,159	7,286	16,469	7,286
32-22	-1,640	-1,370	2,190	1,820	-4,050	-1,718	-0,492	-2,029	-1,010	-0,492	-4,050

22-30	9,360	6,990	-4,310	-5,400	20,654	14,526	12,112	13,610	10,586	20,654	10,586
30-18	-3,940	-3,290	2,410	2,630	-9,728	-6,522	-5,172	-6,337	-4,864	-4,864	-9,728
18-26	9,870	8,250	-4,080	-5,690	24,381	17,993	15,708	16,640	13,454	24,381	13,454
26-16	-6,330	-5,290	2,620	3,570	-15,635	-11,535	-10,068	-10,737	-8,738	-8,738	-15,635
16-20	11,190	9,350	-3,860	-6,020	27,637	21,038	18,876	19,223	15,852	27,637	15,852
20-12	-8,650	-7,230	2,600	4,550	-21,367	-16,588	-15,132	-14,950	-12,402	-12,402	-21,367
12-14	12,230	10,220	-3,420	-6,310	30,207	23,665	21,750	21,238	17,704	30,207	17,704
14-8	-10,980	-9,180	2,540	5,460	-27,126	-21,698	-20,276	-19,246	-16,188	-16,188	-27,126
8-10	13,060	10,920	-2,980	-6,460	32,266	25,845	24,176	22,922	19,304	32,266	19,304
10-4	-13,250	-11,070	2,450	6,410	-32,723	-26,690	-25,318	-23,364	-19,774	-19,774	-32,723
4-6	13,750	11,490	-2,550	-6,640	33,961	27,694	26,266	24,258	20,540	33,961	20,540
1-5	-10,220	-8,540	6,510	10,290	-25,242	-16,708	-13,062	-13,532	-7,770	-7,770	-25,242
2-6	-10,220	-8,540	1,630	5,210	-25,242	-20,807	-19,894	-17,800	-14,882	-14,882	-25,242
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Dimensionamento das barras

Banzo inferior

As barras mais solicitadas: 9-10 e 8-9.

Esforço máximo ($N_{t,sd}$) = + 201,132KN – Tração.

Comprimento das barras: 0,7849 m.

Segundo a NRB 8800, página 121 anexo E, tabela E.1, o coeficiente de flambagem a flexão (K) é de 1,0. O índice de esbeltez (λ) ≤ 200 , sendo que λ é dado por:

$$\lambda = K \cdot L / r$$

Fazendo $\lambda = 200$, temos que

$$200 = 1 \cdot 78,49 / r_{\min}$$

$$r_{\min} = 0,39 \text{ cm}$$

Adotando perfil cantoneira dupla de abas iguais 3,81 x 6,96 kg/m

O estado limite de escoamento da seção bruta é dado por:

$$N_{c, Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{c, Rd} = 8,90 \cdot 25 / 1,10 = 202,27 \text{ KN}$$

Como $N_{c, Rd} > N_{t, sd}$, o perfil atende.

Esforço de compressão máximo: 14,38KN. Será dotado o mesmo perfil.

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 78,49 / 1,15 = 68,25 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 1,49 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (200 \cdot 1000 / 250)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 15,84$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 3,81 / 0,635 = 6,00$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 11,53) / (1 \cdot 78,49)^2$$

$$N_e = 369,43 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 8,90 \cdot 25 / 369,43)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 0,78$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658 \cdot \lambda_0^2$$

$$X = 0,658^{0,61}$$

$$X = 0,77$$

Assim,

$$N_{C, Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{C, Rd} = 0,77 \cdot 1 \cdot 8,90 \cdot 25 / 1,1 = 155,75 \text{ KN}$$

Como $N_{C, Rd} > N_{C, sd}$, o perfil atende.

Perfil adotado para o banzo inferior será de cantoneira dupla de abas iguais 3,81 x 6,96 kg/m

Banzo superior

Barras com maiores solicitações: 25-26 e 26-27

Esforço máximo ($N_{C, sd}$) = -205,976KN (compressão)

Será adotando o perfil cantoneira dupla de abas iguais 6,35 x 9,14 kg/m

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 81,10 / 1,98 = 41,00 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 15,84$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 6,35 / 0,476 = 13,34$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 46) / (1 \cdot 81,10)^2$$

$$N_e = 1380,53 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 11,60 \cdot 25 / 1380,53)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 0,46$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658 \cdot \lambda_0^2$$

$$X = 0,92$$

Assim,

$$N_{C, Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{af}$$

$$N_{C, Rd} = 0,92 \cdot 1 \cdot 11,60 \cdot 25 / 1,1 = 245,55 \text{ KN}$$

Como $N_{C, Rd} > N_{C, Sd}$, o perfil atende.

O perfil adotado tanto para o banzo inferior e superior será 2L 6,35 x 9,14 Kg/m.

Diagonal

Barras com maiores solicitações: 03-09 e 10-04

Esforço máximo ($N_{C, Sd}$) = -32,723 KN (compressão)

Barras com maiores solicitações: 04-06 e 05-3

Esforço máximo ($N_{C, Sd}$) = 34,013 KN (tração)

Compressão:

O índice de esbeltez (λ) ≤ 200 , sendo que λ é dado por:

$$\lambda = K \cdot L / r$$

Fazendo $\lambda = 200$, temos que

$$200 = 1 \cdot 56,50 / r_{\min}$$

$$r_{\min} = 0,28 \text{ cm}$$

Adotando o perfil de cantoneiras de abas iguais 2,54 x **1,73 kg/m**.

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 56,50 / 0,76 = 74,34 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{\text{Lim}} = 0,45 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{\text{Lim}} = 0,45 \cdot (200 \cdot 1000 / 250)^{1/2}$$

$$b / t_{\text{Lim}} = 12,73$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 2,54 / 0,476 = 5,34$

Logo $b / t < b / t_{\text{Lim}}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 1,25) / (1 \cdot 56,50)^2$$

$$N_e = 77,29 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 2,19 \cdot 25 / 77,29)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 0,84$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$X = 0,74$$

Assim,

$$N_{C,Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{C,Rd} = 0,74 \cdot 1 \cdot 2,19 \cdot 25 / 1,1 = 36,83 \text{ KN}$$

Como $N_{C,Rd} > N_{C,sd}$, o perfil atende.

Tração:

O estado limite de escoamento da seção bruta é dado por:

$$N_{c,Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{c,Rd} = 2,19 \cdot 25 / 1,10 = 49,77 \text{ KN}$$

Como $N_{C,Rd} > N_{C,sd}$, o perfil atende.

Montante

As barras mais solicitadas: 1-5 e 2-6

Esforço máximo de compressão é $(N_{C,sd}) = -25,242 \text{ KN}$.

Adotando o perfil de cantoneiras de abas iguais **2,54 x 1,19 kg/m**.

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 40 / 0,66 = 60,61 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 0,45 \cdot (200 \cdot 1000 / 250)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 12,73$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 2,54 / 0,317 = 8,01$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 0,83) / (1 \cdot 40)^2$$

$$N_e = 102,40 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 1,48 \cdot 25 / 102,40)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 0,60$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$X = 0,86$$

Assim,

$$N_{C, Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{al}$$

$$N_{C, Rd} = 0,86 \cdot 1 \cdot 1,48 \cdot 25 / 1,1 = 28,93 \text{ KN}$$

Como $N_{C, Rd} > N_{C, Sd}$, o perfil atende.

Quadro Resumo	
Banzo inferior	2L 3,81 x 6,96 kg/m
Banzo superior	2L 6,35 x 9,14 Kg/m
Diagonais	2,54 x 1,73 kg/m
Montante	L 2,54 x 1,19 kg/m

Logo, o total de aço consumido para uma tesoura será de:

Banzo inferior: 12,56 metros de comprimento x 6,96 = 87,4176 kg

Banzo superior: 12,976 metros de comprimento x 9,14 = 118,6006 kg

Diagonais: 18,08 metros de comprimento x 1,73 = 31,2784 kg

Montante: 0,8 metros de comprimento x 1,19 = 0,952 Kg

Total de aço consumido = 238,25 Kg.

CÁLCULO DA COBERTURA EM DUAS ÁGUAS COM MONTANTE NAS EXTREMIDADES

Na Cobertura em duas águas com montante será utilizado os mesmos valores calculados para a cobertura em duas águas.

A geometria utilizada para as diagonais e os montantes será o mesmo que foi utilizado na geometria duas águas. Assim temos que a geometria utilizada segue abaixo:

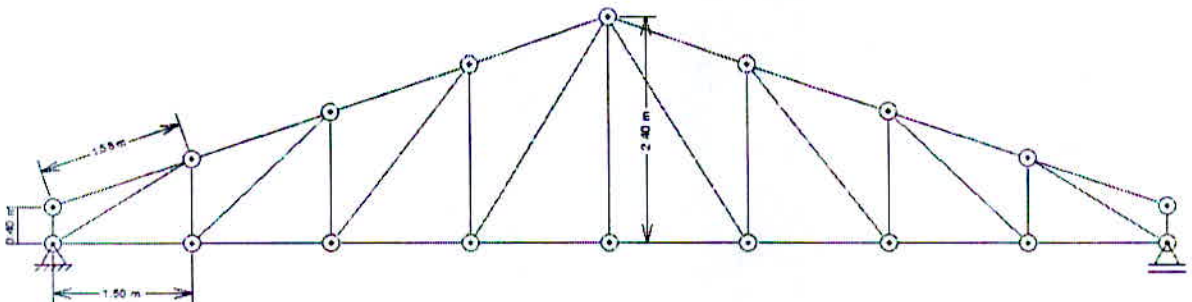


Figura 29: Geometria da tesoura.

A altura adotada será a mesma do arco e da treliça duas águas paralelas, assim $h = 40$ cm.

Carregamento

O carregamento é o mesmo calculado para a cobertura duas águas, assim temos que:

Peso Próprio

$$\text{Terça} = 67,50 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Treliça} = 114,10 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Contraventamentos mais correntes} = 10,00 \text{ N/m}^2$$

$$\text{PP estrutura} = 191,60 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Telhas} = 109 \text{ N/m}^2$$

$$\text{PP total} = 300,6 \text{ N/m}^2$$

Assim,

$$P_1 = 300,6 \cdot 1,58 \cdot 6 = 2849,69 \text{ N}$$

$$P_2 = 300,6 \cdot 1,58 \cdot 6 / 2 = 1424,85 \text{ N}$$

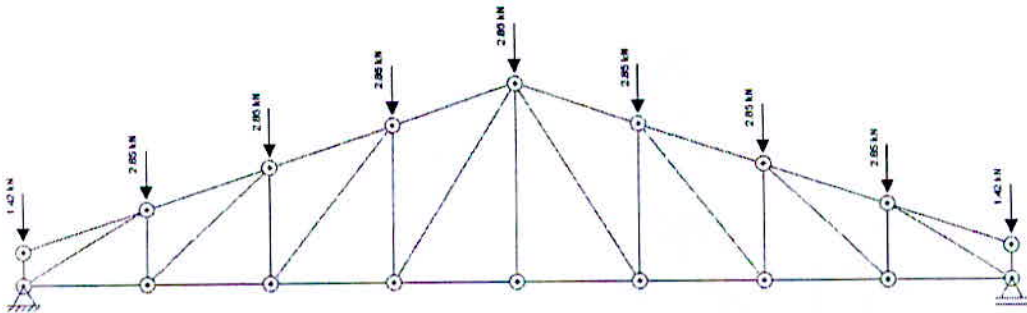


Figura 30: Cargas atuantes (PP).

Resultados Obtidos em KN, através do programa Ftool:

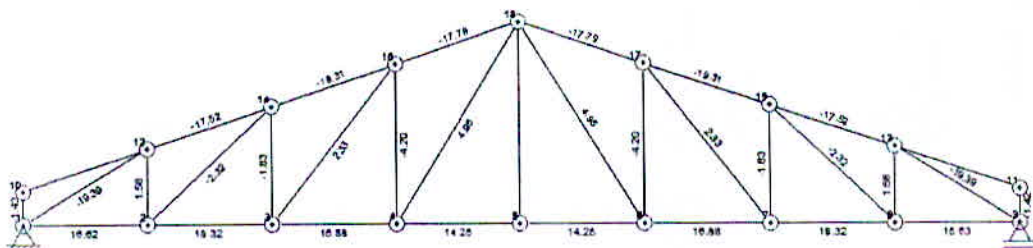


Figura 31: Forças axial Programa Ftool.

Sobrecarga

Segundo a NBR 8800- 2008, é:

$$SC = 250 \text{ N/m}^2$$

$$SC_1 = 250 \cdot 1,58 \cdot 6 = 2370 \text{ N}$$

$$SC_2 = 250 \cdot 1,58 \cdot 6 / 2 = 1185 \text{ N}$$

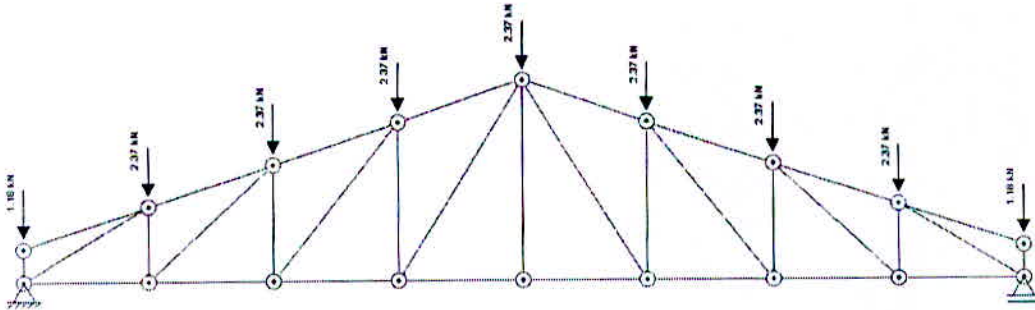


Figura 32: Cargas atuantes (SC).

Resultados obtidos para as forças axiais, através do programa Ftool:

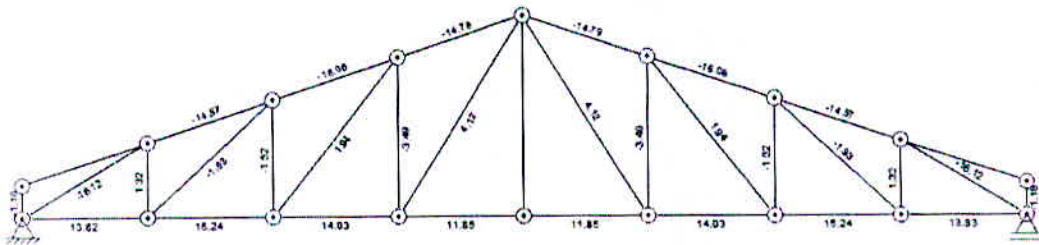


Figura 33: Forças axial Programa Ftool.

Vento

Vento 0° – $C_{pi} = 0,20$

$$q_{1y} = 3,33 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 1,67 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 1,11 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,55 \text{ kN}$$

$$M.1: 0,71 \cdot 0,40 / 2 = 0,2840 \text{ kN}$$

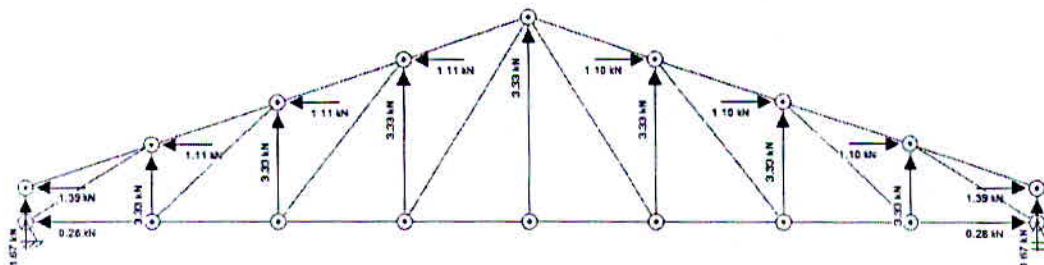


Figura 34: Cargas atuantes (Vento).

Resultados obtidos através do programa Ftool:

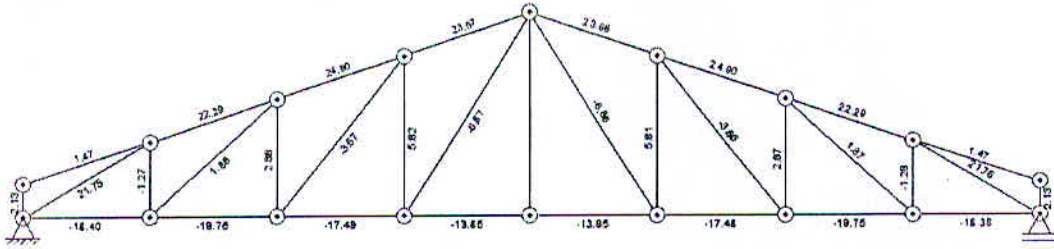


Figura 35: Forças axiais Programa Ftool.

Vento 0° – Cpi = -0,30

$$q_{1y} = 1,54 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 0,77 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,51 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,26 \text{ kN}$$

$$M.1: 1,06 \cdot 0,40 / 2 = 0,21 \text{ KN}$$

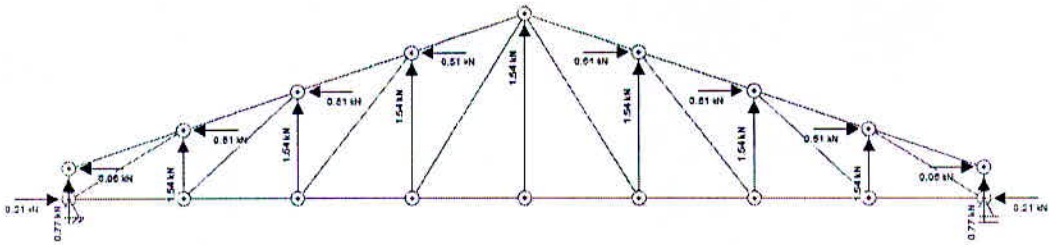


Figura 36: Cargas atuantes (Vento).

As forças axiais obtidas através do programa Ftool, segue abaixo:

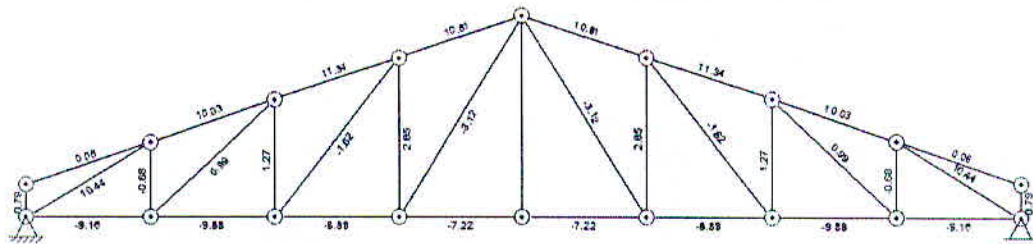


Figura 37: Forças axiais Programa Ftool.

Vento 90° – Cpi = 0,20

Para o lado esquerdo

$$q_{1y} = 2,82 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 1,41 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,94 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,47 \text{ kN}$$

$$M.1: 0,71 \cdot 0,40 / 2 = 0,14 \text{ KN}$$

Para o lado direito

$$q_{1y} = 2,14 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 1,07 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,72 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,36 \text{ kN}$$

$$M.2: 0,71 \cdot 0,40 / 2 = 0,14 \text{ kN}$$

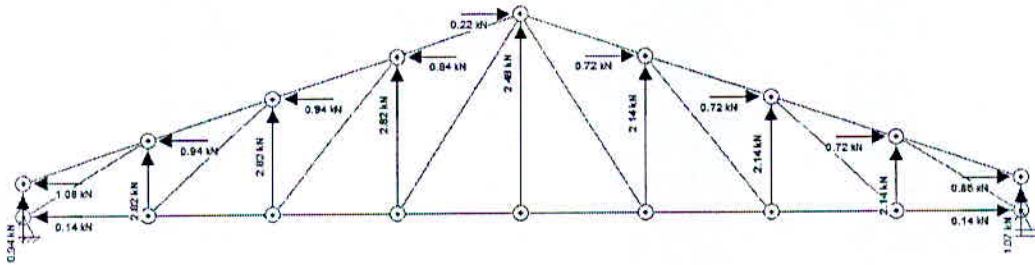


Figura 38: Cargas atuantes (Vento).

Forças axiais obtidas através do programa Ftool:

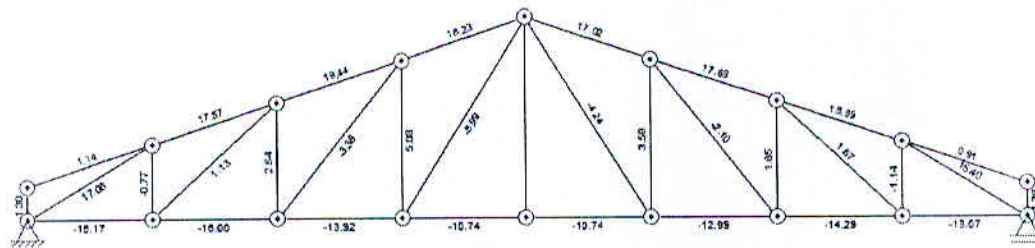


Figura 39: Forças axial Programa Ftool.

Vento 90° – C_{pi} = -0,30

Para o lado esquerdo

$$q_{1y} = 1,03 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 0,52 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,35 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,17 \text{ kN}$$

$$M.1: 1,06 \cdot 0,40 / 2 = 0,21 \text{ kN}$$

Para o lado direito

$$q_{1y} = 0,35 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 0,18 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,12 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,06 \text{ kN}$$

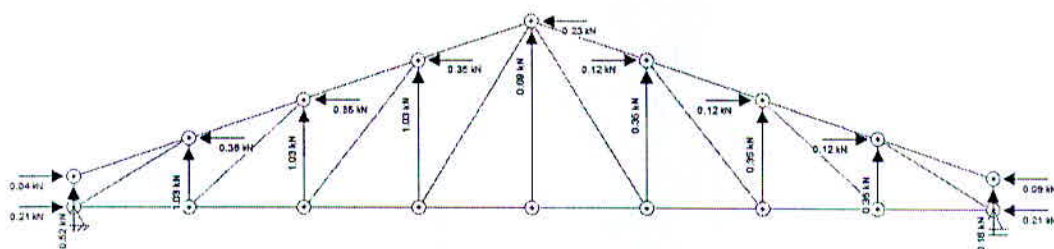


Figura 40: Cargas atuantes (Vento).

As forças axiais foram obtidas através do programa Ftool, logo:

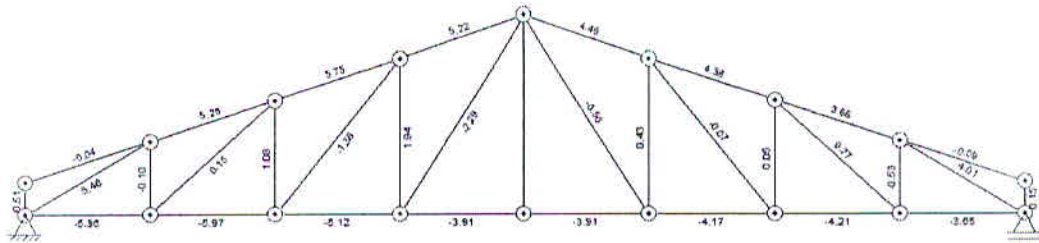


Figura 41: Forças axial Programa Ftool.

Combinação

As combinações foram realizadas de acordo com a NBR 8800/2008, e idem a cobertura em duas águas.

Temos que os esforços máximos e mínimos do banzo superior e inferior, das diagonais e dos montantes foram realizados através do programa excell e os resultados estão apresentadas abaixo.

	Barras	PP	Sobrecarga	Ventos		Combinação 1 (PP + SC)	Combinação 2 (PP + SC + V1)	Combinação 3 (PP + V1 + SC)	Combinação 4 (PP + SC + V2)	Combinação 5 (PP + V2 + SC)	Esforço máximo	Esforço mínimo
				V1 90° - cpl = -0,30	V2 90° - cpl = 0,20							
Banzo Inferior (KN)	1-2	16,620	13,820	-5,860	-15,170	40,954	31,046	27,764	23,225	14,730	40,954	14,730
	2-3	18,320	15,240	-5,970	-16,000	45,152	34,641	31,298	26,216	17,256	45,152	17,256
	3-4	16,060	14,030	-5,120	-13,920	41,586	32,221	29,354	24,829	17,034	41,586	17,034
	4-5	14,250	11,850	-3,910	-10,740	35,115	27,556	25,366	21,818	15,804	35,115	15,804
	5-6	14,250	11,850	-3,910	-10,740	35,115	27,556	25,366	21,818	15,804	35,115	15,804
	6-7	16,880	14,030	-4,170	-12,990	41,586	33,019	30,684	25,610	18,336	41,586	18,336
	7-8	18,320	15,240	-4,210	-14,290	45,152	36,120	33,762	27,652	19,650	45,152	19,650
	8-9	16,630	13,820	-3,650	-13,070	40,967	32,912	30,868	24,999	17,680	40,967	17,680
	10-12,0	0,000	0,000	-0,040	1,140	0,000	-0,034	-0,056	0,958	1,596	1,596	-0,056
Banzo Superior (KN)	12-14,0	-17,520	-14,570	5,260	17,570	-43,174	-33,500	-30,554	-23,159	-13,320	-13,320	-43,174
	14-16	-19,310	-16,060	5,750	19,440	-47,587	-36,964	-33,744	-25,464	-14,578	-14,578	-47,587
	16-18	-17,790	-14,790	5,220	18,230	-43,833	-34,111	-31,188	-23,183	-12,974	-12,974	-43,833
	18-17	-17,790	-14,790	4,460	17,020	-43,833	-34,750	-32,252	-24,199	-14,668	-14,668	-43,833
	17-15	-19,310	-16,060	4,380	17,630	-47,587	-38,115	-35,662	-26,985	-17,112	-17,112	-47,587
	15-13	-17,520	-14,570	3,660	15,590	-43,174	-34,844	-32,794	-24,822	-16,092	-16,092	-43,174
	13-11,0	0,000	0,000	-0,090	0,910	0,000	-0,076	-0,126	0,764	1,274	1,274	-0,126
	11-12	-19,390	-16,120	5,460	17,080	-47,775	-37,372	-34,314	-27,611	-18,046	-18,046	-47,775
	2-14	-2,320	-1,930	0,150	1,130	-5,718	-4,895	-4,812	-4,073	-3,440	-3,440	-5,718
Diagonal (KN)	3-16	2,330	1,940	-1,380	-3,360	5,745	3,887	3,114	2,224	0,342	5,745	0,342
	4-18	4,950	4,120	-2,290	-5,990	12,203	8,794	7,512	5,686	2,332	12,203	2,332
	6-18	4,950	4,120	-0,500	-4,240	12,203	10,298	10,018	7,156	4,782	12,203	4,782
	17-7	2,330	1,940	-0,070	-2,100	5,745	4,987	4,948	3,282	2,106	5,745	2,106
	15-8	-2,320	-1,930	0,770	1,670	-5,718	-4,375	-3,944	-3,619	-2,684	-2,684	-5,718
	13-9	-19,390	-16,120	4,010	15,400	-47,775	-38,590	-36,344	-29,022	-20,398	-20,398	-47,775
	1-10	-1,420	-1,180	0,510	1,300	-3,498	-2,644	-2,358	-1,980	-1,252	-1,252	-3,498
	2-12	1,580	1,320	-0,100	-0,770	3,902	3,344	3,288	2,781	2,350	3,902	2,350
	3-14,0	-1,830	-1,520	1,080	2,640	-4,507	-3,051	-2,446	-1,740	-0,262	-0,262	-4,507
Montantes (KN)	4-16,0	-4,200	-3,490	1,940	5,080	-10,346	-7,456	-6,370	-4,819	-1,974	-1,974	-10,346
	5-18,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	6-17,0	-4,200	-3,490	0,430	3,590	-10,346	-8,725	-8,484	-6,070	-4,060	-4,060	-10,346
	7-15,0	-1,830	-1,520	0,050	1,650	-4,507	-3,916	-3,888	-2,572	-1,648	-1,648	-4,507
	8-13,0	1,580	1,320	0,530	-1,140	3,902	3,873	4,170	2,470	1,832	4,170	1,832
	9-11,0	-1,420	-1,180	0,150	1,360	-3,498	-2,946	-2,862	-1,930	-1,168	-1,168	-3,498

	Barras	PP	Sobrecarga	Ventos		Combinação 1 (PP + SC)	Combinação 2 (PP + SC + V1)	Combinação 3 (PP + V1 + SC)	Combinação 4 (PP + SC + V2)	Combinação 5 (PP + V2 + SC)	Esforço máximo	Esforço mínimo
				V1	V2							
				90° - cpl = 0,30	90° - cpl = 0,20							
Banzo inferior (KN)	1-2	16,620	13,820	-5,860	-15,170	40,954	31,046	27,764	23,225	14,730	40,954	14,730
	2-3	18,320	15,240	-5,970	-16,000	45,152	34,641	31,298	26,216	17,256	45,152	17,256
	3-4	16,880	14,030	-5,120	-13,920	41,586	32,221	29,354	24,829	17,034	41,586	17,034
	4-5	14,250	11,850	-3,910	-10,740	35,115	27,556	25,366	21,818	15,804	35,115	15,804
	5-6	14,250	11,850	-3,910	-10,740	35,115	27,556	25,366	21,818	15,804	35,115	15,804
	6-7	16,880	14,030	-4,170	-12,990	41,586	33,019	30,684	25,610	18,336	41,586	18,336
	7-8	18,320	15,240	-4,210	-14,290	45,152	36,120	33,762	27,652	19,650	45,152	19,650
	8-9	16,630	13,820	-3,650	-13,070	40,967	32,912	30,868	24,999	17,680	40,967	17,680
	10-12,0	0,000	0,000	-0,040	1,140	0,000	-0,034	-0,056	0,958	1,596	1,596	-0,056
Banzo Superior (KN)	12-14,0	-17,520	-14,570	5,260	17,570	-43,174	-33,500	-30,554	-23,159	-13,320	-13,320	-43,174
	14-16	-19,310	-16,060	5,750	19,440	-47,587	-36,964	-33,744	-25,464	-14,578	-14,578	-47,587
	16-18	-17,790	-14,790	5,220	18,230	-43,833	-34,111	-31,188	-23,183	-12,974	-12,974	-43,833
	18-17	-17,790	-14,790	4,460	17,020	-43,833	-34,750	-32,252	-24,199	-14,668	-14,668	-43,833
	17-15	-19,310	-16,060	4,380	17,630	-47,587	-38,115	-35,662	-26,985	-17,112	-17,112	-47,587
	15-13	-17,520	-14,570	3,660	15,590	-43,174	-34,844	-32,794	-24,822	-16,092	-16,092	-43,174
	13-11,0	0,000	0,000	-0,090	0,910	0,000	-0,076	-0,126	0,764	1,274	1,274	-0,126

	Barras	PP	Sobrecarga	Ventos		Combinação 1 (PP + SC)	Combinação 2 (PP + SC + V1)	Combinação 3 (PP + V1 + SC)	Combinação 4 (PP + SC + V2)	Combinação 5 (PP + V2 + SC)	Esforço máximo	Esforço mínimo
				V1	V2							
				90° - cpl = 0,30	90° - cpl = 0,20							
Diagonal	3-16	2,330	1,940	-1,380	-3,360	5,745	3,887	3,114	2,224	0,342	5,745	0,342
	4-18	4,950	4,120	-2,290	-5,990	12,203	8,794	7,512	5,686	2,332	12,203	2,332
	6-10	4,950	4,120	-0,500	-4,240	12,203	10,298	10,018	7,156	4,782	12,203	4,782
	17-7	2,330	1,940	-0,070	-2,100	5,745	4,987	4,948	3,282	2,106	5,745	2,106
	15-8	-2,320	-1,930	0,770	1,670	-5,718	-4,375	-3,944	-3,619	-2,684	-2,684	-5,718
	13-9	-19,390	-16,120	4,010	15,400	-47,775	-38,590	-36,344	-29,022	-20,398	-20,398	-47,775
Vertical (KN)	1-10	-1,420	-1,180	0,510	1,300	-3,498	-2,644	-2,358	-1,980	-1,252	-1,252	-3,498
	2-12	1,580	1,320	-0,100	-0,770	3,902	3,344	3,288	2,781	2,350	3,902	2,350
	3-14,0	-1,830	-1,520	1,080	2,640	-4,507	-3,051	-2,446	-1,740	-0,262	-0,262	-4,507
	4-16,0	-4,200	-3,490	1,940	5,080	-10,346	-7,456	-6,370	-4,819	-1,974	-1,974	-10,346
	5-18,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	6-17,0	-4,200	-3,490	0,430	3,590	-10,346	-8,725	-8,484	-6,070	-4,060	-4,060	-10,346
	7-15,0	-1,830	-1,520	0,050	1,650	-4,507	-3,916	-3,888	-2,572	-1,648	-1,648	-4,507
	8-13,0	1,580	1,320	-0,530	-1,140	3,902	2,983	2,686	2,470	1,832	3,902	1,832
	9-11,0	-1,420	-1,180	0,150	1,360	-3,498	-2,946	-2,862	-1,930	-1,168	-1,168	-3,498

Dimensionamento das barras

Banzo inferior

Barras com maiores solicitações: 2-3 e 7-8

Esforço máximo: 45,152KN – tração

Comprimento das barra: 1,50 m.

Coefficiente de flambagem a flexão (K): 1,0.

Índice de esbeltez (λ) ≤ 200 , sendo que λ é dado por:

$$\lambda = K \cdot L / r$$

Fazendo $\lambda = 200$, temos que

$$200 = 1 \cdot 150 / r_{\min}$$

$$r_{\min} = 0,75\text{cm}$$

Adotando Cantoneira dupla de águas iguais 2L 1,905 x 1,74 kg/m.

O estado limite de escoamento da seção bruta é dado por:

$$N_{c,Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{al}$$

$$N_{c,Rd} = 2,22 \cdot 25 / 1,10 = 50,45 \text{ KN}$$

Como $N_{t,Rd} > N_{t,Sd}$, o perfil atende.

Logo o perfil adotado para o banzo inferior será o cantoneira dupla de águas iguais 2L 1,905 x 1,74 kg/m.

Banzo superior

Barras com maiores solicitações: 14-16 e 17-15

Esforço máximo: 47,587KN – tração

Comprimento das barra: 1,57 m.

Será adotando o perfil 2L 3,81 x 3,66 Kg/m

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 157 / 1,17 = 134,19 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (200 \cdot 1000 / 250)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 15,84$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 3,81 / 0,3175 = 12,0$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 6,49) / (1 \cdot 157)^2$$

$$N_e = 51,97 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 4,64 \cdot 25 / 51,97)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 1,49$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658 \cdot \lambda_0^2$$

$$X = 0,39$$

Assim,

$$N_{C,Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{C,Rd} = 0,39 \cdot 1 \cdot 6,49 \cdot 25 / 1,1 = 56,05 \text{ KN}$$

Como $N_{C,Rd} > N_{C,Sd}$, o perfil atende.

O perfil adotado tanto para o banço inferior e superior será 2L 3,81 x 3,66 Kg/m.

Diagonal

Barras mais solicitadas: 1-12 e 13-9

$$N_{s,rd} = 47,775 \text{ KN} - \text{compressão}$$

Comprimento: 1,75m

Barras mais solicitadas: 4-18 e 18-6

$$N_{s,rd} = 12,203 \text{ KN} - \text{tração}$$

Comprimento: 2,83m

$$N_{s,rd} = 47,775 \text{ KN} - \text{compressão}$$

Adotando o perfil cantoneira de abas iguais 5,08 x 3,63Kg/m.

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 175 / 1,58 = 110,75 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 0,45 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 12,73$$

$$\text{Onde } b / t = b_f / t_f = 5,08 / 0,476 = 10,67$$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 11,70) / (1 \cdot 175)^2$$

$$N_e = 75,41 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 4,58 \cdot 25 / 75,41)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 1,23$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$X = 0,53$$

Assim,

$$N_{C, Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{al}$$

$$N_{C, Rd} = 0,53 \cdot 1 \cdot 4,58 \cdot 25 / 1,1 = 55,17 \text{ KN}$$

Como $N_{C, Rd} > N_{C, sd}$, o perfil atende.

Para a tração - 12,203 KN

$$N_{C, Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{al}$$

$$N_{C, Rd} = 4,58 \cdot 25 / 1,10 = 104,09 \text{ KN}$$

Como $N_{C, Rd} > N_{C, sd}$, o perfil atende.

Montante

As barras mais solicitadas: 4-16 e 6-17.

Esforço máximo de compressão é $(N_{C, sd}) = 10,346 \text{ KN}$.

Comprimento: 1,90m

A barra mais solicitada: 8-13.

Esforço máximo de tração é $(N_{C, sd}) = 4,170 \text{ KN}$.

Comprimento: 0,90m

Para $N_{C, sd} = 10,346 \text{ KN}$ - compressão

Adotando o perfil de cantoneiras de abas iguais **3,175 x 2,20 kg/m**.

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 190 / 0,97 = 195,88 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 0,45 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 12,73$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 3,175 / 0,476 = 6,67$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 2,50) / (1 \cdot 190)^2$$

$$N_e = 13,67 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 2,77 \cdot 25 / 13,67)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 2,25$$

Como $\lambda_0 > 1,5$ temos que:

$$X = 0,877 / \lambda_0^2$$

$$X = 17$$

Assim,

$$N_{C, Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{al}$$

$$N_{C, Rd} = 0,17 \cdot 1 \cdot 2,77 \cdot 25 / 1,1 = 10,70 \text{ KN}$$

Como $N_{C, Rd} > N_{C, sd}$, o perfil atende.

Para a tração:

$$N_{c, Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{al}$$

$$N_{c, Rd} = 2,77 \cdot 25 / 1,10 = 62,95 \text{ KN}$$

Como $N_{C, Rd} > N_{C, sd}$, o perfil atende.

Quadro Resumo	
Banzo inferior	2L 1,905 x 1,74 kg/m
Banzo superior	2L 3,81 x 3,66 Kg/m
Diagonais	L 5,08 x 3,63Kg/m
Montante	L 3,175 x 2,20 kg/m

Total de aço consumido para uma tesoura será de:

Banzo inferior: 12 metros de comprimento x 1,74 = 20,88 kg

Banzo superior: 12,64 metros de comprimento x 3,66 = 46,2624 kg

Diagonais: 18,1 metros de comprimento x 3,63 = 65,703 kg

Montante: 11,6 metros de comprimento x 2,20 = 25,52 Kg

Total de aço consumido = 158,37 Kg.

CÁLCULO DA COBERTURA EM DUAS ÁGUAS PARALELAS

Para a Cobertura em duas águas paralelas será utilizadas os mesmos valores calculados para a cobertura duas águas.

Assim temos que a geometria utilizada segue abaixo:

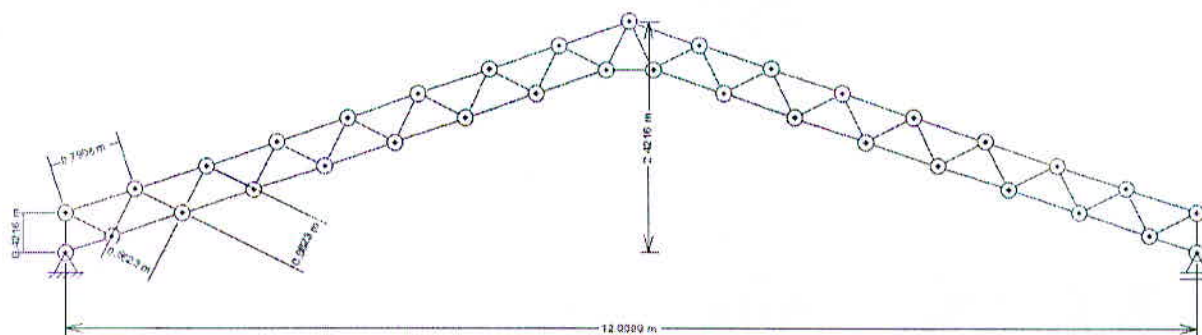


Figura 42: Geometria da tesoura.

Segundo Souza (2006), o ângulo ideal da inclinação entre as diagonais e o banzos é de 45° . Mas nos casos de treliças as treliças com pequenas distâncias entre os banzos, o ângulo ideal é menor que 45° . A altura adotada será a mesma do arco, assim $h = 40$ cm.

Assim, o ângulo entre os banzos e as diagonais vale:

$$\text{sen } \theta = 0,40 / 0,40$$

$$\theta = 45^\circ$$

Carregamento

O carregamento é o mesmo calculado para a cobertura duas águas, assim temos que:

Peso Próprio

$$\text{Terça} = 67,50 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Treliça} = 114,10 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Contraventamentos mais correntes} = 10,00 \text{ N/m}^2$$

$$\text{PP estrutura} = 191,60 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Telhas} = 109 \text{ N/m}^2$$

$$\text{PP total} = 300,6 \text{ N/m}^2$$

Assim,

$$P_1 = 300,6 \cdot 0,7906 \cdot 6 = 1425,93 \text{ N}$$

$$P_2 = 300,6 \cdot 0,7906 \cdot 6 / 2 = 712,96 \text{ N}$$

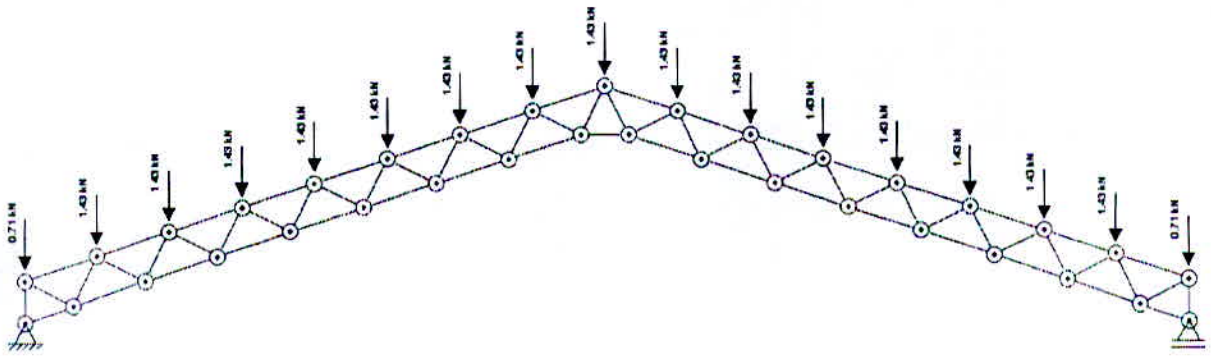
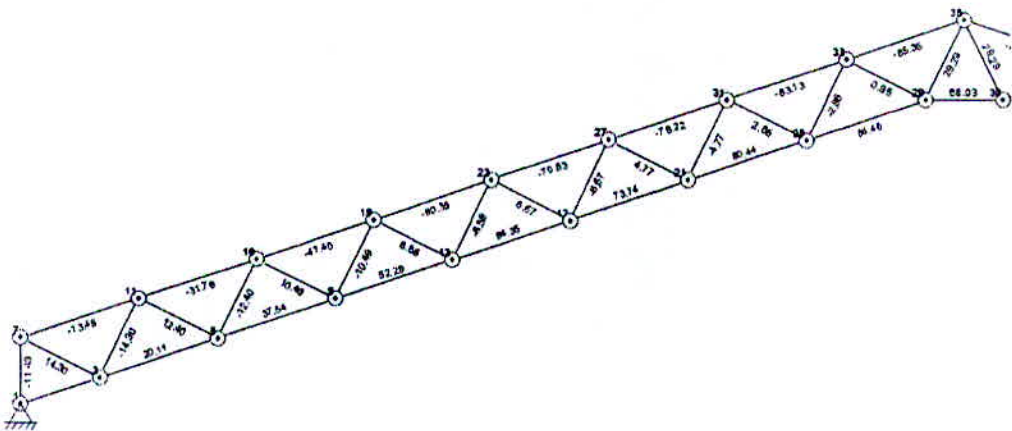


Figura 43: Cargas atuantes (PP).

Resultados Obtidos em KN:



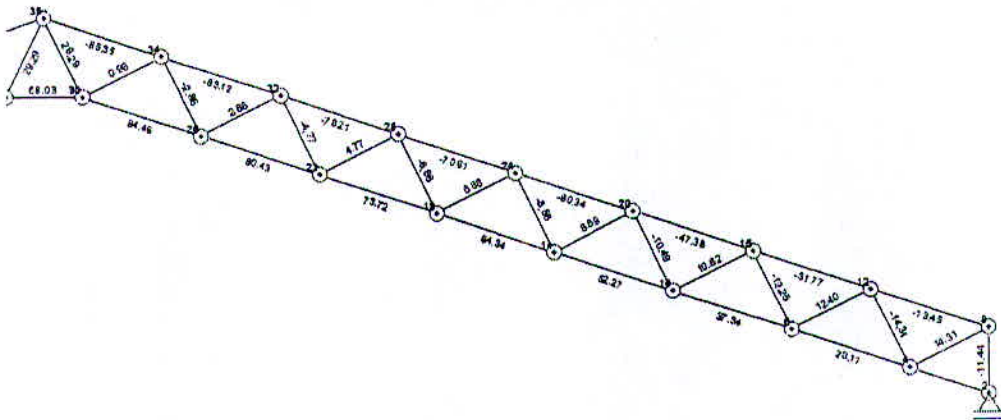


Figura 44: Forças axiais Programa Ftool.

Sobrecarga

Segundo a NBR 8800- 2008, é:

$$SC = 250 \text{ N/m}^2$$

$$SC_1 = 250 \cdot 0,7906 \cdot 6 = 1155,9 \text{ N}$$

$$SC_2 = 250 \cdot 0,7906 \cdot 6 / 2 = 592,95 \text{ N}$$

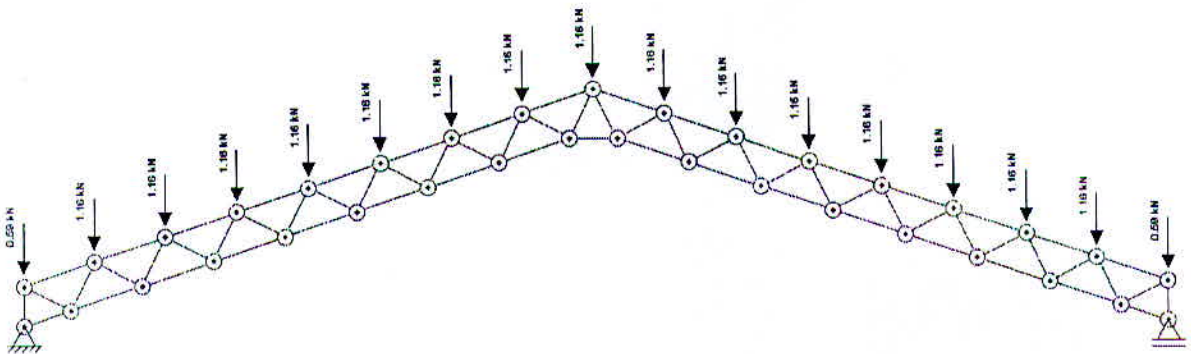
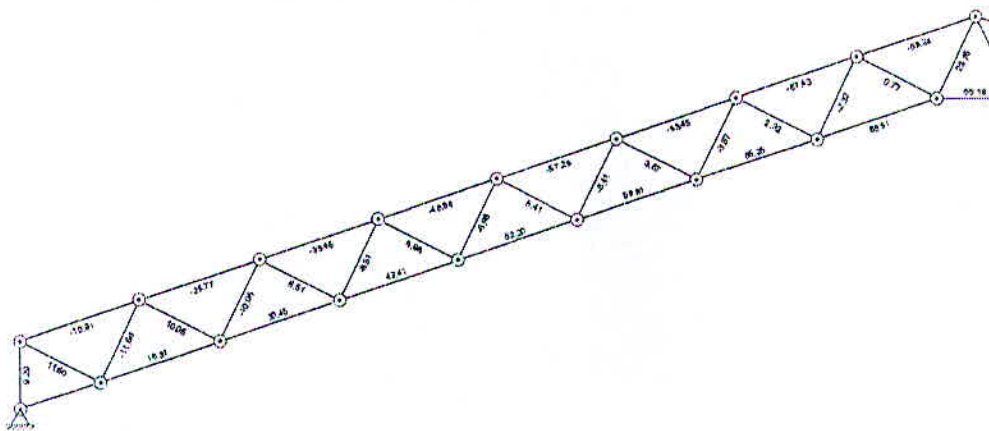


Figura 45: Cargas atuantes (SC).

Resultados obtidos, através do programa Ftool:



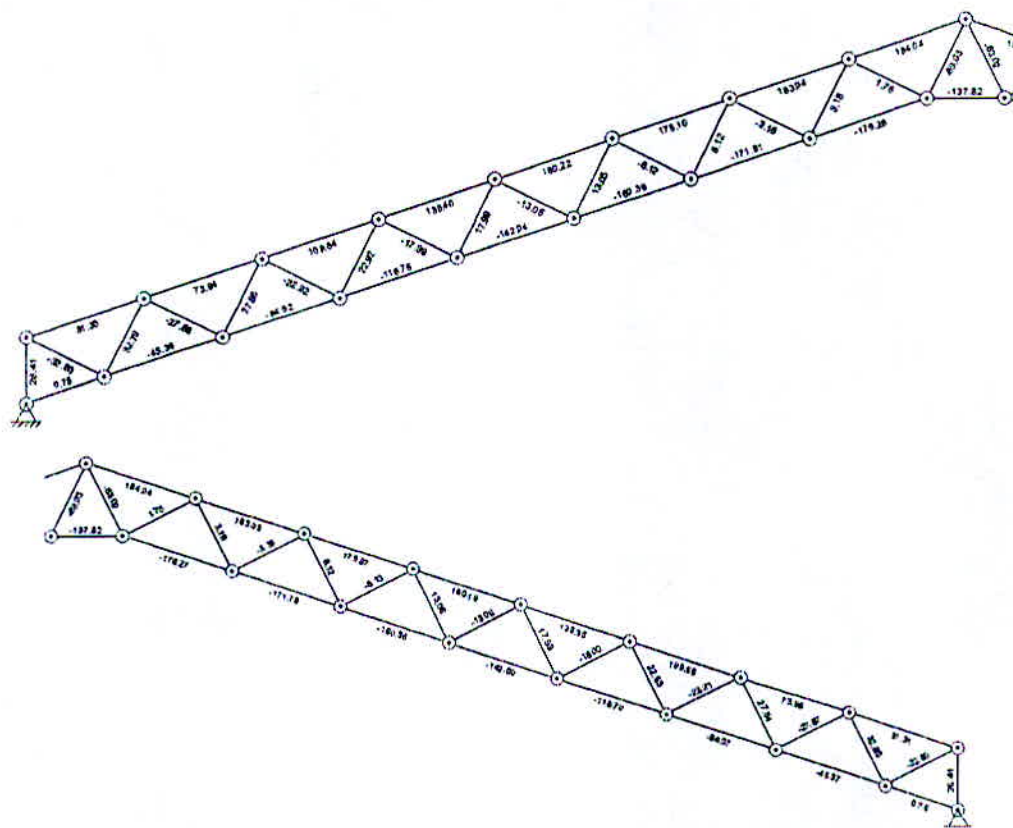


Figura 48: Forças axial Programa Ftool.

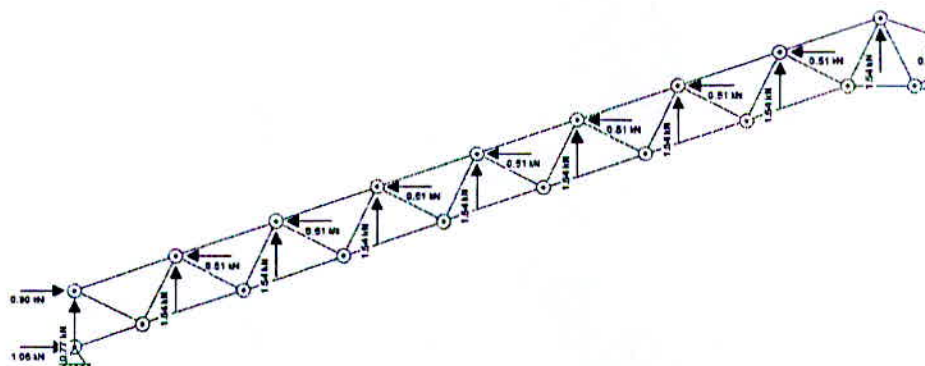
Vento 0° – $C_{pi} = -0,30$

$$q_{1y} = 1,54 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 0,77 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,51 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,26 \text{ kN}$$



$$q_{1y} = 2,14 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,72 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 1,07 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,36 \text{ kN}$$

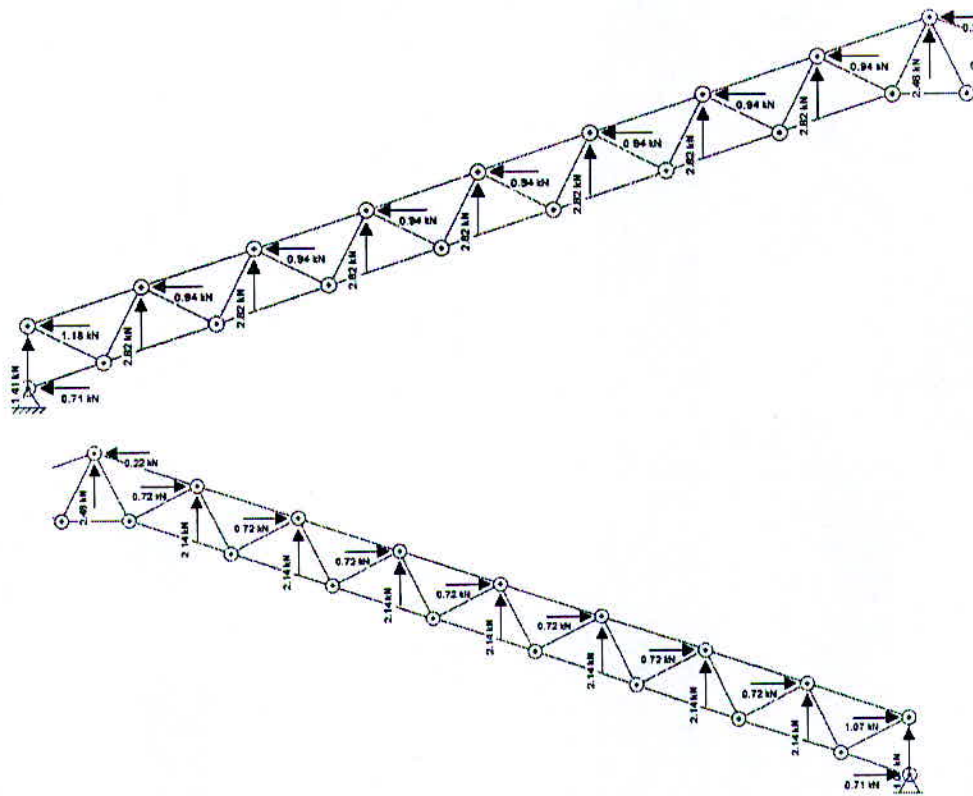


Figura 51: Cargas atuantes (Vento).

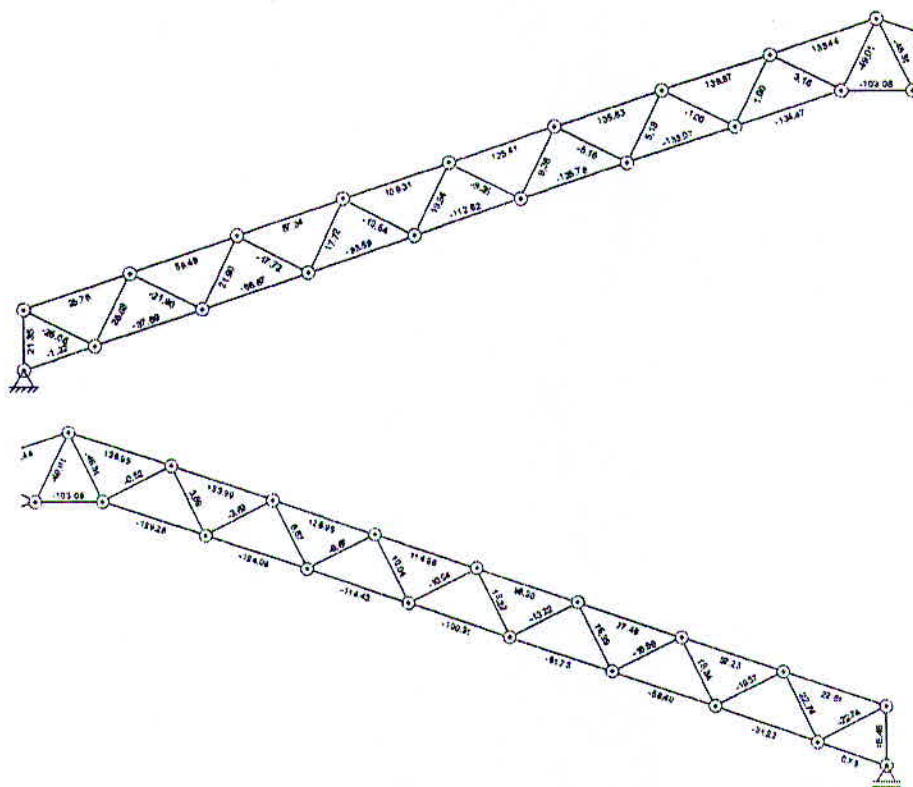


Figura 52: Forças axial Programa Ftool.

Vento 90° – Cpi = -0,30

Para o lado esquerdo

$$q_{1y} = 1,03 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 0,52 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,35 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,17 \text{ kN}$$

Para o lado direito

$$q_{1y} = 0,35 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 0,18 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,12 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,06 \text{ kN}$$

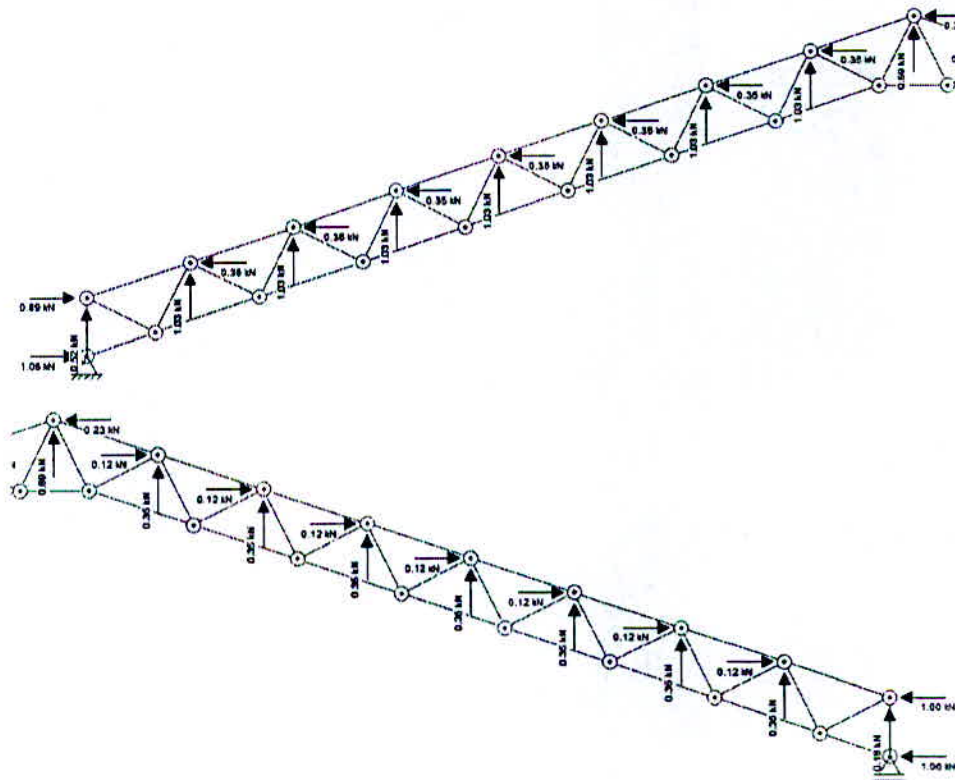


Figura 53: Cargas atuantes (Vento).

As forças axiais foram obtidas através do programa Ftool, logo:

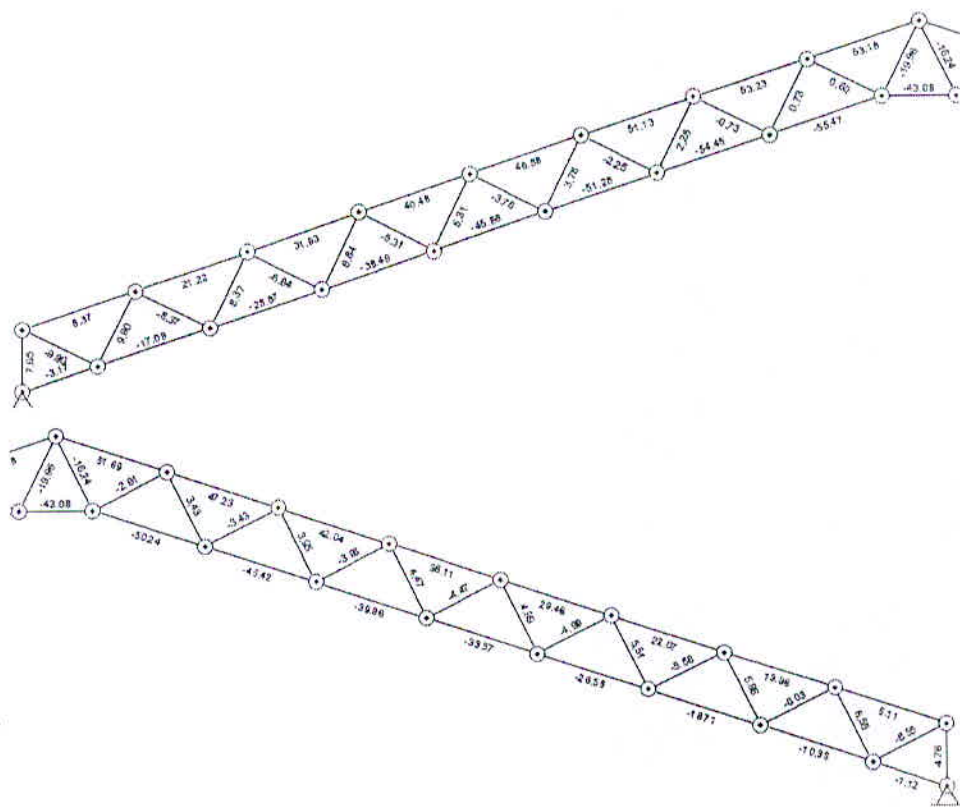


Figura 54: Forças axial Programa Ftool.

Combinação

As combinações foram realizadas de acordo com a NBR 8800/2008, e idem a cobertura em duas águas.

Temos que os esforços máximos e mínimos do banzo superior e inferior, das diagonais e dos montantes foram realizados através do programa excell e os resultados estão apresentadas abaixo.

Barras	PP	Sobrecarga	Ventos		Combinação 1 (PP + SC)	Combinação 2 (PP + SC + V1)	Combinação 3 (PP + V1 + SC)	Combinação 4 (PP + SC + V2)	Combinação 5 (PP + V2 + SC)	Esforço máximo	Esforço mínimo
			V1	V2							
			0° - cpl = 0,30	00° - cpl = 0,20							
1-3	0,000	0,000	-1,120	0,750	0,000	-0,941	-1,568	0,630	1,050	1,050	-1,568
3-6	20,110	16,310	-23,940	-45,360	48,977	22,834	9,428	4,842	-20,560	48,977	-20,560
5-9	37,540	30,450	-43,560	-84,520	91,432	43,588	19,200	9,173	-38,158	91,432	-38,158
9-13	52,290	42,410	-59,960	-116,750	127,351	61,298	27,720	13,594	-51,786	127,351	-51,786
13-17	64,350	52,200	-73,160	-142,040	156,735	75,976	35,006	18,116	-61,426	156,735	-61,426
17-21	73,740	59,810	-83,150	-160,390	179,596	87,628	41,064	22,746	-67,072	179,596	-67,072
21-25	80,440	65,250	-89,940	-171,820	195,922	96,240	45,874	27,461	-68,758	195,922	-68,758
25-29	84,460	68,510	-93,520	-176,280	205,712	101,817	49,446	32,299	-66,418	205,712	-66,418
29-30	68,030	55,180	-74,440	-137,280	165,691	82,752	41,066	29,967	-46,910	165,691	-46,910
30-26	84,460	68,510	-93,510	-176,280	205,712	101,826	49,460	32,299	-66,418	205,712	-66,418
26-22	80,440	65,250	-89,930	-171,820	195,922	96,249	45,888	27,461	-68,758	195,922	-68,758
22-18	73,740	59,810	-83,140	-160,390	179,596	87,636	41,078	22,746	-67,072	179,596	-67,072
18-14	64,350	52,200	-73,140	-142,000	156,735	75,992	35,034	18,150	-61,370	156,735	-61,370
14-10	52,290	42,410	-59,930	-116,750	127,351	61,323	27,762	13,594	-51,786	127,351	-51,786
10-6	37,540	30,450	-43,330	-84,070	91,432	43,773	19,508	9,551	-37,528	91,432	-37,528
6-4	20,110	16,310	-23,940	-45,360	48,977	22,834	9,428	4,842	-20,560	48,977	-20,560
4-2	0,000	0,000	-1,120	0,750	0,000	-0,941	-1,568	0,630	1,050	1,050	-1,568

Barras	PP	Esforço mínimo	Esforço máximo	Comprimento	Esforço mínimo	Esforço máximo	Comprimento	Esforço mínimo	Esforço máximo	Comprimento	Esforço mínimo	Esforço máximo
7-0-11	-13,450	-10,910	14,420	31,300	-32,759	-16,611	-8,536	-2,432	15,096	15,096	-32,759	
11-16-0	-31,760	-25,770	35,630	73,940	-77,366	-37,909	-17,956	-5,728	35,678	35,678	-77,366	
16-19	-47,400	-38,450	53,640	109,640	-115,450	-56,172	-26,134	-9,132	52,266	52,266	-115,450	
19-23	-60,350	-48,960	68,440	138,400	-146,999	-71,404	-33,078	-12,638	64,866	64,866	-146,999	
23-27	-70,630	-57,290	80,030	160,220	-172,025	-83,611	-38,794	-16,251	73,472	73,472	-172,025	
27-31	-78,220	-63,450	88,420	176,100	-190,516	-92,777	-43,262	-19,966	78,090	78,090	-190,516	
31-33	-83,130	-67,430	93,590	183,040	-202,471	-98,916	-46,506	-23,778	78,724	78,724	-202,471	
33-35	-85,350	-69,240	95,570	184,040	-207,891	-102,007	-48,488	-27,692	75,370	75,370	-207,891	
35-34	-85,350	-69,240	95,570	184,040	-207,891	-102,007	-48,488	-27,692	75,370	75,370	-207,891	
34-32	-83,130	-67,430	93,590	183,030	-202,471	-98,916	-46,506	-23,787	78,710	78,710	-202,471	
32-28	-78,220	-63,450	88,420	176,070	-190,516	-92,777	-43,262	-19,991	78,048	78,048	-190,516	
28-24	-70,630	-57,290	80,030	160,180	-172,025	-83,611	-38,794	-16,285	73,416	73,416	-172,025	
24-20	-60,350	-48,960	68,440	138,350	-146,999	-71,404	-33,078	-12,680	64,796	64,796	-146,999	
20-15	-47,400	-38,450	53,640	109,580	-115,450	-56,172	-26,134	-9,183	52,182	52,182	-115,450	
15-12-0	-31,760	-25,770	35,630	73,960	-77,366	-37,909	-17,956	-5,712	35,706	35,706	-77,366	
12-8-0	-13,450	-10,910	14,420	31,310	-32,759	-16,611	-8,536	-2,424	15,110	15,110	-32,759	

Barras	PP	Esforço mínimo	Esforço máximo	Comprimento	Esforço mínimo	Esforço máximo	Comprimento	Esforço mínimo	Esforço máximo	Comprimento	Esforço mínimo	Esforço máximo
7-3	14,300	11,600	-16,230	-32,600	34,830	16,907	7,818	3,156	-15,100	34,830	-15,100	
3-11	-14,300	-11,600	16,230	32,790	-34,830	-16,907	-7,818	-2,996	15,366	15,366	-34,830	
11-5	12,400	10,060	-13,950	-27,860	30,204	14,766	6,954	3,082	-12,520	30,204	-12,520	
5-16	-12,400	-10,060	13,950	27,860	-30,204	-14,766	-6,954	-3,082	12,520	12,520	-30,204	
16-9	10,490	8,610	-11,670	-22,920	25,551	12,601	6,066	3,151	-9,684	25,551	-9,684	
9-19	-10,490	-8,610	11,670	22,920	-25,551	-12,601	-6,066	-3,151	9,684	9,684	-25,551	
19-13	8,580	6,960	-9,390	-17,990	20,898	10,436	5,178	3,212	-6,862	20,898	-6,862	
13-23	-8,580	-6,960	9,390	17,990	-20,898	-10,436	-5,178	-3,212	6,862	6,862	-20,898	
23-17	6,670	5,410	-7,110	-13,050	16,245	8,272	4,290	3,282	-4,026	16,245	-4,026	
17-27	-6,670	-5,410	7,110	13,050	-16,245	-8,272	-4,290	-3,282	4,026	4,026	-16,245	
27-21	4,770	3,870	-4,830	-8,120	11,619	6,131	3,426	3,367	-1,180	11,619	-1,180	
21-31	-4,770	-3,870	4,830	8,120	-11,619	-6,131	-3,426	-3,367	1,180	1,180	-11,619	
31-25	2,860	2,320	-2,550	-3,180	6,966	3,966	2,538	3,437	1,656	6,966	1,656	
25-33	-2,860	-2,320	2,550	3,180	-6,966	-3,966	-2,538	-3,437	-1,656	-1,656	-6,966	
33-29	0,950	0,770	-0,270	1,750	2,313	1,801	1,650	3,498	4,478	4,478	1,650	
29-35	29,290	23,760	-32,830	-63,030	71,341	34,977	16,592	9,609	-25,688	71,341	-25,688	
35-30	-29,290	-23,760	32,830	63,020	-71,341	-34,977	-16,592	-9,617	25,674	71,341	-25,674	
30-34	0,950	0,770	-0,270	1,750	2,313	1,801	1,650	3,498	4,478	4,478	1,650	
34-26	-2,860	-2,320	2,550	3,190	-6,966	-3,966	-2,538	-3,428	-1,642	-1,642	-6,966	
26-32	2,860	2,320	-2,550	-3,190	6,966	3,966	2,538	3,428	1,642	1,642	6,966	
32-22	-4,770	-3,870	4,830	8,120	-11,619	-6,131	-3,426	-3,367	1,180	1,180	-11,619	

22-28	4,770	3,870	-4,830	-8,130	11,619	6,131	3,426	3,359	-1,194	11,619	-1,194	
28-18	-6,680	-5,410	7,110	13,060	-16,258	-8,282	-4,300	-3,284	4,030	4,030	-16,258	
18-24	6,680	5,410	-7,110	-13,060	16,258	8,282	4,300	3,284	-4,030	16,258	-4,030	
24-14	-6,680	-6,960	9,390	17,990	-18,428	-8,536	-3,278	-1,312	8,762	8,762	-18,428	
14-20	6,680	6,890	-9,390	-18,000	18,050	8,158	2,900	0,926	-9,154	18,050	-9,154	
20-10	-10,490	-8,610	11,670	22,630	-25,551	-12,601	-6,066	-3,396	9,278	9,278	-25,551	
10-15	10,620	8,610	-11,670	-23,210	25,860	12,871	6,336	3,178	-9,820	25,860	-9,820	
15-6	-12,260	-9,940	13,950	27,540	-29,841	-14,448	-6,636	-3,032	12,390	12,390	-29,841	
6-12	12,400	10,060	-13,950	-27,870	30,204	14,766	6,954	3,073	-12,534	30,204	-12,534	
12-4	-14,310	-11,610	16,230	32,800	-34,857	-16,931	-7,842	-3,012	15,356	15,356	-34,857	
4-8	14,310	11,610	-16,230	-32,800	34,857	16,931	7,842	3,012	-15,356	34,857	-15,356	
1-7	-10,430	-9,290	12,670	26,410	-26,565	-12,793	-6,698	-1,252	13,538	13,538	-26,565	
2-8	11,440	9,290	-12,670	-26,410	27,870	13,803	6,708	2,262	-12,528	27,870	-27,870	
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

Dimensionamento das barras

Banzo inferior

Barras com maiores solicitações: 22-18 = 17-21

Esforço máximo: 67,072 KN – compressão

Comprimento das barras: 79,06 cm

Barras com maiores solicitações: 30-26 = 25-29

Esforço máximo: 205,712 KN – tração

Comprimento das barras: 79,06 cm

Para a tração, temos que o estado limite de escoamento da seção bruta é dado por:

$$N_{c, Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

Fazendo

$$N_{c, Rd} = 205,712 = A_g \cdot 25 / 1,10$$

$$A_g = 9,05 \text{ cm}^2$$

Adotando o perfil cantoneira dupla de águas iguais 2L 5,08 x 7,26 kg/m.

Assim,

$$N_{c, Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{c, Rd} = 9,16 \cdot 25 / 1,10 = 208,18 \text{ KN}$$

Como $N_{t, Rd} > N_{t, Sd}$, o perfil atende.

Para o esforço de compressão máximo temos 67,072 KN. Será dotado o mesmo perfil.

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 79,06 / 1,58 = 50,04 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 15,84$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 5,08 / 0,476 = 6,67$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 23,40) / (1 \cdot 79,06)^2$$

$$N_e = 738,98 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 9,16 \cdot 25 / 738,98)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 0,56$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658^{\lambda_{0,2}}$$

$$X = 0,88$$

Assim,

$$N_{C,Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{al}$$

$$N_{C,Rd} = 0,88 \cdot 1 \cdot 9,16 \cdot 25 / 1,1 = 183,20 \text{ KN}$$

Como $N_{C,Rd} > N_{C,Ed}$, o perfil atende.

Banzo superior

Barras com maiores solicitações: 33-35 e 35-34

Esforço máximo: 207,891 KN – compressão

Comprimento das barras: 79,06 cm

Barra com maior solicitação: 31-33

Esforço máximo: 78,724 KN – tração

Comprimento das barras: 79,06 cm

Será adotando o perfil 2L 6,35 x 9,14 Kg/m

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 79,06 / 1,98 = 39,93 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (200 \cdot 1000 / 250)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 15,84$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 6,35 / 0,476 = 13,34$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 46) / (1 \cdot 79,06)^2$$

$$N_e = 1452,69 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 11,60 \cdot 25 / 1452,69)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 0,45$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$X = 0,92$$

Assim,

$$N_{C,Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{C,Rd} = 0,92 \cdot 1 \cdot 11,60 \cdot 25 / 1,1 = 242,55 \text{ KN}$$

Como $N_{C,Rd} > N_{C,sd}$, o perfil atende.

Para a tração teremos:

$$N_{c,Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{c,Rd} = 11,60 \cdot 25 / 1,10 = 263,64 \text{ KN}$$

Como $N_{c,Rd} > N_{t,sd}$, o perfil atende.

Diagonal

Barras com maiores solicitações: 12-4 e 3-11

Esforço máximo: 34,857 KN – compressão

Comprimento das barras: 56,23 cm

Barras com maiores solicitações: 29-35 e 35-30

Esforço máximo: 71,341 KN – tração

Comprimento das barras: 56,23 cm

Adotando o perfil de cantoneiras de abas iguais 3,81 x 2,68 kg/m.

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 56,23 / 1,60 = 35,14 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 0,45 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 0,45 \cdot (200 \cdot 1000 / 250)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 12,73$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 3,81 / 0,476 = 8,00$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 4,58) / (1 \cdot 56,53)^2$$

$$N_e = 285,93 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 3,42 \cdot 25 / 285,93)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 0,55$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$X = 0,88$$

Assim,

$$N_{C,Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{C,Rd} = 0,88 \cdot 1 \cdot 3,42 \cdot 25 / 1,1 = 68,40 \text{ KN}$$

Como $N_{C,Rd} > N_{C,sd}$, o perfil atende.

Tração:

O estado limite de escoamento da seção bruta é dado por:

$$N_{c,Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{c,Rd} = 3,42 \cdot 25 / 1,10 = 77,73 \text{ KN}$$

Como $N_{C,Rd} > N_{C,sd}$, o perfil atende.

Montante

Barra com maior solicitação: 2-8

Esforço máximo: 27,878 KN – compressão

Comprimento da barra: 40 cm

Barras com maiores solicitações: 1-7

Esforço máximo: 13,538 KN – tração

Comprimento das barras: 40 cm

Adotando o perfil de cantoneiras de abas iguais 2,54 x 1,19 kg/m.

$$\lambda = K \cdot L / r$$

$$\lambda = 1 \cdot 40 / 0,79 = 50,63 < 200, \text{ o perfil atende.}$$

Temos que segundo o anexo F da NBR 8800:

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 0,56 \cdot (200 \cdot 1000 / 250)^{1/2}$$

$$b / t_{Lim} = 15,84$$

Onde $b / t = b_f / t_f = 2,54 / 0,317 = 8,01$

Logo $b / t < b / t_{Lim}$, portanto o fator de redução total – Q – é igual a 1,0.

Assim,

$$N_e = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (K \cdot L)^2$$

$$N_e = (\pi^2 \cdot 20000 \cdot 0,83) / (1 \cdot 40)^2$$

$$N_e = 102,40 \text{ KN}$$

Onde

$$\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y / N_e)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = (1 \cdot 1,48 \cdot 25 / 102,40)^{1/2}$$

$$\lambda_0 = 0,60$$

Como $\lambda_0 < 1,5$ temos que:

$$X = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$X = 0,86$$

Assim,

$$N_{C, Rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{C, Rd} = 0,86 \cdot 1 \cdot 1,48 \cdot 25 / 1,1 = 28,93 \text{ KN}$$

Como $N_{C, Rd} > N_{C, sd}$, o perfil atende.

Tração:

O estado limite de escoamento da seção bruta é dado por:

$$N_{c, Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$N_{c, Rd} = 1,48 \cdot 25 / 1,10 = 33,64 \text{ KN}$$

Como $N_{C, Rd} > N_{C, sd}$, o perfil atende.

Quadro Resumo	
Banzo inferior	2L 5,08 x 7,26 kg/m

Banzo superior	2L 6,35 x 9,14 Kg/m
Diagonais	L 3,81 x 2,68 kg/m
Montante	L 2,54 x 1,19 kg/m

O total de aço consumido para uma tesoura será de:

Banzo inferior: 12,622 metros de comprimento x 7,26 = 91,6357 kg

Banzo superior: 12,65 metros de comprimento x 9,14 = 115,621 kg

Diagonais: 18 metros de comprimento x 2,68 = 48,24 kg

Montante: 0,80 metros de comprimento x 1,19 = 0,952 Kg

Total de aço consumido = 256,45 Kg

CÁLCULO DA COBERTURA EM ALMA CHEIA

Para o cálculo da cobertura em alma cheia será levado em consideração que será utilizada a mesma terça para todos.

A geometria utilizada nas tesouras segue em abaixo.



Figura 55: Geometria tesoura.

Carregamento

Terças

Na terça será dotado o perfil C de 4": 10,16cm x 10,80kg/m.

Assim

$$PP_{\text{terça}} = 10,80 \cdot 10 / 1,6$$

$$PP_{\text{terça}} = 67,5 \text{ N/m}^2$$

Treliça

Uma estimativa do peso próprio da treliça é dada pela fórmula de Pratt:

$$PP_{\text{treliça}} = 2,3 \cdot (1 + 0,33 \cdot L)$$

$$PP_{\text{treliça}} = 2,3 \cdot (1 + 0,33 \cdot 12)$$

$$PP_{\text{treliça}} = 11,41 \text{ kgf/m}^2$$

$$PP_{\text{treliça}} = 114,10 \text{ N/m}^2$$

Logo, teremos

$$\text{Terça} = 67,50 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Treliça} = 114,10 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Contraventamentos mais correntes} = 10,00 \text{ N/m}^2$$

$$\text{PP estrutura} = 191,60 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Telhas} = 109 \text{ N/m}^2$$

$$\text{PP total} = 300,6 \text{ N/m}^2$$

Assim,

$$P_1 = 300,6 \cdot 1,581 \cdot 6 = 2851,49 \text{ N}$$

$$P_2 = 300,6 \cdot 1,581 \cdot 6 / 2 = 1425,75 \text{ N}$$

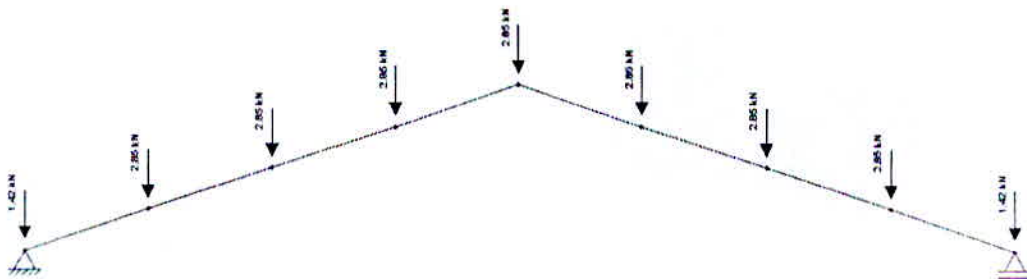


Figura 56: Cargas atuantes (PP).

Para a treliça de alma cheia temos que calcular o momento fletor e a força de cisalhamento, assim temos que:

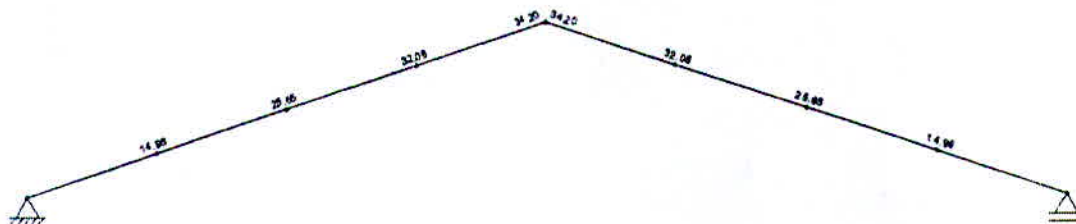


Figura 57: Momento fletor (KNm) - Programa Ftool .

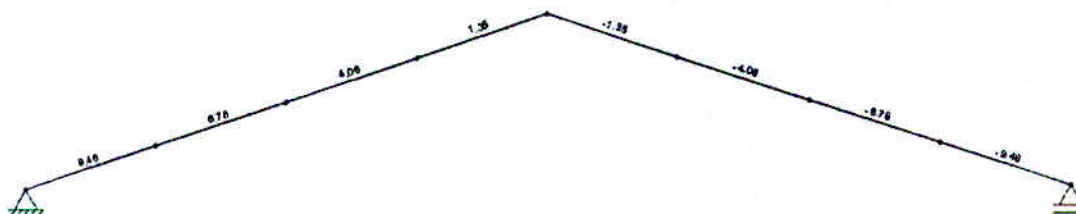


Figura 58: Força de cisalhamento (KN) - Programa Ftool

Sobrecarga

Segundo a NBR 8800- 2008, é:

$$SC = 250 \text{ N/m}^2$$

$$SC_1 = 250 \cdot 1,581 \cdot 6 = 2,37 \text{ KN}$$

$$SC_2 = 250 \cdot 1,581 \cdot 6 / 2 = 1,19 \text{ KN}$$

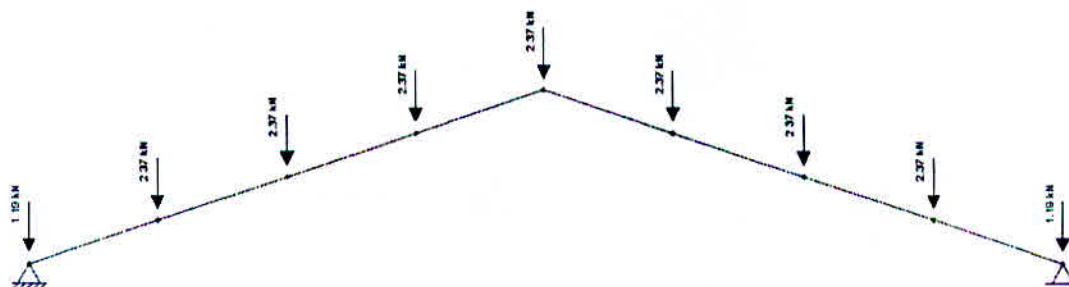


Figura 59: Cargas atuantes (SC).

Resultados obtidos, através do programa Ftool:



Figura 60: Momento fletor (KNm) - Programa Ftool.

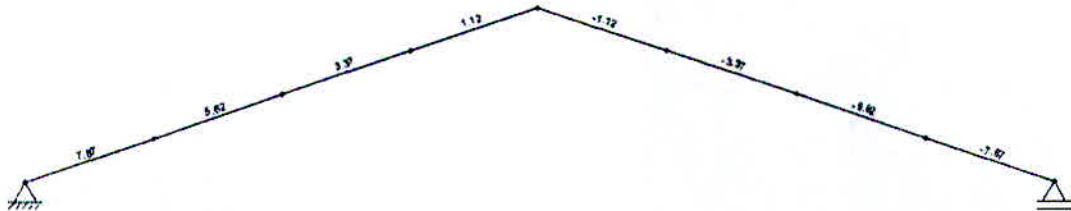


Figura 61: Força de cisalhamento (KN) - Programa Ftool

Vento

De acordo com os cálculos temos que, para:

Vento 0° – Cpi = 0,20

$q_{1y} = 3,33 \text{ kN}$ $q_{2y} = 1,67 \text{ kN}$

$q_{1x} = 1,11 \text{ kN}$ $q_{2x} = 0,55 \text{ kN}$

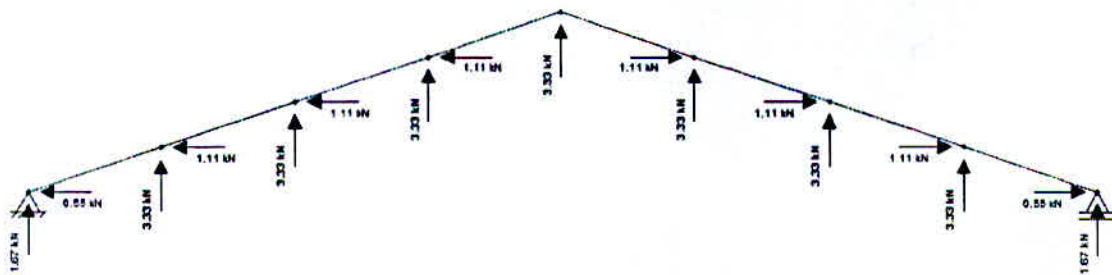


Figura 62: Cargas atuantes (Vento).

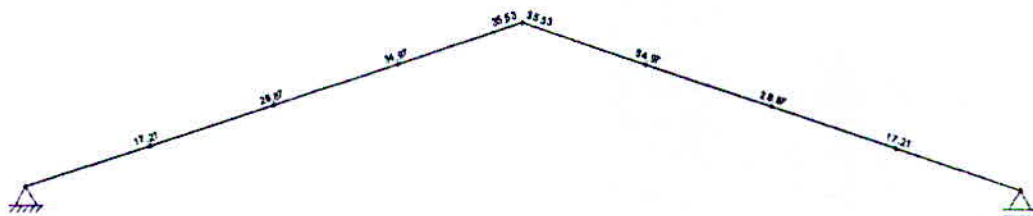


Figura 63: Momento fletor (KNm) - Programa Ftool.

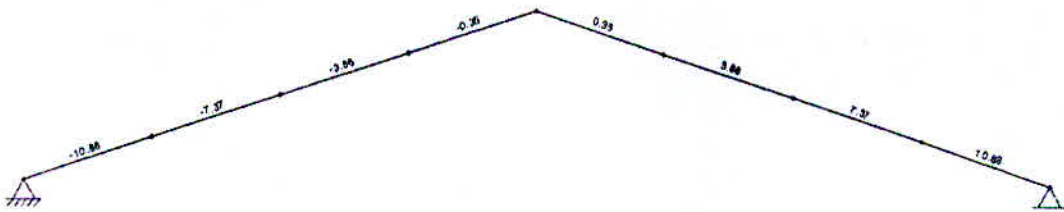


Figura 64: Força de cisalhamento (KN) - Programa Ftool

Vento 0° – Cpi = -0,30

$$q_{1y} = 1,54 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 0,77 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,51 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,26 \text{ kN}$$

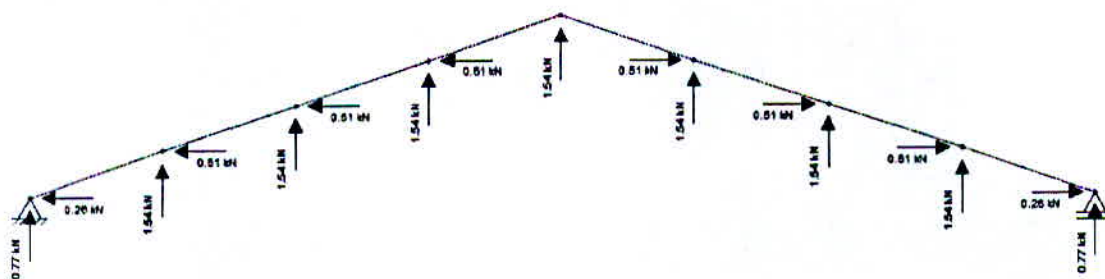


Figura 65: Cargas atuantes (Vento).

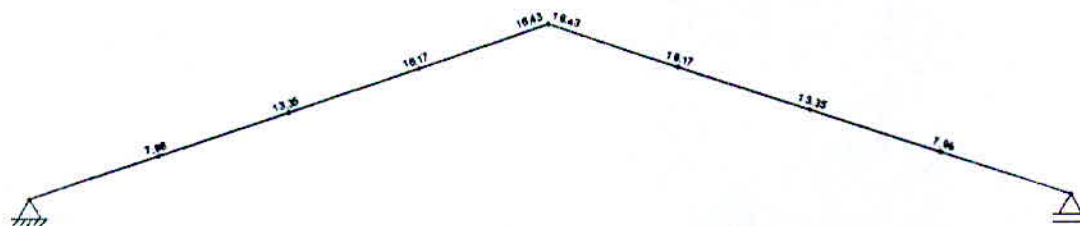


Figura 66: Momento fletor (KNm) - Programa Ftool.

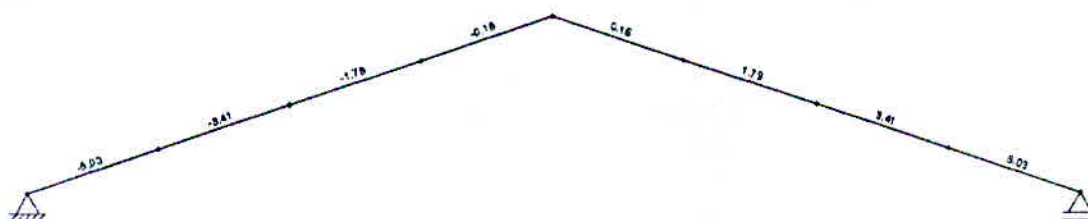


Figura 67: Força de cisalhamento (KN) - Programa Ftool

Vento 90° - $C_{pi} = 0,20$

Para o lado esquerdo

$$q_{1y} = 2,82 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 1,41 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,94 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,47 \text{ kN}$$

Para o lado direito

$$q_{1y} = 2,14 \text{ kN}$$

$$q_{2y} = 1,07 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,72 \text{ kN}$$

$$q_{2x} = 0,36 \text{ kN}$$

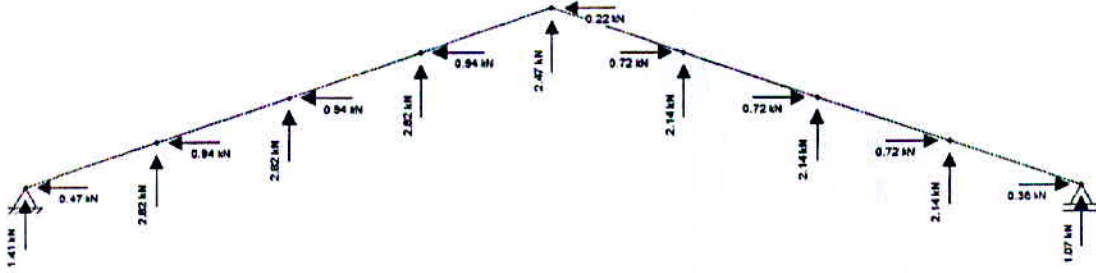


Figura 68: Cargas atuantes (Vento).

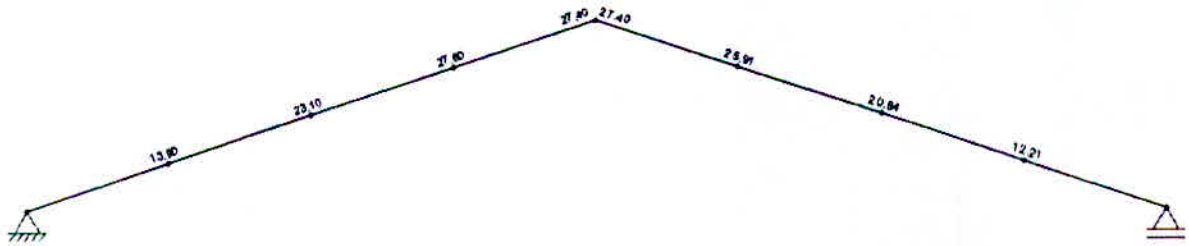


Figura 69: Momento fletor (KNm) - Programa Ftool.

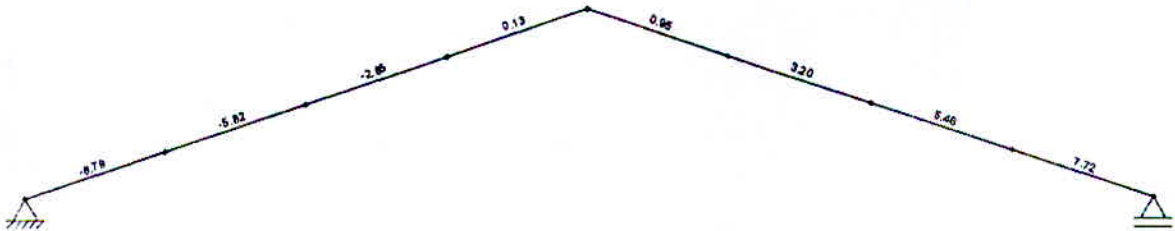


Figura 70: Força de cisalhamento (KN) - Programa Ftool

Vento 90° - $C_{pi} = -0,30$

Para o lado esquerdo

$$q_{1y} = 1,03 \text{ kN} \quad q_{2y} = 0,52 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,35 \text{ kN} \quad q_{2x} = 0,17 \text{ kN}$$

Para o lado direito

$$q_{1y} = 0,35 \text{ kN} \quad q_{2y} = 0,18 \text{ kN}$$

$$q_{1x} = 0,12 \text{ kN} \quad q_{2x} = 0,06 \text{ kN}$$

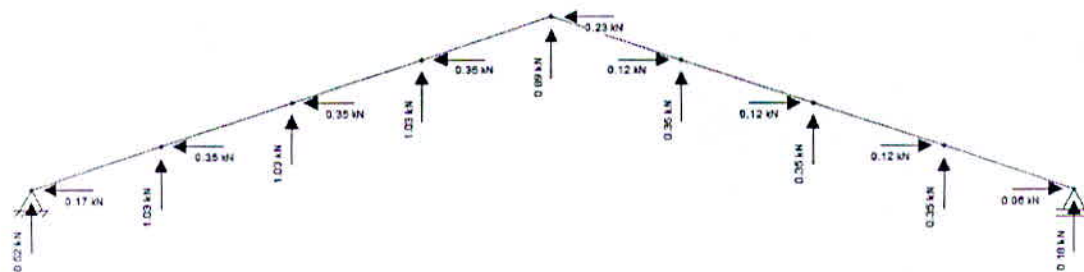


Figura 71: Cargas atuantes (Vento).



Figura 72: Momento fletor (KNm) - Programa Ftool.

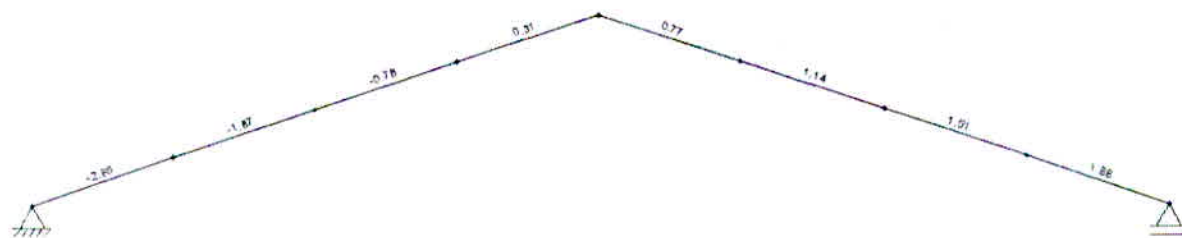


Figura 73: Força de cisalhamento (KN) - Programa Ftool

Combinação

As combinações das ações foram realizados através do programa excell e os resultados estão apresentadas abaixo.

Para os momentos fletores, temos as seguintes tabelas, para vento 0°, tabela 8.1 e vento 90° tabela 8.2. Para as forças de cisalhamento a tabela 8.3 e a tabela 8.4.

Barras	PP	Sobrecarga	Ventos		Combinação 1 (PP + SC)	Combinação 2 (PP + SC + V1)	Combinação 3 (PP + V1 + SC)	Combinação 4 (PP + SC + V2)	Combinação 5 (PP + V2 + SC)	Esforço máximo	Esforço mínimo
			0° epi = 0,30	90° epi = 0,30							
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	14,960	12,440	7,960	17,210	36,864	39,062	43,520	46,832	56,470	56,470	36,864
5	25,650	21,330	13,350	28,870	63,207	66,726	74,202	79,763	95,930	95,930	63,207
7	32,060	26,660	16,170	34,970	79,002	82,967	92,022	98,759	118,342	118,342	79,002
9	34,200	28,440	16,430	35,530	84,276	87,817	97,018	103,861	123,758	123,758	84,276
8	32,060	26,660	16,170	34,670	79,002	82,967	92,022	98,507	117,922	117,922	79,002
6	32,060	21,330	13,350	28,870	71,540	73,136	80,612	86,173	102,340	102,340	71,540
4	14,960	12,440	7,960	17,210	36,864	39,062	43,520	46,832	56,470	56,470	36,864
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Figura 74: Tabela dos momentos fletores – KN.m

Barras	PP	Sobrecarga	Ventos		Combinação 1 (PP + SC)	Combinação 2 (PP + SC + V1)	Combinação 3 (PP + V1 + SC)	Combinação 4 (PP + SC + V2)	Combinação 5 (PP + V2 + SC)	Esforo máximo	Esforo mínimo
			V1	V2							
			90° cpi = -0,30	90° cpi = 0,20							
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
3	14,960	12,440	4,670	13,900	36,864	36,299	38,914	44,052	51,836	51,836	36,299
5	25,650	21,330	7,630	23,100	63,207	61,921	66,194	74,916	87,852	87,852	61,921
7	32,060	26,660	8,850	27,600	79,002	76,818	81,774	92,568	108,024	108,024	76,818
9	34,200	28,440	8,380	27,400	84,276	81,055	85,748	97,032	112,376	112,376	81,055
8	32,060	26,660	7,160	25,910	79,002	75,398	79,408	91,148	105,668	105,668	75,398
6	32,060	21,330	5,360	20,840	71,540	66,424	69,426	79,428	91,098	91,098	66,424
4	14,960	12,440	2,970	12,210	36,864	34,871	36,534	42,632	49,470	49,470	34,871
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Figura 75: Tabela dos momentos fletores – KN.m

Barras	PP	Sobrecarga	Ventos		Combinação 1 (PP + SC)	Combinação 2 (PP + SC + V1)	Combinação 3 (PP + V1 + SC)	Combinação 4 (PP + SC + V2)	Combinação 5 (PP + V2 + SC)	Esforo máximo	Esforo mínimo
			V1	V2							
			0° cpi = -0,30	0° cpi = 0,20							
1,0-3,0	9,460	7,870	-5,030	-10,880	23,316	16,253	13,436	11,339	5,246	23,316	5,246
3,0-5,0	6,760	5,620	-3,410	-7,370	16,656	11,764	9,854	8,437	4,310	16,656	4,310
5,0-7,0	4,060	3,370	-1,790	-3,860	9,996	7,274	6,272	5,536	3,374	9,996	3,374
7,0-9,0	1,350	1,120	-0,160	-0,350	3,323	2,784	2,694	2,624	2,429	3,323	2,428
9,0-8,0	-1,350	-1,120	0,160	0,350	-3,323	-2,784	-2,694	-2,624	-2,428	-3,323	-2,428
8,0-6,0	-4,060	-3,370	1,790	3,860	-9,996	-7,274	-6,272	-5,536	-3,374	-9,996	-3,374
6,0-4,0	-6,760	-5,620	3,410	7,370	-16,656	-11,764	-9,854	-8,437	-4,310	-16,656	-4,310
4,0-2,0	-9,460	-7,870	5,030	10,880	-23,316	-16,253	-13,436	-11,339	-5,246	-23,316	-5,246

Figura 76 Tabela das forças de cisalhamento – KN

Barras	PP	Sobrecarga	Ventos		Combinação 1 (PP + SC)	Combinação 2 (PP + SC + V1)	Combinação 3 (PP + V1 + SC)	Combinação 4 (PP + SC + V2)	Combinação 5 (PP + V2 + SC)	Esforo máximo	Esforo mínimo
			V1	V2							
			90° cpi = -0,30	90° cpi = 0,20							
1,0-3,0	9,460	7,870	-2,950	-8,790	23,316	18,000	16,348	13,094	8,172	23,316	8,172
3,0-5,0	6,760	5,620	-1,870	-5,820	16,656	13,057	12,010	9,739	6,480	16,656	6,480
5,0-7,0	4,060	3,370	-0,780	-2,850	9,996	8,123	7,686	6,384	4,788	9,996	4,788
7,0-9,0	1,350	1,120	0,310	0,130	3,323	3,178	3,352	3,027	3,100	3,352	3,027
9,0-8,0	-1,350	-1,120	0,770	0,950	-3,323	-2,271	-1,840	-2,120	-1,588	-3,323	-1,588
8,0-6,0	-4,060	-3,370	1,140	3,200	-9,996	-7,820	-7,182	-6,090	-4,298	-9,996	-4,298
6,0-4,0	-6,760	-5,620	1,510	5,460	-16,656	-13,360	-12,514	-10,042	-6,984	-16,656	-6,984
4,0-2,0	-9,460	-7,870	1,880	7,720	-23,316	-18,899	-17,846	-13,993	-9,670	-23,316	-9,670

Figura 77: Tabela das forças de cisalhamento – KN

Dimensionamento das barras

Para o dimensionamento das barras submetidas à flexão, será utilizada a NRB 8800, 2008. Será verificada a flambagem local da alma, flambagem local da mesa e flambagem lateral com torção.

Para o pré-dimensionamento, temos que o máximo momento fletor é 123,758KN.m (12375,80KN.cm) e a cortante máxima é 23,316 KN. Assim,

$$Z \geq 1,1 \cdot M_d / f_y$$

Onde,

M_d – momento fletor máximo - dimensionamento

f_y – resistência ao escoamento do aço

Z – é o módulo resistente plástico da seção

Sabemos que:

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

Onde

$$M_d = \gamma \cdot M \text{ e } M_{d,res} = M_n / 1,1$$

$$M_{d,res} \geq M_d$$

$$(Z \cdot f_y / 1,1) \geq M_d$$

$$Z \geq 1,1 \cdot M_d / f_y$$

Onde

M_{pl} – é o momento de plastificação

γ - coeficiente de majoração de esforços

M – é o momento atuante

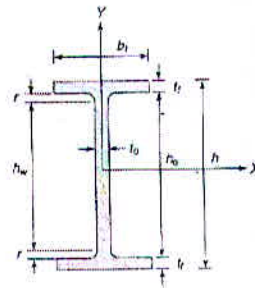
Assim,

$$Z \geq 1,1 \cdot M_d / f_y$$

$$Z \geq 1,1 \cdot 12375,80 / 25$$

$$Z \geq 544,54 \text{ cm}^3$$

Adotando um perfil resistente, temos que, o perfil adotado será W410 x 38,3 kg/m.



Perfil	Massa m	Alt. h	Área A	Alma		Mesa		Eixo X-X				Eixo Y-Y				I	h ₁ /2t ₁	h ₁ /t ₁
				t ₀	t ₁	t _f	t ₂	I _x	W _x	I _y	Z _x	I _y	W _y	I _x	Z _y			
I	kg/m	mm	cm ²	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm ³
W 410 x 38,3	38,3	389	50,3	6,4	381	9,8	140	12777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9	11,7	8,0	55,8
W 410 x 46,1	46,1	403	59,2	7,0	381	11,2	140	15090	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2	20,1	6,3	51,0
W 410 x 53,3	53,3	403	68,4	7,5	381	10,9	177	18734	929,7	16,55	1052	1009	114,0	3,84	176,9	23,4	8,1	47,6
W 410 x 60	60,0	407	76,2	7,7	381	12,8	178	21707	1067,	16,88	1201	1205	135,3	3,98	209,2	33,8	7,0	46,4
W 410 x 67	67,0	410	86,3	8,8	381	14,4	179	24678	1204	16,91	1363	1379	154,1	4,00	239,0	48,1	6,2	40,6
W 410 x 75	75,0	413	95,8	9,7	381	16,0	180	27616	1337	16,98	1519	1559	173,2	4,03	269,1	65,2	5,6	36,8

Verificações

As verificações seguem as normas da NBR 8800, sendo que a determinação de λ - parâmetro de esbeltez, é segundo o anexo G, tabela G1,

Tabela G.1 — Parâmetros referentes ao momento fletor resistente

Tipo 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, flechadas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 1	$\frac{L_b}{r_y}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 1
	FLM	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 6	$\frac{b/t}{r_y}$ Ver Nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Tabela 9.1: Fonte NBR 8800:2008

Nota 6:

$$6) \text{ Para perfis laminados: } M_{cr} = \frac{0,69 E}{\lambda^2} W_c, \quad \lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}}$$

Verificação da flambagem local da alma (FLA)

$$\lambda = h / t_w$$

Temos que h – altura da alma e t_w – espessura da alma.

$$\lambda = 38,1 / 0,64 = 59,53$$

Cálculo do índice de esbeltez limite para seções compactadas (λ_p) e semicompactadas (λ_r).

$$\lambda_p = 3,76 (E / f_y)^{1/2}$$

$$\lambda_p = 3,76 (20000/25)^{1/2} = 106,35$$

$$\lambda_r = 5,70 (E / f_y)^{1/2}$$

$$\lambda_r = 5,70 (20000/25)^{1/2} = 161,22$$

Como $\lambda < \lambda_p$, temos uma seção compactada, logo

$$M_{d,res} = M_n / 1,1$$

Onde $M_n = M_{pl} = Z_x \cdot f_y = 736,8 \cdot 25 = 18420 \text{ kN.cm}$

Assim,

$$M_{d,res} = 18420/1,1 = 16745,45 \text{ kN.cm}$$

Verificação da flambagem local da Mesa (FLM)

Temos que

$$\lambda = b / t$$

Onde b é da largura da mesa e t é a espessura da mesa.

$$\lambda = 14 / 0,88 \cdot 2 = 7,95$$

Sabemos que,

$$\lambda_p = 0,38 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$\lambda_p = 10,75$$

$$\lambda_r = 0,83 (E / f_y - \sigma_r)^{1/2}$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot (20000 / (25 - 0,3 \cdot 25))^{1/2}$$

$$\lambda_r = 28,06$$

Como $\lambda < \lambda_p$, temos uma seção compactada, logo,

$$M_n = M_{pl} = Z_x \cdot f_y = 736,8 \cdot 25 = \mathbf{18420 \text{ kN.cm}}$$

Verificação da flambagem lateral por torção (FLT)

$$\lambda = L_b / r_y$$

$$\lambda = 632,46 / 2,83 = 223,48$$

$$\lambda_p = 1,76 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$\lambda_p = 1,76 \cdot (20000 / 25)^{1/2}$$

$$\lambda_p = 49,78$$

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

Onde,

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W}{E J} \quad C_w = \frac{I_y (d - t_f)^2}{4}$$

Logo,

$$\beta_1 = (25 - 7,5) \cdot 640,5 / 20000 \cdot 11,7 = 0,048 \text{ cm}^{-1}$$

$$C_w = 404 \cdot (39,9 - 0,88)^2 / 4 = 153,78 \cdot 10^3 \text{ cm}^6$$

Assim,

$$\lambda_r = [1,38 \cdot (404 \cdot 11,69)^{1/2} / 2,83 \cdot 11,69 \cdot 0,048] \cdot [1 + (1 + (27 \cdot 153,78 \cdot 10^3 \cdot 0,048^2) / 404)^{1/2}]^{1/2} = 145,72$$

Como, $\lambda > \lambda_r$, então temos que a viga é esbelta quanto à mesa.

Assim,

$$M_n = M_{CR} \leq M_{pl}$$

Onde

$$M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 EI_y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{JL_b^2}{C_w} \right)}$$

$$C_b = [12,5 \cdot M_{\max} / (2,5 \cdot M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C)] \cdot R_m \leq 3,0$$

Onde

M_A – é o valor do momento fletor solicitante de cálculo em módulo, na seção situada a um quarto do comprimento;

M_B – situado na seção central;

M_C – situado a três quartos do comprimento;

M_{\max} – é o momento fletor máximo solicitante de cálculo, em módulo;

R_m – é um parâmetro de simetria da seção igual a um, exceto para seções com um eixo de simetria, fletidas em relação ao eixo que não é de simetria.

Temos que $M_{\max} = 12375,80 \text{ kN.cm}$ e $M_A = M_C = 9281,85 \text{ kN} \cdot \text{cm}$

$$C_b = [12,5 \cdot 12375,80 / (2,5 \cdot 12375,80 + 3 \cdot 9281,85 + 4 \cdot 12375,80 + 3 \cdot 9281,85)].1$$

$$C_b = 154697,5 / 136133,8 = 1,26 < 3$$

$$C_w = 153,78 \cdot 10^3 \text{ cm}^6$$

Logo,

$$M_{RC} = [(1,26 \cdot \pi^2 \cdot 20000 \cdot 404) / 632,46^2] \cdot [(153780 / 404) \cdot (1 + 0,039 \cdot 11,7 \cdot 632,46^2 / 153780)]^{1/2}$$

$$M_{RC} = (251,20) \cdot [380,64 \cdot (2,187)]^{1/2}$$

$$M_{RC} = 7247,72 \text{ kN.cm} < M_{pl} = 18420 \text{ kN.cm}$$

Análise dos resultados

$$M_{n,FLA} = 18420 \text{ kN.cm}$$

$$M_{n,FLM} = 18420 \text{ kN.cm}$$

$$M_{n,FLT} = 7247,72 \text{ kN.cm}$$

$$\text{Assim, } M_n = 7247,72 \text{ kN.cm} - M_{d,res} = M_n / 1,1 = 7247,72 / 1,1 = 6588,84 \text{ kN.cm}$$

Logo o perfil não atende, pois o momento máximo é 12375,80 kN.cm.

Adotando o perfil W360 x 44

Verificação da flambagem local da alma (FLA)

$$\lambda = h / t_w$$

Temos que h – altura da alma e t_w – espessura da alma.

$$\lambda = 33,2 / 0,69 = 48,12$$

Cálculo do índice de esbelte limite para seções compactadas (λ_p) e semicompactadas (λ_r).

$$\lambda_p = 3,76 (E / f_y)^{1/2}$$

$$\lambda_p = 3,76 (20000/25)^{1/2} = 106,35$$

Como $\lambda < \lambda_p$, temos uma seção compactada, logo

$$M_{d,res} = M_n / 1,1$$

Onde

$$M_{pl} = Z_x \cdot f_y = 784,3 \cdot 25 = 19607,5 \text{ kN.cm}$$

$$M_{Rd} = M_{pl} / \gamma_{al} = 19607,5 / 1,1 = 17825 \text{ kN.cm}$$

Verificação da flambagem local da Mesa (FLM)

$$\lambda = b / t$$

$$\lambda = 17,1 / 0,98 \cdot 2 = 8,72$$

Sabemos que,

$$\lambda_p = 0,38 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$\lambda_p = 10,75$$

Como $\lambda < \lambda_p$, temos uma seção compactada, logo,

$$M_{pl} = Z_x \cdot f_y = 784,3 \cdot 25 = 19607,5 \text{ kN.cm}$$

$$M_{Rd} = M_{pl} / \gamma_{al} = 19607,5 / 1,1 = 17825 \text{ kN.cm}$$

Verificação da flambagem lateral por torção (FLT)

$$\lambda = L_b / r_y$$

$$\lambda = 632,46 / 3,77 = 167,76$$

$$\lambda_p = 1,76 \cdot (E / f_y)^{1/2}$$

$$\lambda_p = 1,76 \cdot (20000 / 25)^{1/2}$$

$$\lambda_p = 49,78$$

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

$$\beta_1 = (25 - 7,5) \cdot 696,5 / 20000 \cdot 16,7 = 0,036 \text{ cm}^{-1}$$

$$C_w = 818 \cdot (35,2 - 0,98)^2 / 4 = 239471 \text{ cm}^6$$

$$\lambda_r = [1,38 \cdot (818 \cdot 16,7)^{1/2} / 2,77 \cdot 16,7 \cdot 0,036] \cdot [1 + (1 + (27 \cdot 239471 \cdot 0,036^2) / 818)^{1/2}]^{1/2} = 181,01$$

Como $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$, temos uma seção semicomcompacta.

$$M_n = C_b \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right]$$

$$C_b = 1,26 < 3$$

$$M_{pl} = 19607,5 \text{ kN.cm}$$

$$M_r = (f_y - \sigma) \cdot W = (25 - 0,3 \cdot 25) \cdot 696,5 = 12188,75$$

$$M_n = 1,26 \cdot [19607,5 - (19607,5 - 12188,75) \cdot (167,76 - 49,78 / 181,01 - 49,78)]$$

$$M_n = 16301,63 \leq M_{pl}$$

$$M_{Rd} = M_n / \gamma_{a1} = 16301,63 / 1,1 = 14819,67 \text{ kN.cm}$$

Análise dos resultados

$$M_{RdFLA} = 17825 \text{ kN.cm}$$

$$M_{RdFLM} = 17825 \text{ kN.cm}$$

$$M_{RdFLT} = 14819,67 \text{ kN.cm}$$

Logo o perfil atende $M_{sd} = 12375,80 \text{ kN.cm} < M_{Rd}$

Verificação do esforço cortante

$$\lambda = h / t_w = 48,12$$

Onde,

$$\lambda_p = 1,10 \cdot (k_v \cdot E / f_y)^{1/2}$$

$k_v = 5$, para almas sem enrijecedores transversais, para $a/h > 3$

$$a / h = 632,46 / 33,2 = 19,05$$

$$\lambda_p = 1,10 (5 \cdot 20000 / 25)^{1/2} = 69,57$$

Como $\lambda < \lambda_p$, temos uma seção compacta, assim

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} = 0,60 \cdot 35,2 \cdot 0,69 \cdot 25 = 364,32 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 364,32 / 1,1 = 331,2 \text{ kN} < V_{sd} = 23,316 \text{ kN}$$

Assim, o perfil atende.

Verificação da flecha

A flecha máxima dado por:

$$\delta_{\max} = L / 250 = 6324,6 / 250 = 25,30 \text{ mm} = 2,5 \text{ cm}$$

$$\delta = 5 \cdot q \cdot L^2 / 384 \cdot E \cdot I$$

Temos que de acordo com o programa Ftool, a flecha produzida pelo peso próprio e pela sobrecarga será:

Displ./rotat. at local pos.: x = 0.4150 m L = 1.5811 m · Dx: -1.523e+001 mm Dy: -4.656e+001 mm Rz: -4.345e-004 rad

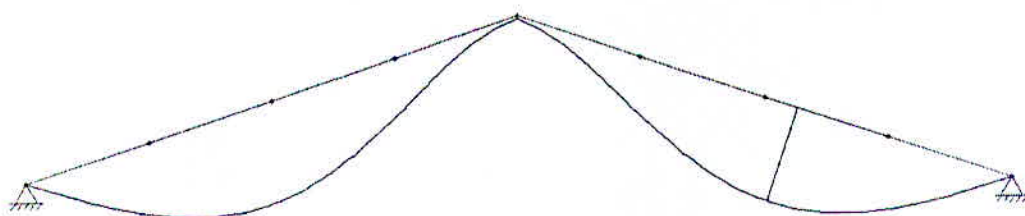


Figura 79: programa ftool – flecha PP

Displ./rotat. at local pos.: x = 1.1299 m L = 1.5811 m · Dx: 1.267e+001 mm Dy: -3.872e+001 mm Rz: -9.600e-005 rad

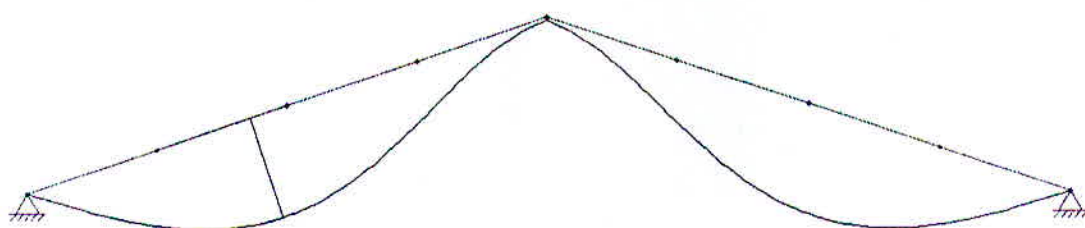


Figura 80: programa ftool – flecha SC

$$\delta = 4,561 + 3,872 = 8,433 \text{ mm} = 0,8433 \text{ cm}$$

Logo, o perfil atende.

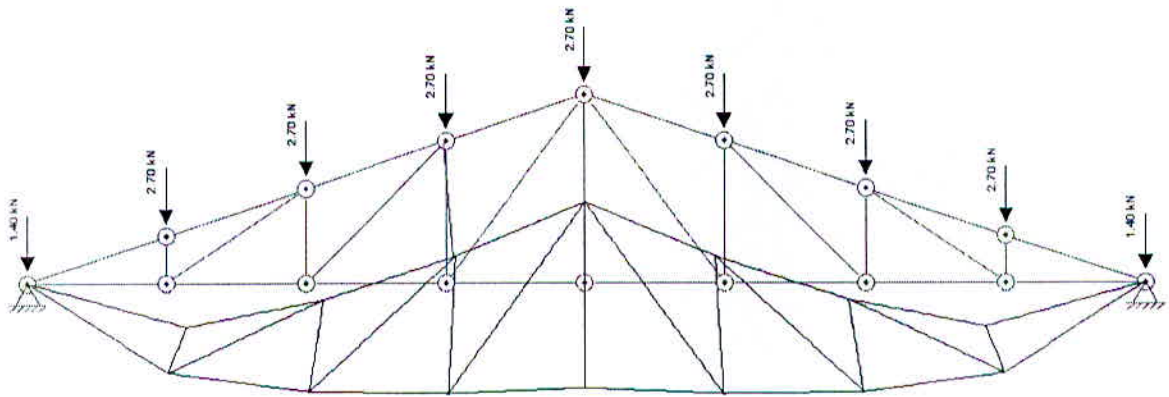
Aço consumido na tesoura: $(44 \text{ kg/m} \cdot 6,3246) \cdot 2 = 556,56 \text{ kg}$.

APÊNDICE D – DEFORMAÇÃO

CÁLCULO NA DEFORMAÇÃO DA COBERTURA EM DUAS ÁGUAS SEM MONTANTE NAS EXTREMIDADES

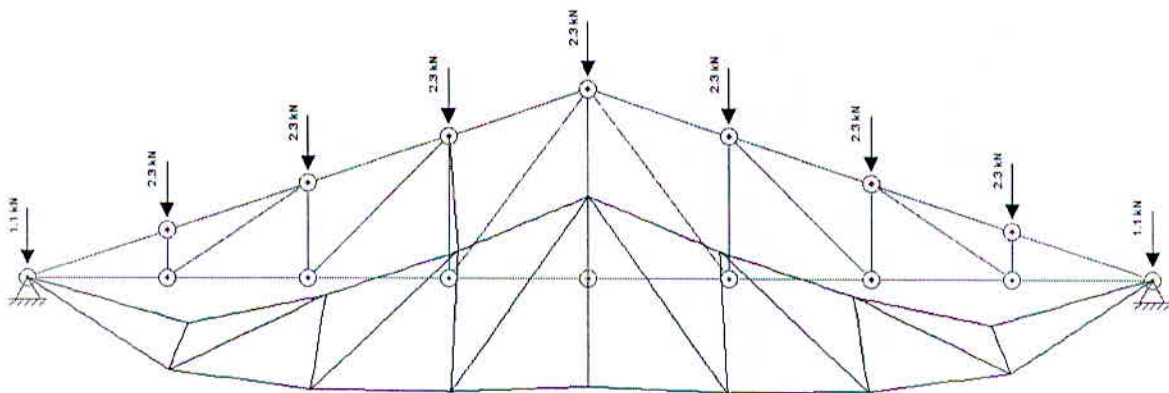
Para os cálculos da deformação será utilizada a NBR 8800/ 2008. Será escolhido um nó cuja deformação seja mais intensa e será calculada sobre este somente.

Peso próprio



Displ./rotat. at local pos.: x = 2.08 m L = 2.12 m - Dx: 5.456e-005 m Dy: -6.613e-004 m Rz: -2.078e-005 rad

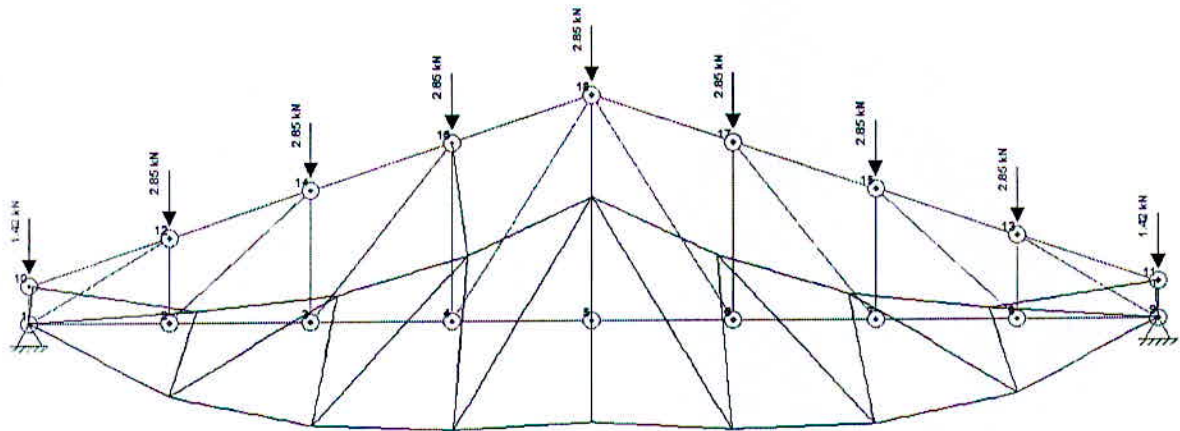
Sobrecarga



Displ./rotat. at local pos.: x = 2.12 m L = 2.12 m - Dx: 4.707e-005 m Dy: -5.636e-004 m Rz: -1.771e-005 rad

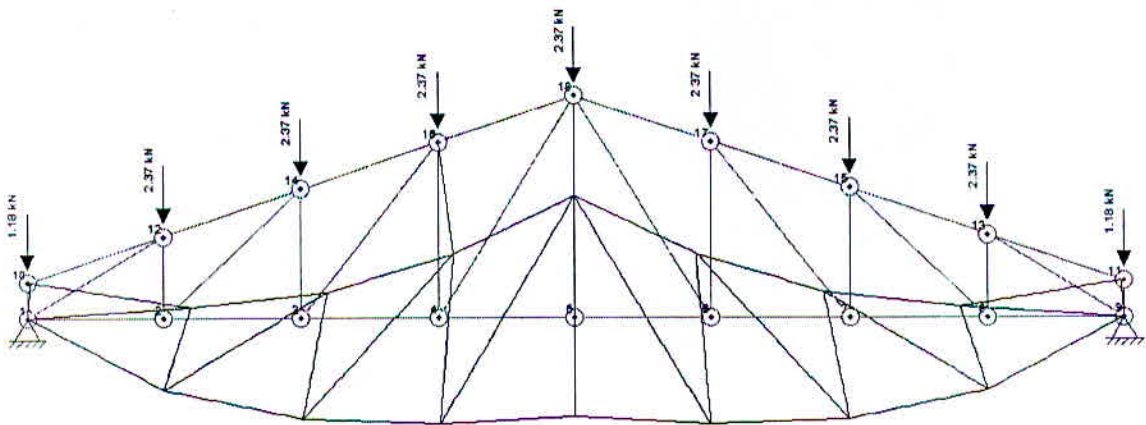
CÁLCULO DA DEFORMAÇÃO NA COBERTURA EM DUAS ÁGUAS COM MONTANTE NAS EXTREMIDADES

Peso próprio



Displ./rotat. at local pos.: x = 0.01 m L = 2.42 m - Dx: 2.454e-001 mm Dy: -1.757e+000 mm Rz: -1.081e-004 rad

Sobrecarga

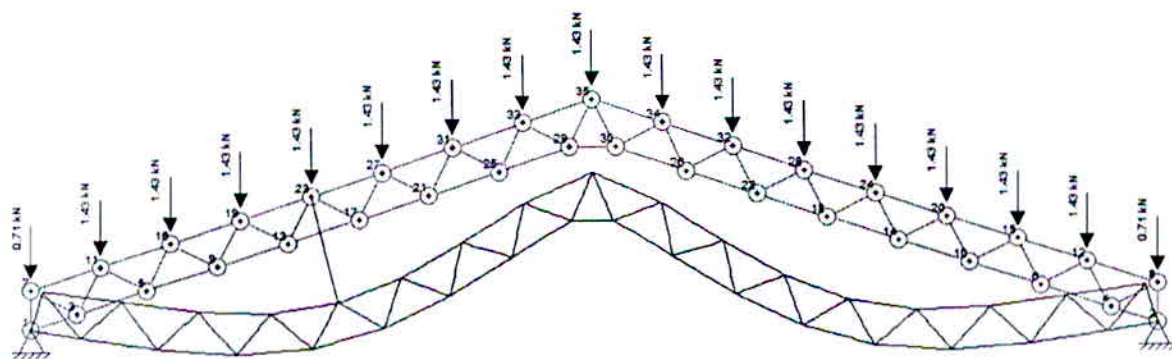


Displ./rotat. at local pos.: x = 0.00 m L = 2.42 m - Dx: 2.047e-001 mm Dy: -1.461e+000 mm Rz: -8.991e-005 rad

CÁLCULO DA DEFORMAÇÃO NA COBERTURA EM DUAS ÁGUAS

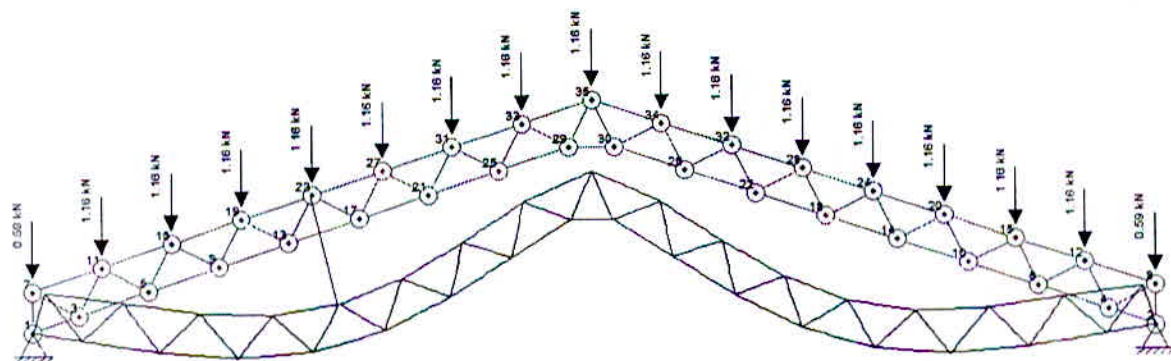
PARALELAS

Peso próprio



Displ./rotat. at local pos.: x = 0.0000 m L = 0.5623 m - Dx: 3.498e-001 mm Dy: -1.430e+000 mm Rz: -6.975e-005 rad

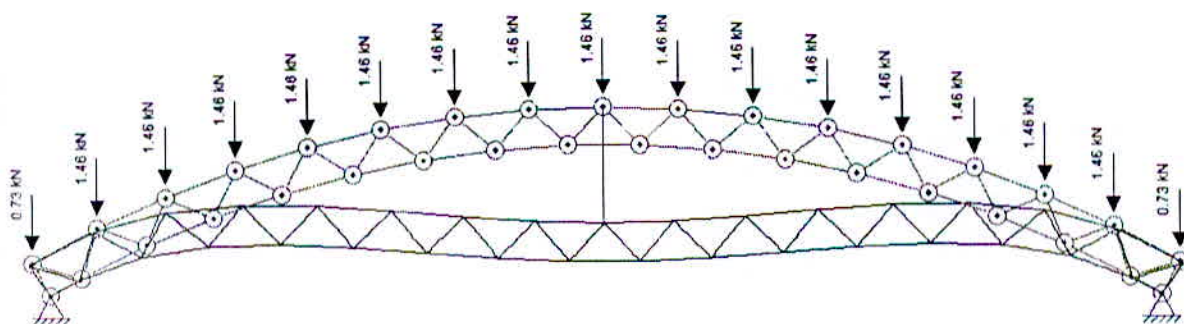
Sobrecarga



Displ./rotat. at local pos.: x = 0.0219 m L = 0.5623 m - Dx: 2.827e-001 mm Dy: -1.160e+000 mm Rz: -5.658e-005 rad

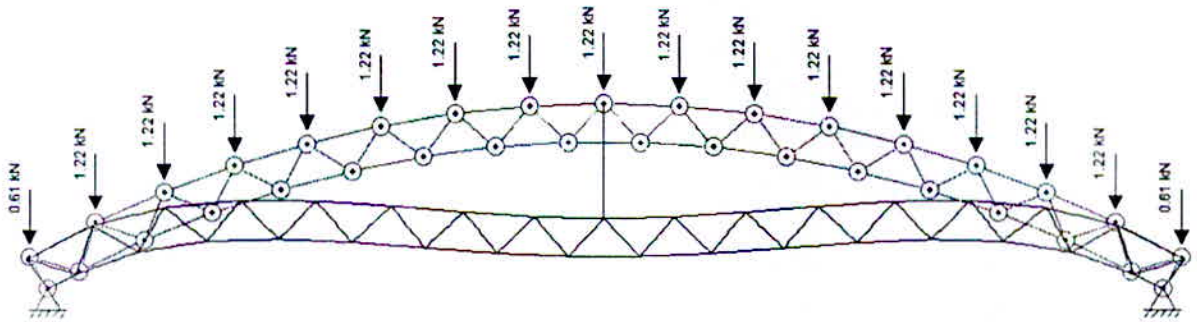
CÁLCULO DA DEFORMAÇÃO NA COBERTURA EM ARCO

Peso próprio



Displ./rotat. at local pos.: x = 0.0000 m L = 0.8110 m - Dx: -1.393e-005 mm Dy: -1.513e+000 mm Rz: -6.643e-005 rad

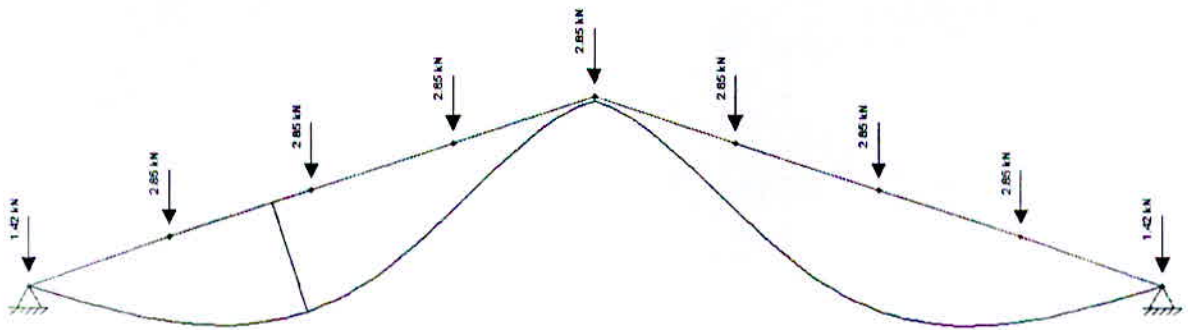
Sobrecarga



Displ./rotat. at local pos.: x = 0.0000 m L = 0.8110 m - Dx: -1.164e-005 mm Dy: -1.264e+000 mm Rz: -5.551e-005 rad

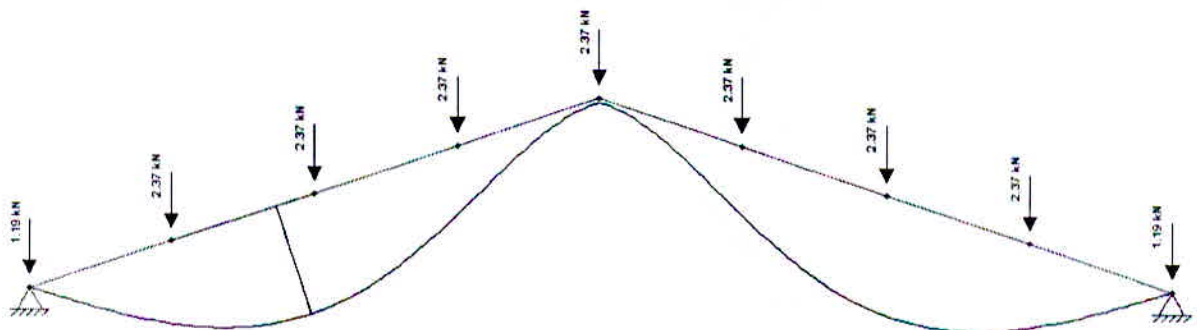
CÁLCULO DA DEFORMAÇÃO NA COBERTURA EM ALMA CHEIA

Peso próprio



Displ./rotat. at local pos.: x = 1.1460 m L = 1.5811 m - Dx: 1.523e+001 mm Dy: -4.656e+001 mm Rz: 1.290e-004 rad

Sobrecarga



Displ./rotat. at local pos.: x = 1.1565 m L = 1.5811 m - Dx: 1.266e+001 mm Dy: -3.872e+001 mm Rz: 2.394e-004 rad

Combinação

Para a análise da deformação sofrida pelas treliças se utilizou a NBR 8800:2008 anexo C, na qual sugere que o deslocamento máximo vertical admitido nas treliças é de $L/250$ (sendo L o comprimento da treliça). Para o cálculo dos deslocamentos máximos verticais, vamos considerar somente as ações da carga permanente e da sobrecarga, já que estas influenciam diretamente na estrutura e estão presentes na maior parte do tempo. A ação do vento é de suma importância nos deslocamentos horizontais, como este não faz parte do objetivo de estudo, não será levado em consideração neste trabalho.

Treliça	Peso próprio (dy -mm)	Sobrecarga (dy- mm)	Deslocamento máximo (L/250)	Deslocamento Total (mm)
Duas águas s/ mont. nas ext.	0,661	0,564	48	1,225
Duas águas c/ mont. nas ext.	1,757	1,461	48	3,218
Duas águas paralelas	1,430	1,160	48	2,590
Arco	1,513	1,264	48	2,777
Alma cheia	46,56	38,72	48	84,28