



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EDERSON ROSENAL PINHEIRO NETO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO DE UMA TESOURA DE MADEIRA DE COBERTURA,
UTILIZANDO O MATLAB**

São Luís

2017

EDERSON ROSENAL PINHEIRO NETO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO DE UMA TESOURA DE MADEIRA DE COBERTURA,
UTILIZANDO O MATLAB**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Estadual do Maranhão
como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Carlos César
Pereira de Almeida

São Luís

2017

Pinheiro Neto, Ederson Rosental.

Desenvolvimento de uma aplicação computacional para o dimensionamento de uma tesoura de madeira de cobertura, utilizando o Matlab / Ederson Rosental Pinheiro Neto. – São Luís, 2017.

116 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Me. Carlos César Pereira de Almeida.

1. Tesoura de madeira. 2. Dimensionamento de tesoura. 3. Matlab. I.
Título.

CDU 624:519.85

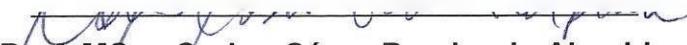
EDERSON ROSENAL PINHEIRO NETO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO DE UMA TESOURA DE MADEIRA DE COBERTURA,
UTILIZANDO O MATLAB**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Estadual do Maranhão
como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 27/06/2017

BANCA EXAMINADORA


Prof. MSc. Carlos César Pereira de Almeida

Prof. Orientador


Prof. Esp. José Tadeu Moura Serra

Membro titular


Prof. MSc. Clodoaldo Cesar Malheiros Ferreira

Membro titular

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família, amigos e professores, que me ajudaram e incentivaram nessa longa jornada. Onde todos se demonstraram de extrema importância para que eu chegasse a esse ponto da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, primeiramente, a Deus, pela força e coragem durante esta longa caminhada, por ser essencial em minha vida e socorro presente na hora de angústia.

Aos meus pais, Ederson Rosental Pinheiro Júnior e Maria José Gama Pinheiro, pelo cuidado, carinho e ter dado esperança e inspiração para seguir.

À minha avó, Maria de Nazaré, pelo cuidado e dedicação.

À minha irmã, Erica Mayara, pelas alegrias compartilhadas e companheirismo.

A todos tios e primos.

A todos os professores e, em especial, ao meu orientador Carlos César, pelos conhecimentos transmitidos e por disponibilizar tempo e dedicação para me auxiliar na caminhada acadêmica.

Aos meus colegas de curso, que fizeram parte da minha formação e que permanecerão presente em minha vida.

A todos que fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

*Feliz é o homem que persevera na
provação, porque depois de aprovado
receberá a coroa da vida, que Deus
prometeu aos que o amam.*

Tiago 1:12

RESUMO

Este trabalho objetiva principalmente a elaboração de uma aplicação computacional que efetue o dimensionamento de tesouras de madeira usadas em cobertura. O programa Matlab, permite a elaboração de um software com interface gráfica bem simples e prática. Neste trabalho, apresenta-se também uma revisão bibliográfica, que foi utilizada para automatização das teorias necessárias para um dimensionamento de uma tesoura de madeira em um processo computacional proposto. Para a análise estrutural, foi empregado o método dos elementos finitos, onde o enfoque foi o elemento de barra. Para o dimensionamento das barras, foi adotado o critério do estado limite último, onde as barras estão sujeitas à esforços de tração e compressão, e seu dimensionamento segue a ABNT NBR 7190/97. Apresenta-se neste trabalho, além das principais teorias usadas no dimensionamento, exemplos de cada etapa, para maior compreensão, e um roteiro de utilização do software desenvolvido, com exemplo prático passo a passo.

Palavras-chave: Tesoura de madeira. Dimensionamento de tesoura. Matlab.

ABSTRACT

This work aims mainly at the elaboration of a computational application that will perform the scaling of wood scissors used in coverage. The Matlab program allows the creation of software with a simple and practical graphical interface. In this work, a bibliographical review was also presented, which was used to automate the theories necessary for a scissors design in a proposed computational process. For the structural analysis, the finite element method was used, where the focus was the bar element. For the sizing of the bars, the criterion of the last limit state was adopted, where the bars are subjected to tensile and compressive stresses, and their sizing follows ABNT NBR 7190/97. This paper presents the main theories used in sizing, examples of each step, for further understanding, and a roadmap for using the developed software, with a practical step-by-step example.

Keywords: Wood scissors. Scissor scaling. Matlab.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Elementos da cobertura	20
Figura 2: Gráfico das isopletas da velocidade	22
Figura 3: Representação da incidência do vento na estrutura (em planta)	25
Figura 4: Representação dos elementos da tesoura de madeira	29
Figura 5: Detalhe da cobertura - espaçamentos das peças estudo	30
Figura 6 : Representação da planta baixa da cobertura	30
Figura 7: Representação das cargas nos nós	31
Figura 8: Numeração das barras e nós da tesoura	31
Figura 9: Dimensões da fachada	31
Figura 10: carga permanente mais sobrepressão	37
Figura 11: efeito de sucção no telhado	39
Figura 12: efeito de sobrepressão no telhado	40
Figura 13: carga de sucção por nó	41
Figura 14: carga de sobrepressão por nó	41
Figura 15: Forças nodais	42
Figura 16: deslocamento local do elemento de barra (plano x)	42
Figura 17: Deslocamento global do elemento de barra (plano x)	44
Figura 18: Treliza usada no exemplo	47
Figura 19: Numeração dos graus de liberdades, nós e barras	48
Figura 20: Detalhamento da ligação do banzo inferior	59
Figura 21: Tela inicial do programa Matlab	81
Figura 22: botão “Browse for folder” da tela inicial do Matlab	82
Figura 23: Tela de busca por pasta do software	82
Figura 24: Arquivo inicial do software	83
Figura 25: Tela inicial do software	83
Figura 26: Fluxograma do programa desenvolvido	84
Figura 27: Tela do primeiro passo	85

Figura 28: Primeira tela com os dados preenchidos	86
Figura 29: Tela de confirmação da 1ª etapa	87
Figura 30: Tela do segundo passo	87
Figura 31: Numeração dos nós e barras da tesoura	88
Figura 32: Numeração dos graus de liberdade da tesoura	88
Figura 33: Tela do segundo passo preenchida.....	89
Figura 34: Tela de confirmação da 2ª etapa	89
Figura 35: Tela do terceiro passo	90
Figura 36: Tela terceiro passo preenchida	90
Figura 37: Tela de confirmação da 3ª etapa	91
Figura 38: Tela do quarto passo.....	91
Figura 39: Preenchimento da velocidade básica do vento	92
Figura 40: Preenchimento do fator topográfico: $S1 = 1$	92
Figura 41: Preenchimento do fator de rugosidade: $S2 = 0.92$	93
Figura 42: Preenchimento do Fator estatístico: $S3 = 0.95$	93
Figura 43: coeficientes externos – tabela	94
Figura 44: Coeficientes externos – Detalhe da projeção do vento	94
Figura 45: preenchimento dos coeficientes internos	95
Figura 46: Tela de confirmação da 4ª etapa	95
Figura 47: Botão “próximo”	95
Figura 48: Tela do quinto passo	96
Figura 49: Preenchimento K_{mod1}	96
Figura 50: Preenchimento K_{mod2}	97
Figura 51: Preenchimento K_{mod3}	97
Figura 52: Preenchimento dados à compressão e tração	98
Figura 53: preenchimento dos dados usados para compressão	98
Figura 54: Tela de confirmação da 5ª etapa	99
Figura 55: Tela quinto passo – Barras reprovadas	99
Figura 56: Tela segundo passo – Redimensionamento	100
Figura 57: Tela terceiro passo – Redimensionamento	100

Figura 58: Tela quinto passo – Redimensionamento	101
Figura 59: Relatório passo 1	101
Figura 60: Relatório passo 2	102
Figura 61: Relatório passo 3	102
Figura 62: Tela Primeiro Passo com os dados preenchidos	110
Figura 63: Tela Segundo Passo com os dados preenchidos.....	111
Figura 64: Tela Terceiro Passo com os dados preenchidos.....	112
Figura 65: Tela Quarto Passo com os dados preenchidos	113
Figura 66: Tela Quinto Passo com os dados preenchidos – com barras reprovadas	114
Figura 67: Tela Segundo Passo com os dados preenchidos – Modificação das seções	115
Figura 68: Tela Quinto Passo com os dados preenchidos – sem barras reprovadas	116

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de carregamento	19
Quadro 2 – Fator topográfico	23
Quadro 3 – Fator de rugosidade	24
Quadro 4 -Valores mínimos do fator estatístico	24
Quadro 5 – Coeficientes de pressão externos, para telhados	26
Quadro 6: valores de C_{pi} para abertura dominante em barlavento	28
Quadro 7: Valores de C_{pi} para abertura dominante em zona de alta sucção	28
Quadro 8: Valores de K_{mod1}	57
Quadro 9: Classe de umidade da madeira	57
Quadro 10: Valores de K_{mod2}	58
Quadro 11: Valores de K_{mod3}	58
Quadro 12: Valores de γ_{gi} para pequena variabilidade	60
Quadro 13: Valores de γ_{gi} para grande variabilidade	60
Quadro 14: Valores de γ_q	61
Quadro 15: Fatores de minoração	61
Quadro 16: Coeficientes de ponderação.....	62
Quadro 17: Propriedades de algumas espécies de madeira	63
Quadro 18: Classificação das peças à compressão	65
Quadro 19: Valores do coeficiente de fluência	71
Quadro 20: Combinação das normais das barras	72
Quadro 21: Tabela de dimensionamento devido à sucção	75

Quadro 22: Tabela de dimensionamento devido à sobrepressão	75
Quadro 23: Cálculo do índice de esbeltez	76
Quadro 24: Cálculo do expoente c nas ações de: carga permanente mais sobrecarga com ação do vento na sucção.....	76
Quadro 25: Cálculo do expoente c nas ações de: carga permanente mais sobrecarga com ação do vento na sobrepressão	77
Quadro 26: Novas seções para o redimensionamento	77
Quadro 27: Dimensionamento e verificação das Barras sujeitas à sucção.	78
Quadro 28: Dimensionamento e verificação das Barras sujeitas à sobrepressão.....	78
Quadro 29: Dimensionamento e verificação das Barras sujeitas à sucção, para novas seções adotadas	79
Quadro 30: Dimensionamento e verificação das Barras sujeitas à sobrepressão, para novas seções adotadas	79
Quadro 31: Resumo das barras	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	16
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	16
1.1.2	<i>Objetivo específico</i>	16
1.2	Justificativa	16
1.3	Delimitação	17
1.4	Metodologia	17
2	AÇÕES NO PROJETO DE ESTRUTURA DE MADEIRAS	19
2.1	Classe de carregamento	19
2.2	Ações a considerar no dimensionamento da tesoura	20
2.2.1	<i>Cargas permanentes</i>	20
2.2.2	<i>Sobrecarga</i>	21
2.2.3	<i>Ação do vento na cobertura</i>	22
2.3	Exemplo 1(Determinação das cargas por nó)	29
3	MÉTODO DE RESOLUÇÃO DA TRELIÇA (TESOURA)	42
3.1	Exemplo 2 (Método dos elementos finitos)	47
4	DIMENSIONAMENTO	56
4.1	Condições para dimensionamento	56
4.2	Roteiro de dimensionamento	56
4.2.1	<i>Dimensionamento à tração</i>	62
4.2.2	<i>Dimensionamento à compressão</i>	65
4.2.2.1	<i>Dimensionamento de peças curtas</i>	66
4.2.2.2	<i>Dimensionamento de peças intermediárias ou mediamente esbeltas</i>	66
4.2.2.3	<i>Dimensionamento de peças longas ou esbeltas</i>	69
4.3	Exemplo 3 (Dimensionamento da tesoura)	71
5	UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DA TESOURA	81
5.1	Como abrir o programa – TMadCalc	81

5.2 Exemplo 4 (Demonstração da execução do programa) – TMadCalc	85
6 CONCLUSÃO	107
6.1 Sugestões para trabalhos futuros	107
REFERÊNCIAS	108
ANEXOS.....	109

1 INTRODUÇÃO

Na engenharia assim como nas demais áreas, é significativo o crescimento da quantidade de programas computacionais criados para substituir cálculos trabalhosos e repetitivos. Com a necessidade de construir estruturas mais econômicas a cada dia, o cálculo se torna cada vez mais complexo e refinado, sendo muitas vezes inviável a não utilização de uma ferramenta computacional. Ao permitir a execução de cálculos cada vez mais complexos em um período de tempo cada vez menor, a elaboração de programas computacionais vem cada vez mais sendo indispensáveis na vida profissional de qualquer engenheiro.

Tendo em vista as facilidades proporcionadas pelas técnicas computacionais na engenharia, este trabalho se propõe a apresentar uma aplicação computacional simples e eficaz para o dimensionamento de uma tesoura de madeira usada em cobertura. Foi feita uma revisão bibliográfica com o conteúdo necessário sobre dimensionamento de estruturas de madeiras e sobre o método dos elementos finitos, que foi utilizado na aplicação para analisar estrutura treliçada (tesoura). As cargas consideradas atuantes na tesoura, são:

Carga permanente, onde deve-se pelo peso próprio da estrutura, como o peso da cobertura (telhas, terças, caibros e ripas) e o peso da própria tesoura.

Outra carga considerada é a ação do vento na cobertura, que causa esforços de sucção (tende a levantar a estrutura) e esforços de sobrepressão (atua no sentido da carga permanente), onde é regida pela norma NBR 6123/88.

A divisão desse referido trabalho foi feita em 6 capítulos, sendo este referente à introdução, além dos objetivos, justificativa, delimitação do tema e a metodologia. O capítulo 2 traz as cargas que atuam na tesoura de madeira utilizada em uma cobertura, especificando o roteiro para determinação de tais cargas seguindo de um exemplo. No capítulo 3 enfoca o método dos elementos finitos, usado na determinação dos esforços por barra da tesoura em estudo. No capítulo 4 demonstra como é feito o dimensionamento das barras sujeitas à tração e à compressão. No capítulo 5 demonstra o software desenvolvido através de um exemplo, demonstrando passo a passo o que deve ser seguido para utilização do mesmo. E finalmente, no capítulo 6, traz as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver uma aplicação para o projeto de uma cobertura de madeira treliçada, que execute as verificações preconizadas pela NBR 7190:1997 – Projeto de Estruturas de Madeira, e NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações.

1.1.2 Objetivo específico

- Fazer uma revisão bibliográfica sobre estruturas de madeira, com ênfase nos processos realizados para determinação dos esforços solicitantes e no dimensionamento;
- Descrever o método usado para cálculo dos esforços solicitantes, o método utilizado na resolução da treliça (tesoura) e etapas do dimensionamento à tração e compressão das peças solicitadas da tesoura;
- Apresentação da aplicação elaborada, através de exemplos de dimensionamento, resultados obtidos e comparação dos resultados com o processo de cálculo usado em Estruturas de Madeiras;
- Fornecer uma ferramenta que terá utilidade a todos os alunos de graduação em engenharia civil e profissionais da área.

1.2 Justificativa

O tema foi selecionado por entender que, apesar do método manual ensinado na disciplina de Estrutura de madeiras ter grande importância para efeitos didáticos, no sentido de se saber como fazer o projeto de uma cobertura de madeira manual, tal processo envolve um tempo que necessita de uma otimização, para que os cálculos que envolvem o dimensionamento da tesoura pudessem ser automatizados através de uma aplicação computacional, minimizando a chance de erros e o tempo do estudante e do engenheiro civil.

A escolha do referido tema para o Trabalho de Conclusão de Curso refere-se também a um interesse do autor em aprofundar o seu conhecimento das práticas de desenvolvimento de aplicações computacionais voltados para os problemas de engenharia. Onde essa área está em plena expansão e mostra-se bastante promissora para aqueles que possuem domínio sobre ela.

1.3 Delimitação

Estudo e desenvolvimento de uma aplicação computacional que analise os esforços solicitantes e realize o dimensionamento de uma tesoura de cobertura de madeira. Os esforços a serem analisados são as cargas permanentes e a ação do vento na cobertura. O software desenvolvido analisa a estrutura (treliça) e encontra as solicitações normais em cada barra e dimensiona apenas as seções de cada barra da tesoura, não calculando as ligações.

Outras limitações do programa desenvolvido, está relacionado à interface desenvolvida, onde o mesmo só pode ser usado para tesouras de até 25 nós e até 50 barras. Outra limitação é o fato de o programa dimensionar apenas tesouras simétricas.

1.4 Metodologia

O trabalho científico tem por objetivo a busca de conhecimento e permitir que o mesmo possa ser viável na facilitação de projetos de coberturas de telhados de madeira, com a finalidade de colocar em prática o conhecimento que foi adquirido, suficiente para realizar o desenvolvimento da referida aplicação.

A fim de alcançar os objetivos estipulados, o estudo será pautado em pesquisas bibliográficas, como trabalhos acadêmicos, livros, tutoriais, publicações e artigos onde possa contribuir no aperfeiçoamento do conhecimento em relação às ferramentas que serão utilizadas para o desenvolvimento da aplicação computacional.

No que tange ao dimensionamento, levou-se em consideração a NBR 7190 de 1997. As verificações serão feitas segundo a norma. Os procedimentos de cálculo levarão em conta o estado limite último.

Será demonstrado um roteiro de cálculo para se encontrar as cargas atuantes na tesoura, com referidos exemplos que facilitem sua compreensão. Logo após será feito a análise estrutural da tesoura, pelo método dos elementos finitos, encontrando-se a sollicitação normal de cada barra. Por fim será demonstrado o roteiro para dimensionamento das barras sujeitas à compressão e à tração.

Posteriormente ao desenvolvimento dos roteiros de cálculo, será feito o dimensionamento da tesoura na aplicação computacional, quando será criada um roteiro de utilização do software para o dimensionamento da tesoura de madeira utilizando o Matlab.

Por fim, será realizado a verificação dos resultados obtidos pela aplicação, gerando um relatório que pode ser comparado com o método analítico desenvolvido no próprio trabalho. As conclusões enfocadas, encerrando o presente trabalho.

2 AÇÕES NO PROJETO DE ESTRUTURA DE MADEIRAS

As cargas ou ações que atuam sobre as estruturas, são as responsáveis pelo surgimento de esforços ou deformações. Estas ações podem ser classificadas em:

- *Ações Permanente*: Ocorrem com pequena variação e valores constantes durante a vida de construção. Consistem geralmente de todos os materiais permanentes ligados à própria estrutura, ou seja, o seu próprio peso.
- *Ações Variáveis*: Ao longo da sua vida de construção, apresentam significativas variações. Como por exemplo, a ação do vento na estrutura.
- *Ações excepcionais*: São aquelas com baixa probabilidade de ocorrência, e ocorrem com duração extremamente curta. Tem-se como exemplo desse tipo de ação: os abalos sísmicos.

2.1 Classe de carregamento

Segundo a NBR 7190/97, na tabela a seguir. As classes de carregamento estão relacionadas ao tempo da ação sobre a estrutura, representado na terceira coluna da tabela citada.

Quadro 1 – Classes de carregamento

Classe de carregamento	Ação variável principal da combinação	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica
Permanente	Permanente	Vida útil da construção
Longa duração	Longa duração	Mais de seis meses
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana
Duração instantânea	Duração instantânea	Muito curta

Fonte: ABNT NBR 7190/1997

2.2 Ações a considerar no dimensionamento da tesoura

Para a elaboração do programa será considerado como ações atuantes na tesoura de madeira, as cargas permanentes (peso da estrutura), sobrecarga e as cargas devido a ação do vento.

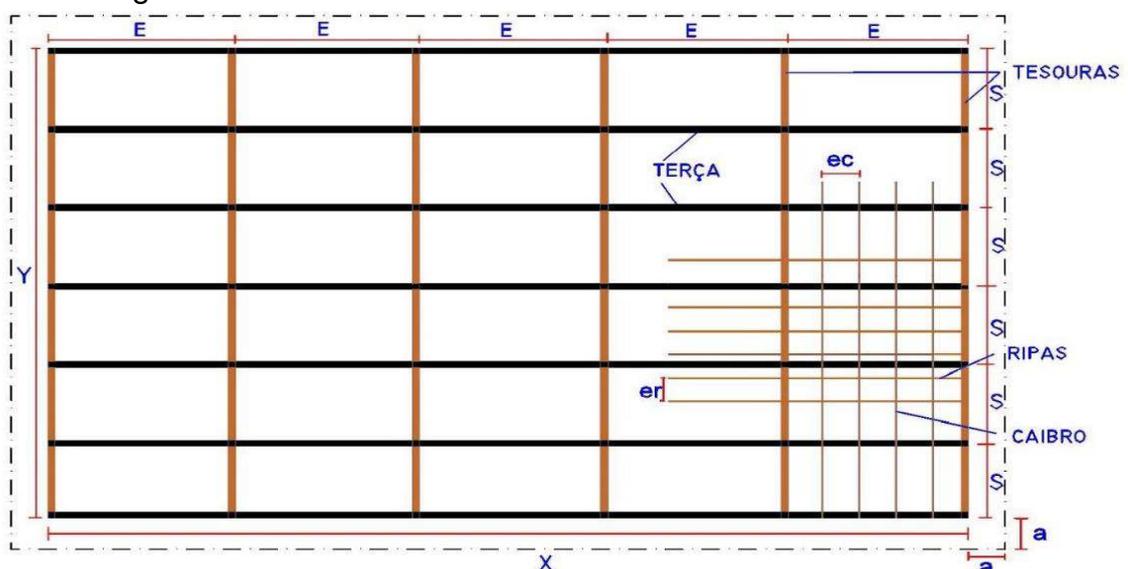
2.2.1 Cargas permanentes

A carga permanente será representada pelo próprio peso da tesoura e todas as cargas fixa, no caso a cobertura. Mais precisamente, a carga permanente é dada pela soma das cargas devido ao:

- Peso próprio da telha;
- Peso de absorção da água pluvial;
- Peso próprio dos caibros;
- Peso próprio das ripas;
- Peso próprio das terças;
- Peso próprio da tesoura.

Na figura a seguir, temos um exemplo detalhado de uma planta baixa de uma cobertura, especificando os elementos da estrutura.

Figura 1 : Elementos da cobertura



Fonte : Autor (2017)

Onde:

E = espaçamento entre tesouras

ec = espaçamento entre caibros

S = espaçamento entre terças

er = espaçamento entre ripas

a = extensão do telhado

2.2.2 Sobrecarga

A NBR 6120 (1980, p.4) relata que:

Todo elemento isolado de cobertura (ripas, terças, e barras de banzo superior de treliças) deve ser projetado para receber, na posição mais desfavorável, uma carga vertical de 1kN (100kgf), além da carga permanente.

Portanto, a sobrecarga é dada por:

Carga linear:

$$q = \frac{100}{E} \quad (2.1)$$

Carga distribuída:

$$Q = \frac{q}{S} = \frac{100}{E \cdot S} \quad (\text{Kgf/m}^2) \quad (2.2)$$

Onde:

E = espaçamento entre tesouras (m).

S = espaçamento entre terças (m).

Para fins de projeto, a sobrecarga será adicionada à carga permanente, e os esforços em cada barra serão combinados aos esforços resultantes da ação variável que ocorrerá na estrutura (no caso do projeto em questão, a carga variável a ser combinada será a ação do vento).

2.2.3 Ação do vento na cobertura

A norma brasileira responsável por orientar o cálculo das estruturas sob a ação do vento, é a NBR 6123/88. Neste trabalho, o enfoque será apenas a ação do vento atuante na cobertura, para fins de dimensionamento da tesoura. Para o dimensionamento, é necessário encontrar a carga que atua sobre a estrutura e assim os esforços em cada barra da tesoura. Para determinação da carga devido a ação do vento, deve-se seguir o seguinte roteiro, especificado na norma.

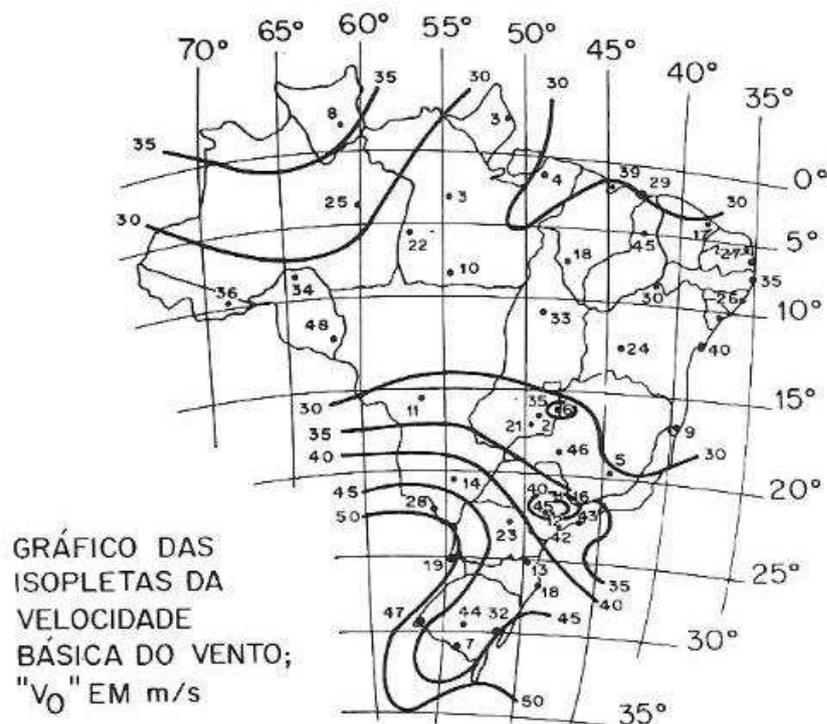
1º Passo: Determinação da velocidade básica (V_0), do local onde a estrutura do telhado será construída.

Segundo a NBR 6123 (1988, p.5):

A velocidade básica do vento, (V_0), é a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano.

O mapa do vento (gráfico das isopletas de velocidade básica), figura 2, retirada da NBR 6123/1988, permite a sua determinação.

Figura 2: Gráfico das isopletas da velocidade



Fonte: ABNT NBR 6123/1988

2º Passo: Determinar os fatores de variação da velocidade básica.

Os fatores são:

➤ S_1 - é o fator topográfico – Quadro 2

Quadro 2 – Fator topográfico

Caso	Topografia	S_1
a)	Todos os casos, exceto os seguintes.	1,0
b)	Encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento.	1,1
c)	Vales profundos, protegidos de todos os ventos	0.9

Fonte: ABNT NBR 6123/1988, Adaptada Moliterno (2001)

➤ S_2 - fator de rugosidade do terreno, onde depende diretamente das dimensões da edificação e da altura sobre o terreno. A NBR 6123/1988 separa a rugosidade do terreno em 5 categorias:

Categoria 1 = Superfícies lisas com grandes dimensões;

Categoria 2 = Terreno aberto sem obstruções, como árvores e edificações baixas;

Categoria 3 = Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros;

Categoria 4 = Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados;

Categoria 5 = Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados.

A norma brasileira também fornece três tipos de edificações (classes) para a identificação do fator de rugosidade (S_2), representado no Quadro 3.

Classe A = Edificações nas quais a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 metros, e unidades de vedação.

Classe B = Edificações nas quais a maior dimensão horizontal ou vertical esteja entre 20 e 50 metros.

Classe C = Edificações nas quais a maior dimensão horizontal ou vertical exceda 50 metros.

Quadro 3 – Fator de rugosidade

Z (m)	Categoria														
	1			2			3			4			5		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,25	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18

Fonte: ABNT NBR 6123/88

➤ S_3 - fator estatístico, depende diretamente da utilização e do risco, considerando o grau de risco e a vida útil da edificação. No quadro 4, retirado da norma, dá uma ideia dos valores.

Quadro 4 -Valores mínimos do fator estatístico

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 indústrias 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 do grupo 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: ABNT NBR 6123/88

3º *Passo*: Determinar a velocidade característica, que é a velocidade a ser considerada no projeto, e é dada por:

$$V_K = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (\text{m/s}) \quad (2.3)$$

4º *Passo*: Determinar a pressão dinâmica, que depende essencialmente da velocidade do vento na região. Onde é dada pela expressão:

$$q = \frac{V_K^2}{16} \quad (2.4)$$

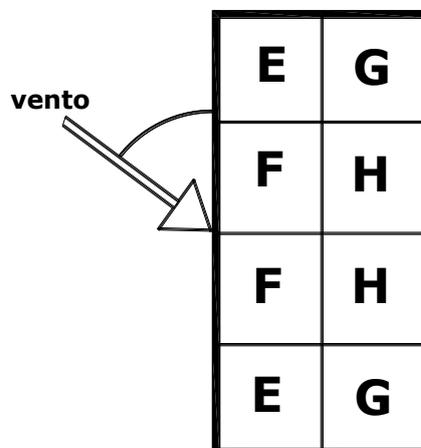
Onde: V_K (m/s);
 q (kfg/m²).

5º *Passo*: Determinação dos coeficientes aerodinâmicos.

A estrutura ao ser submetida a ação do vento, sofre carregamento de pressão e de sucção, onde os coeficientes recebem sinal positivo para a sobrepressão e negativo referente a sucção. Os coeficientes aerodinâmicos podem ser:

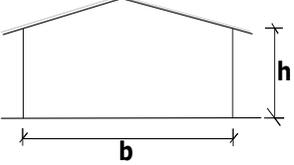
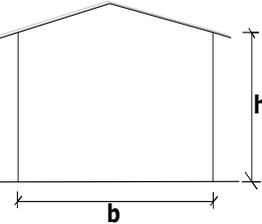
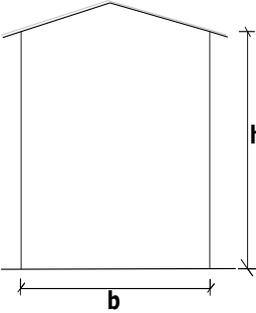
➤ *Coefficiente de pressão externa* - No caso em estudo, refere-se ao vento distribuindo o carregamento na parte de fora da estrutura, no caso a cobertura. A tabela a seguir representa os valores dos coeficientes externos para telhados:

Figura 3: Representação da incidência do vento na estrutura (em planta)



Fonte: Moliterno (2001), adaptado pelo Autor (2017)

Quadro 5 – Coeficientes de pressão externos, para telhados

Altura relativa	Valores de C_e para				
	Θ	$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 0^\circ$	
		EF	GH	EG	FH
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$ 	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6
	$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$ 	0°	-0,8	-0,6	-1,0
5°		-0,9	-0,6	-0,9	-0,6
10°		-1,1	-0,6	-0,8	-0,6
15°		-1,0	-0,6	-0,8	-0,6
20°		-0,7	-0,5	-0,8	-0,6
30°		-0,2	-0,5	-0,8	-0,8
45°		+0,2	-0,5	-0,8	-0,8
60°		+0,6	-0,5	-0,8	-0,8
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$ 		0°	-0,8	-0,6	-0,9
	5°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8
	10°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8
	15°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8
	20°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8
	30°	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7
	40°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7
	50°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,7
	60°	+0,5	-0,5	-0,8	-0,7

Fonte: NBR 6123/88, adaptado pelo Autor (2017)

Onde:

$\alpha = 0^\circ$, quando o vento incide perpendicular a EG (barlavento) onde FH é o lado sotavento;

$\alpha = 90^\circ$, quando o vento incide perpendicular a EF (barlavento) onde GH é o lado sotavento.

➤ *Coeficiente de pressão interna* - Refere-se ao vento distribuindo o carregamento na parte de dentro da estrutura. Esse coeficiente está ligado diretamente a permeabilidade da estrutura ao ar.

A NBR 6123 (1988, p.12) afirma que:

Se a edificação for totalmente impermeável ao ar, a pressão no seu interior será invariável no tempo e independente da velocidade da corrente de ar externa. Porém, usualmente as paredes e/ou a cobertura de edificações consideradas como fechadas, em condições normais de serviço ou como consequência de acidentes, permitem a passagem do ar.

A NBR 6123 (1988, p.12) também relata que:

São considerados impermeáveis os seguintes elementos construtivos e vedações: lajes e cortinas de concreto armado ou protendido; paredes de alvenaria, de pedra, de tijolos, de blocos de concreto e afins, sem portas, janelas ou quaisquer outras aberturas. Os demais elementos construtivos e vedações são considerados permeáveis. A permeabilidade deve-se à presença de aberturas, tais como juntas entre painéis de vedação e entre telhas, frestas em portas e janelas, ventilações em telhas e telhados, vãos abertos de portas e janelas, chaminés, lanternins, etc.

Segundo a NBR 6123/1988 os seguintes valores para o coeficiente de pressão interna C_{pi} :

a) Para duas faces opostas igualmente permeáveis, e demais impermeáveis:

- Vento perpendicular a uma face permeável:

$$C_{pi} = + 0,2$$

- Vento perpendicular a uma face impermeável:

$$C_{pi} = - 0,3$$

b) Quatro faces igualmente permeáveis: $C_{pi} = - 0,3$ ou 0 (considerar o valor mais nocivo);

c) Abertura dominante em uma face; as outras faces de igual permeabilidade:

Para abertura dominante na face de barlavento, temos o seguinte quadro:

$$\text{Sendo : } \theta = \frac{\text{Área da abertura dominante}}{\text{Área total das aberturas em todas as faces com sucção}}$$

Quadro 6: valores de Cpi para abertura dominante em barlavento

θ	C _{pi}
1	+ 0,1
1,5	+ 0,3
2	+ 0,5
3	+ 0,6
6 ou mais	+ 0,8

Fonte: ABNT NBR 6123/1988, adaptado pelo Autor (2017)

- Abertura dominante na face de sotavento.

$$C_{pi} = - 0,3$$

- Abertura dominante na face paralela ao vento.

$$C_{pi} = - 0,4$$

- Abertura dominante situada em zona de alta sucção externa.

Quadro 7: Valores de Cpi para abertura dominante em zona de alta sucção

θ	C _{pi}
0,25	- 0,4
0,5	- 0,5
0,75	- 0,6
1,00	- 0,7
1,75	- 0,8
3 ou mais	- 0,9

Fonte: ABNT NBR 6123/1988, adaptado pelo Autor (2017)

Logo após a identificação dos coeficientes de pressão interna e externa, calcula-se a carga do vento que atua no telhado, onde é dada pela multiplicação da pressão dinâmica pelos coeficientes mais nocivos dentre os internos e externos, somando os valores obtidos na pressão externa com interna, (sucção com sucção e sobrepressão com sobrepressão). Será demonstrado detalhadamente o passo a passo no exemplo 1.

A seguir, para exemplificar melhor o roteiro a ser seguido no cálculo das cargas atuantes na cobertura de madeira, temos um exemplo de roteiro para cálculo das cargas em cada nó.

2.3 Exemplo 1 (Determinação das cargas por nó)

Calcular as cargas que atuam em cada nó, na estrutura da tesoura de um galpão de 16 metros de vão livre, considerando a cobertura em telha cerâmica, conforme os dados e desenhos a seguir:

Dados: $Y = 16\text{m}$ (vão livre da tesoura)

Madeira ----- Ipê Amarelo

Densidade----- $\rho_{12\%} = 1068\text{kgf/m}^3$

Umidade ----- 15%

Telha colonial----- $q_{\text{telha}} = 45\text{kgf/m}^2$

Absorção de água pluvial-----30%

Extensão do telhado ----- $a = 1,5\text{m}$

Inclinação do telhado----- $\theta = 16^\circ$

Dimensões das ripas ----- $5\text{cm} \times 1,5\text{cm}$

Dimensões dos caibros ----- $5\text{cm} \times 7,5\text{cm}$

Dimensões das terças ----- $10\text{cm} \times 17,5\text{cm}$

Dimensões do banzo superior----- $10\text{cm} \times 15\text{cm}$

Dimensões do banzo inferior----- $10\text{cm} \times 15\text{cm}$

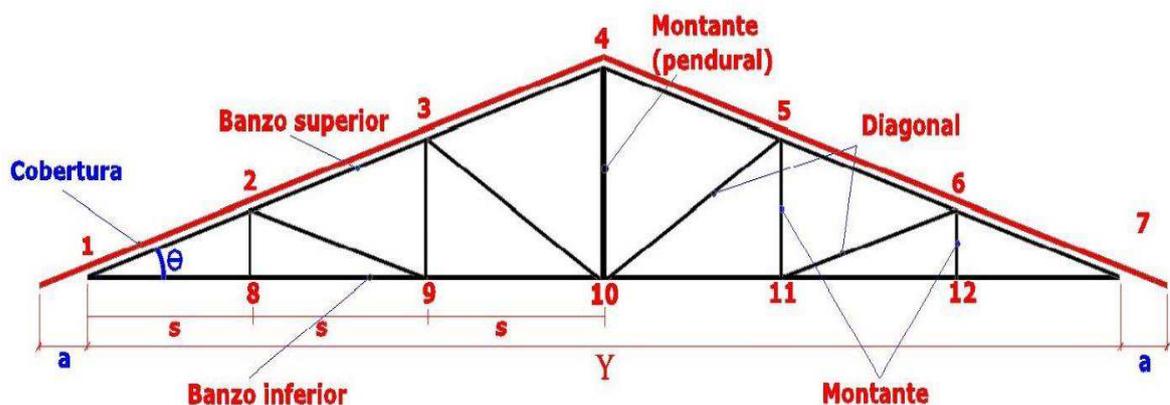
Dimensões das diagonais----- $10\text{cm} \times 10\text{cm}$

Dimensões dos montantes----- $5\text{cm} \times 10\text{cm}$

Dimensões do pendural----- $10\text{cm} \times 15\text{cm}$

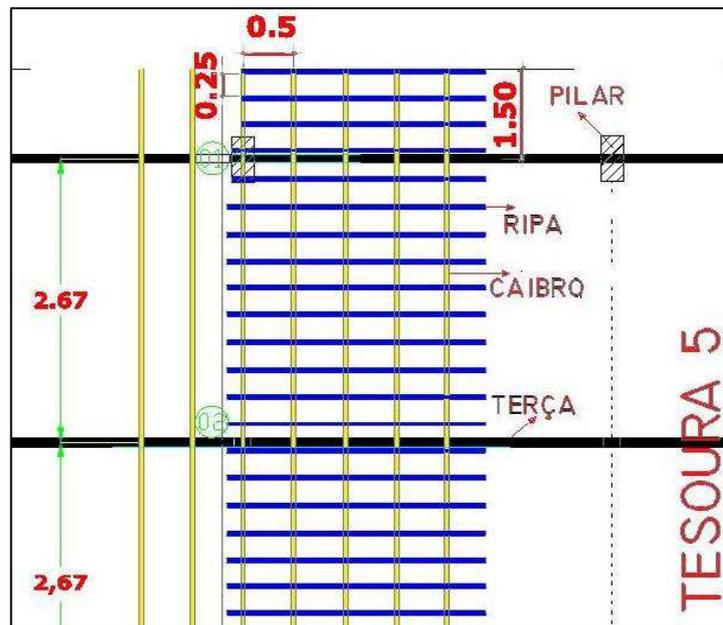
Local da obra ----- São Luis - MA

Figura 4: Representação dos elementos da tesoura de madeira.



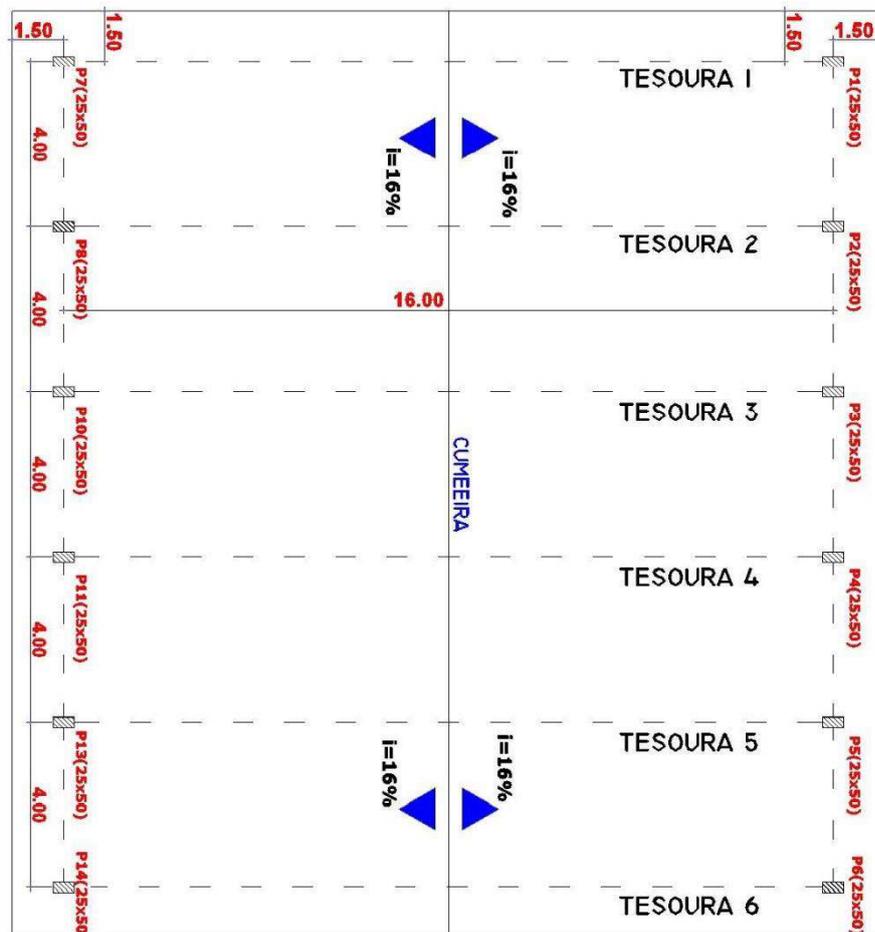
Fonte: Autor (2017)

Figura 5: Detalhe da cobertura - espaçamentos das peças estudo



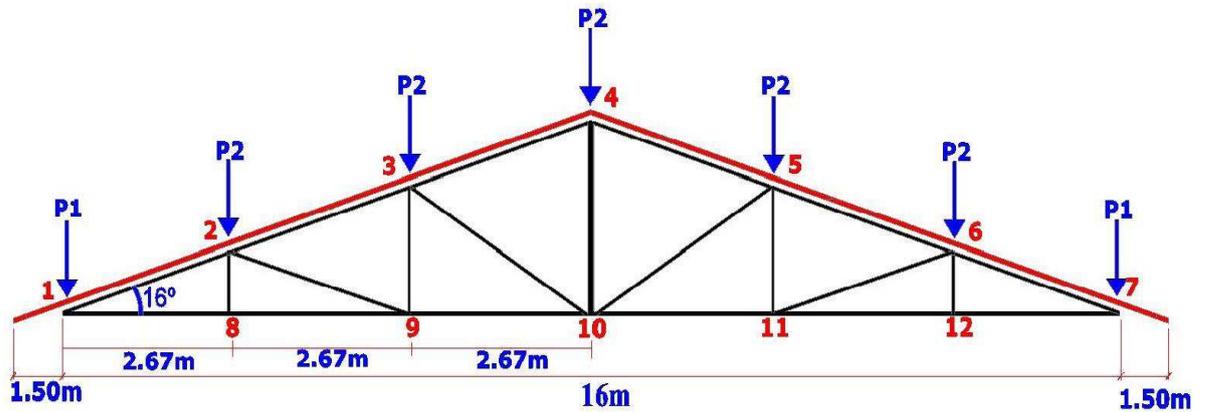
Fonte: Autor (2017)

Figura 6 : Representação da planta baixa da cobertura



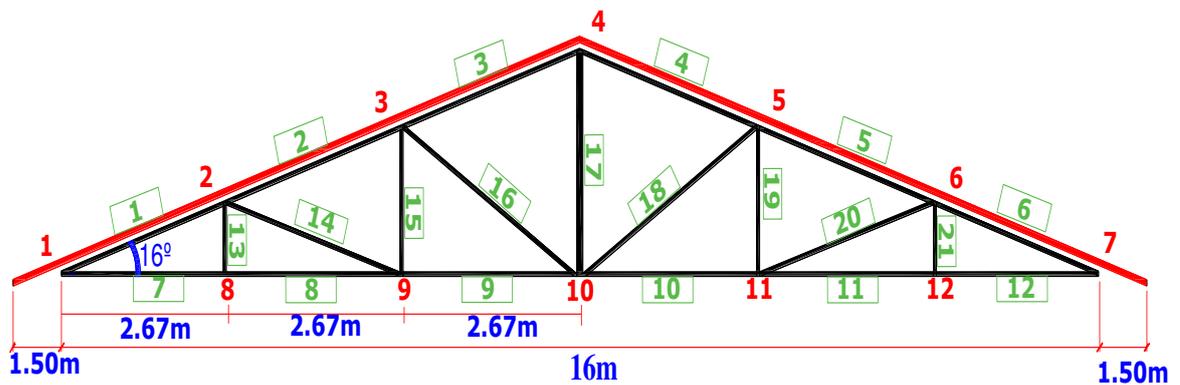
Fonte: Autor (2017)

Figura 7: Representação das cargas nos nós



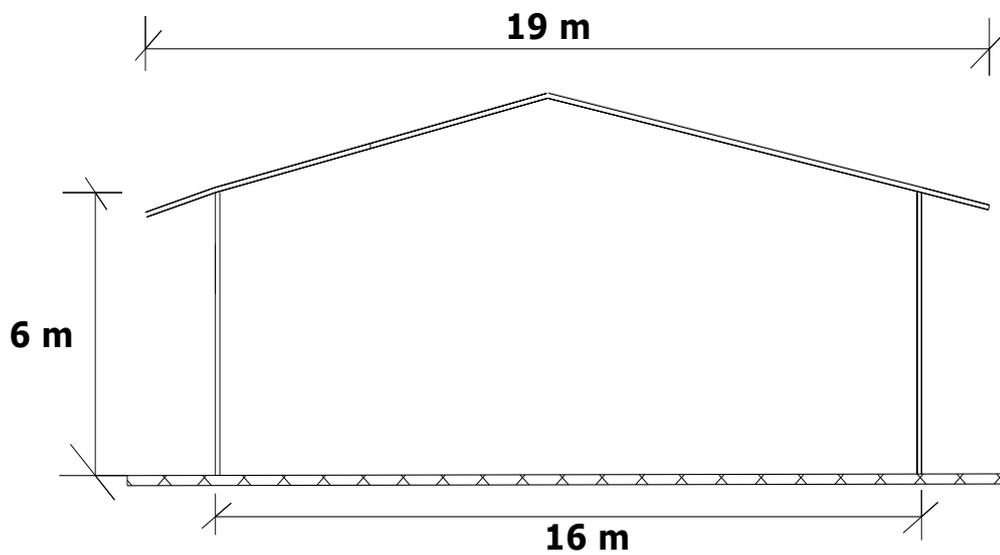
Fonte: Autor (2017)

Figura 8: Numeração das barras e nós da tesoura



Fonte: Autor (2017)

Figura 9: Dimensões da fachada



Fonte : Autor (2017)

*Resolução:

As cargas que atuam sobre a tesoura, são:

Cargas permanentes:

1. Peso próprio das telhas (P_{telhas});
2. Absorção de água pluvial ($P_{água}$);
3. Peso próprio dos caibros ($P_{caibros}$);
4. Peso próprio das ripas (P_{ripas});
5. Peso próprio das terças ($P_{terças}$);
6. Peso próprio da tesoura ($P_{tesoura}$).

Sobrecarga (S)

Ação do vento (W)

Cargas Permanentes:

1. Peso próprio das telhas:

$$P_{telhas} = q_{telha} \quad (2.5)$$

$$P_{telhas} = 45 \text{ kgf/m}^2$$

2. Absorção de água pluvial:

$$P_{absorção} = P\% \cdot P_{telhas} \quad (2.6)$$

$$P_{absorção} = 0.3 \cdot 45 = 13.5 \text{ kgf/m}^2$$

3. Peso próprio dos caibros:

$$N^{\circ} \text{ caibros} = \frac{X}{e_c} \quad (2.7)$$

$$\text{Volume do caibro} = \frac{X \cdot Y}{e_c} \cdot b_c \cdot h_c \quad (2.8)$$

$$\text{Peso total dos Caibros} = \gamma \cdot \frac{X \cdot Y}{e_c} \cdot b_c \cdot h_c \quad (2.9)$$

Onde:

Y = comprimento do caibro;

$b_c \cdot h_c$ = dimensões da seção do caibro;

γ = peso específico da madeira;

$$P_{\text{caibros}} = \frac{\gamma \cdot X \cdot Y \cdot b_c \cdot h_c / e_c}{X \cdot Y} = \frac{\gamma \cdot b_c \cdot h_c}{e_c} \quad (2.10)$$

Onde:

Ipê Amarelo = $\gamma = 1068 \text{kgf/m}^3$

$e_c = 50 \text{cm} = 0.5 \text{m}$

$$P_{\text{caibros}} = \frac{1068 \cdot 0.05 \cdot 0.075}{0.5} = 8 \text{ kgf/m}^2 \text{ (Carga distribuída)}$$

4. Peso próprio das ripas

Por analogia, temos:

$$P_{\text{ripas}} = \gamma \cdot \frac{b_r \cdot h_r}{e_r} \quad (2.11)$$

Onde:

Ipê Amarelo = $\gamma = 1068 \text{kgf/m}^3$

$e_r = 25 \text{cm} = 0.25 \text{m}$

$$P_{\text{ripas}} = \frac{1068 \cdot 0.05 \cdot 0.015}{0.25} = 3.20 \text{ kgf/m}^2 \text{ (Carga distribuída)}$$

5. Peso próprio das terças:

$$P_{\text{terças}} = \gamma \cdot \frac{b_t \cdot h_t}{S} \quad (2.12)$$

Onde:

$$S = 2.67\text{m}$$

$$P_{\text{terças}} = \frac{1068 \cdot 0.10 \cdot 0.175}{2.67} = 7 \text{ kgf/m}^2 \quad (\text{Carga distribuída})$$

6. Peso próprio da tesoura:

Para determinação do peso próprio da tesoura, será utilizado o método que foi utilizado no desenvolvimento do programa (para demonstração), calculando o peso próprio de cada barra e somando-as. Este método pode ser trabalhoso manualmente, visto que para certos tipos de tesouras existe a fórmula pronta que determina o seu peso próprio. Porém, como o programa visa resolver qualquer tipo de tesoura, mesmo as que não apresentam fórmulas prontas, foi usado este devido método.

Logo: Peso da barra:

$$P_{\text{barra}} = b_B \cdot h_B \cdot L_B \cdot \gamma \quad (2.13)$$

$$P_{\text{tesoura}} = \frac{\sum P_{\text{barra}}}{E \cdot Y} \quad (2.14)$$

Onde:

b_B = base da seção da barra;

h_B = altura da seção da barra;

L_B = comprimento da barra;

γ = peso específico da madeira;

X e Y = Dimensões do telhado.

Portanto:

$$P_{\text{barra1}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,78 \cdot 1068 = 44,54 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra2}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,78 \cdot 1068 = 44,54 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra3}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,78 \cdot 1068 = 44,54 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra4}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,78 \cdot 1068 = 44,54 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra5}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,78 \cdot 1068 = 44,54 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra6}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,78 \cdot 1068 = 44,54 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra7}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,67 \cdot 1068 = 42,77 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra8}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,67 \cdot 1068 = 42,77 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra9}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,67 \cdot 1068 = 42,77 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra10}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,67 \cdot 1068 = 42,77 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra11}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,67 \cdot 1068 = 42,77 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra12}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,67 \cdot 1068 = 42,77 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra13}} = 0,05 \cdot 0,10 \cdot 0,765 \cdot 1068 = 4,08 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra14}} = 0,10 \cdot 0,10 \cdot 2,78 \cdot 1068 = 29,69 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra15}} = 0,05 \cdot 0,10 \cdot 1,53 \cdot 1068 = 8,17 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra16}} = 0,10 \cdot 0,10 \cdot 3,08 \cdot 1068 = 32,89 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra17}} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot 2,29 \cdot 1068 = 36,68 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra18}} = 0,10 \cdot 0,10 \cdot 3,08 \cdot 1068 = 32,89 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra19}} = 0,05 \cdot 0,10 \cdot 1,53 \cdot 1068 = 8,17 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra20}} = 0,10 \cdot 0,10 \cdot 2,78 \cdot 1068 = 29,69 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{barra21}} = 0,05 \cdot 0,10 \cdot 0,765 \cdot 1068 = 4,08 \text{ kgf}$$

Logo:

$$P_{\text{tesoura}} = \frac{707,2}{4 \cdot 16} = 11,05 \text{ kgf/m}^2$$

Sobrecarga:

A sobrecarga será adicionada à carga permanente. Segundo a NBR 6120/1980, deverá ser adicionado à carga permanente, uma carga vertical de 1kN ou 100kfg.

Carga linear:

$$q = \frac{100}{E} \quad (2.15)$$

Carga distribuída:

$$Q = \frac{q}{S} \therefore \frac{100}{E \cdot S} \quad (2.16)$$

Onde:

E = espaçamento entre tesouras = 4m

S = espaçamento entre terças = 2.67m

Logo:

$$Q = \frac{100}{4 \cdot 2.67} = 9.36 \text{ kgf/m}^2$$

Carga na tesoura = carga permanente + sobrecarga

Carga na tesoura : $G = (45 + 13.5 + 8 + 3.20 + 7 + 11.05) + 9.36$

$$G = 97.11 \text{ Kgf/m}^2$$

A força P em cada nó da tesoura, é dada por:

$$P = G \cdot A_f \quad (2.17)$$

Onde: P = força em cada nó;

G = carga na tesoura (distribuída);

A_f = Área de influência referente a cada nó.

Área de Influência no Nó 1:

$$A_1 = \left(\frac{\frac{S}{2}}{\cos \theta} + \frac{a}{\cos \theta} \right) \cdot \left(\frac{E}{2} + \frac{E}{2} \right) = E \cdot \left(\frac{\frac{S}{2} + a}{\cos \theta} \right) \quad (2.18)$$

Área de Influência no Nó 2:

$$A_2 = \left(\frac{\frac{S}{2}}{\cos \theta} + \frac{\frac{S}{2}}{\cos \theta} \right) \cdot \left(\frac{E}{2} + \frac{E}{2} \right) = E \cdot \frac{S}{\cos \theta} \quad (2.19)$$

Logo:

$$A_1 = 4 \cdot \left(\frac{\frac{2.67}{2} + 1.50}{\cos 16^\circ} \right) = 11.79 \text{ m}^2$$

E:

$$A_2 = 4 \cdot \frac{2.67}{\cos 16^\circ} = 11.11 \text{ m}^2$$

Portanto:

$$P_1 = G \cdot A_1 \quad (2.20)$$

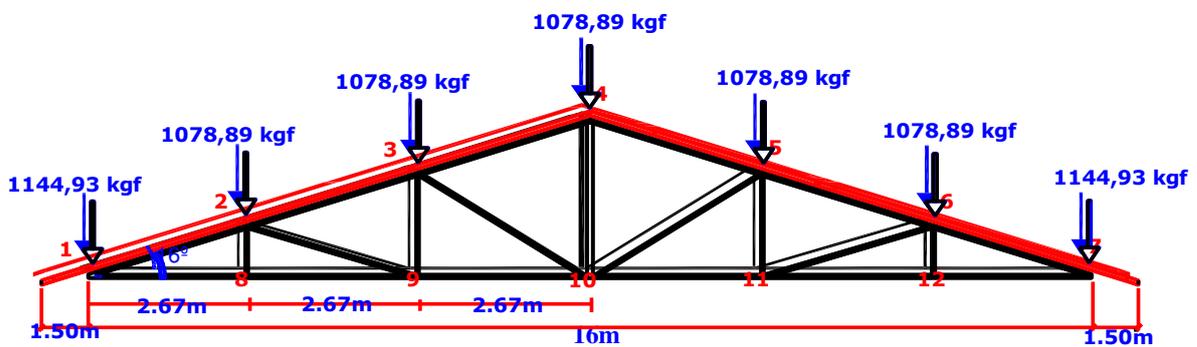
$$P_1 = 97.11 \cdot 11.79 = 1144.93 \text{ kgf}$$

E:

$$P_2 = G \cdot A_2 \quad (2.21)$$

$$P_2 = 97.11 \cdot 11.11 = 1078.89 \text{ kgf}$$

Figura 10: carga permanente mais sobrepressão.



Fonte: Autor (2017).

Ação do vento

1º Passo: Determinar a velocidade básica do vento;

Pelo mapa de vento (gráfico das isopletras), temos que, para região de São Luis – MA, Local onde será feito a obra, a velocidade básica tem um valor de:

$$V_o = 30 \text{ m/s}$$

2º Passo: Determinar os fatores de variação da velocidade básica.

Pelo quadro 2, temos:

$$S_1 = 1$$

Pelo quadro 3, temos:

Terreno plano ou ondulado com obstáculos, tais como sebes e muros (categoria 3);

Edificação com dimensões entre 20 e 50 metros (classe B).

Altura acima do terreno ($Z=10$).

Logo:

$$S_2 = 0,92$$

Pela tabela 4, temos:

Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (Galpão)

– Grupo 3

$$S_3 = 0,95$$

3 ° Passo: Determinar a velocidade característica:

Pela equação 2.3, temos:

$$V_K = 30 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,95 = 26,22 \text{ m/s}$$

4 ° Passo: Determinar a pressão dinâmica:

Pela equação 2.4, temos:

$$q = \frac{26,22^2}{16} = 42,97 \text{ daN/m}^2$$

5° Passo: Determinação dos coeficientes aerodinâmicos:

Dados de entrada:

$$\Theta = 16^\circ$$

$$\frac{h}{b} = \frac{6}{19} = 0,315 \leq \frac{1}{2}$$

Coeficiente de pressão externa

Para:

$\alpha = 90^\circ$ (Valores interpolados do quadro 5)

$$EF = -0,88 \quad C_e \cdot q = 42,97 \cdot 0,88 = 37,81 \text{ kgf/m}^2$$

$$GH = -0,40 \quad C_e \cdot q = 42,97 \cdot 0,40 = 17,19 \text{ kgf/m}^2$$

$\alpha = 0^\circ$ (Valores interpolados do quadro 5)

$$EF = -0,78$$

$$C_e \cdot q = 42,97 \cdot 0,78 = 33,52 \text{ kgf/m}^2$$

$$GH = -0,60$$

$$C_e \cdot q = 42,97 \cdot 0,60 = 25,78 \text{ kgf/m}^2$$

Deve-se pegar a condição mais desfavorável.

Logo:

$$C_e \cdot q = 37,81 \text{ kgf/m}^2 \quad (\text{Sucção})$$

Coeficiente de pressão interna

Duas faces opostas igualmente permeáveis, as outras faces impermeáveis.

$$C_i = -0,30$$

$$C_i = +0,20$$

Logo:

$$C_i \cdot q = 42,97 \cdot 0,30 = 12,89 \text{ kgf/m}^2 \quad (\text{Sobrepressão})$$

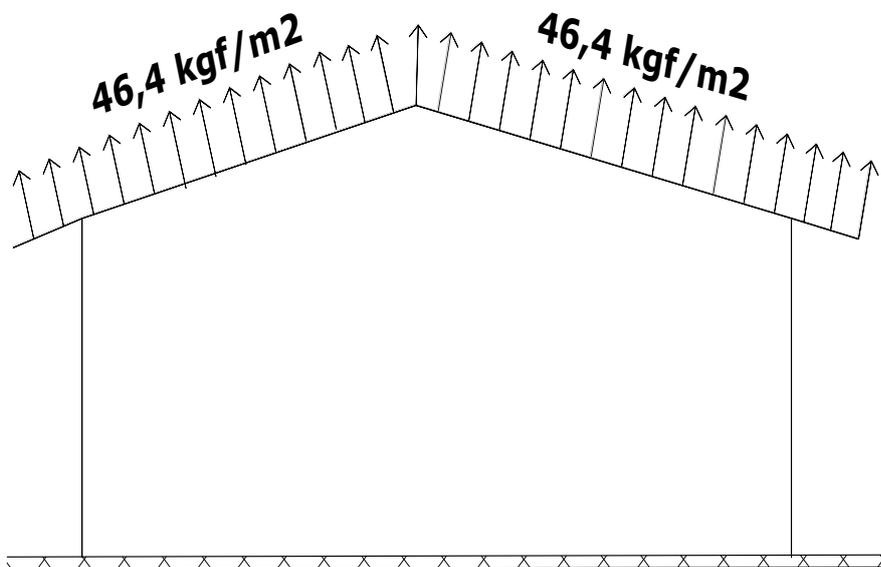
$$C_i \cdot q = 42,97 \cdot 0,20 = 8,59 \text{ kgf/m}^2 \quad (\text{Sucção})$$

Soma-se as condições mais desfavoráveis

$$\text{Sucção} = 37,81 + 8,59 = 46,4 \text{ kgf/m}^2$$

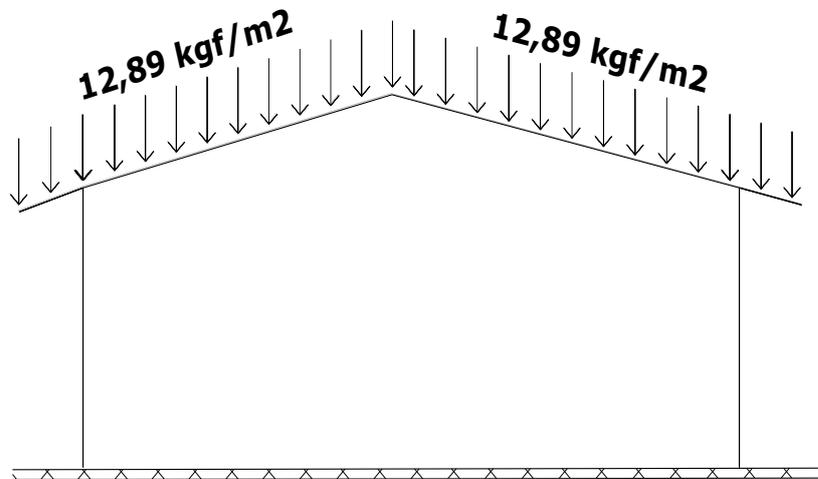
$$\text{Sobrepressão} = 12,89 \text{ kgf/m}^2$$

Figura 11: efeito de sucção no telhado



Fonte: Autor (2017)

Figura 12: efeito de sobrepressão no telhado



Fonte : Autor (2017)

Para obter a carga por nó, multiplica-se o carregamento de sucção e sobrepressão pela área de influência de cada nó.

Logo:

$$P_{1x \text{ sucção}} = \text{sucção} \cdot A_1 \cdot \text{sen } \theta$$

$$P_{1y \text{ sucção}} = \text{sucção} \cdot A_1 \cdot \text{cos } \theta$$

$$P_{2x \text{ sucção}} = \text{sucção} \cdot A_2 \cdot \text{sen } \theta$$

$$P_{2y \text{ sucção}} = \text{sucção} \cdot A_2 \cdot \text{cos } \theta$$

E:

$$P_{1x \text{ sobrepressão}} = \text{sobrepressão} \cdot A_1 \cdot \text{sen } \theta$$

$$P_{1y \text{ sobrepressão}} = \text{sobrepressão} \cdot A_1 \cdot \text{cos } \theta$$

$$P_{2x \text{ sobrepressão}} = \text{sobrepressão} \cdot A_2 \cdot \text{sen } \theta$$

$$P_{2y \text{ sobrepressão}} = \text{sobrepressão} \cdot A_2 \cdot \text{cos } \theta$$

Portanto:

$$P_{1x \text{ sucção}} = 46,4 \cdot 11,79 \cdot \text{sen } 16^\circ = 150,79 \text{ kgf}$$

$$P_{1y \text{ sucção}} = 46,4 \cdot 11,79 \cdot \text{cos } 16^\circ = 525,86 \text{ kgf}$$

$$P_{2x \text{ sucção}} = 46,4 \cdot 11,11 \cdot \text{sen } 16^\circ = 142,10 \text{ kgf}$$

$$P_{2y \text{ sucção}} = 46,4 \cdot 11,11 \cdot \text{cos } 16^\circ = 495,53 \text{ kgf}$$

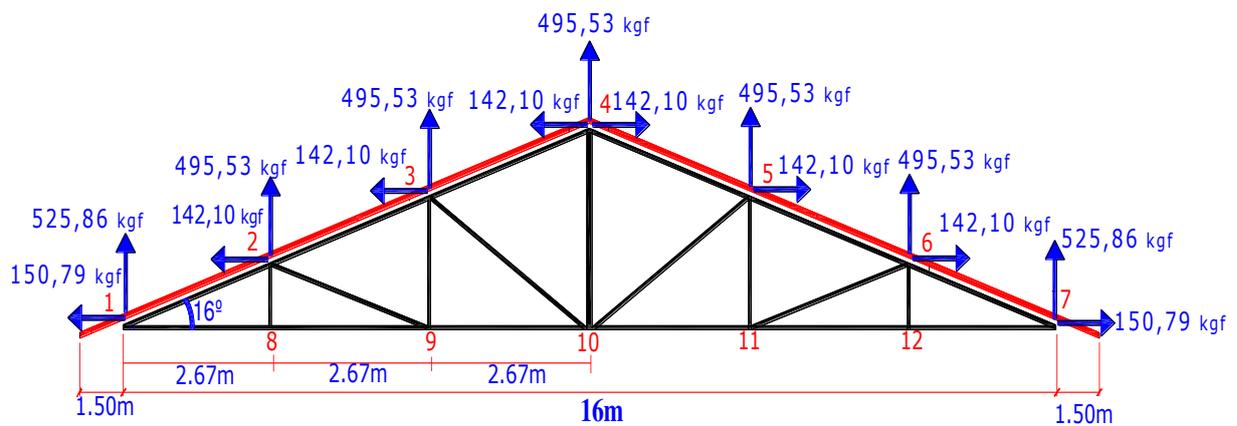
$$P_{1x} \text{ sobrepressão} = 12,89 \cdot 11,79 \cdot \text{sen } 16^\circ = 41,89 \text{ kgf}$$

$$P_{1y} \text{ sobrepressão} = 12,89 \cdot 11,79 \cdot \text{cos } 16^\circ = 147,10 \text{ kgf}$$

$$P_{2x} \text{ sobrepressão} = 12,89 \cdot 11,11 \cdot \text{sen } 16^\circ = 39,47 \text{ kgf}$$

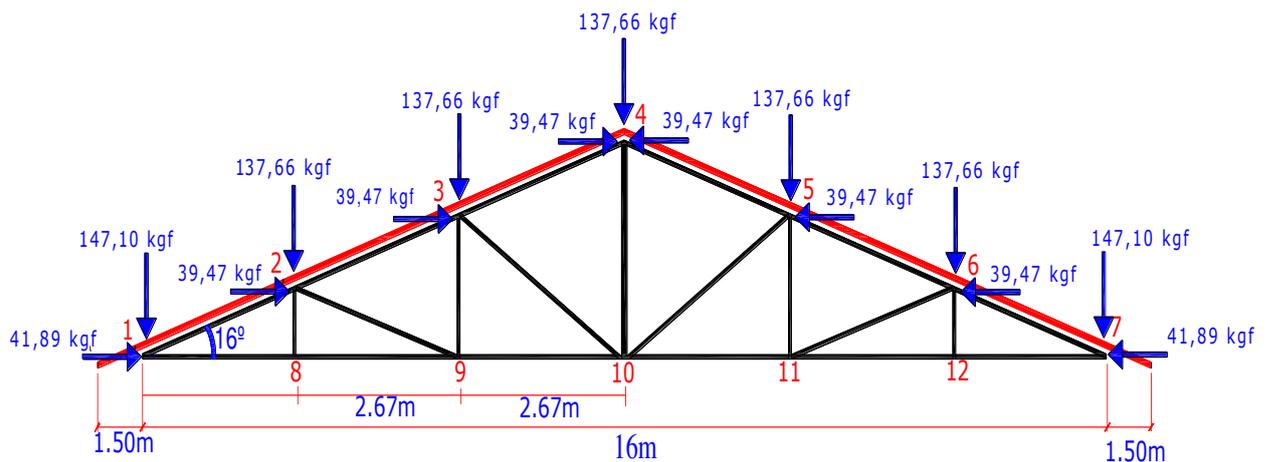
$$P_{2y} \text{ sobrepressão} = 12,89 \cdot 11,11 \cdot \text{cos } 16^\circ = 137,66 \text{ kgf}$$

Figura 13: carga de sucção por nó



Fonte: Autor (2017)

Figura 14: carga de sobrepressão por nó



Fonte: Autor (2017)

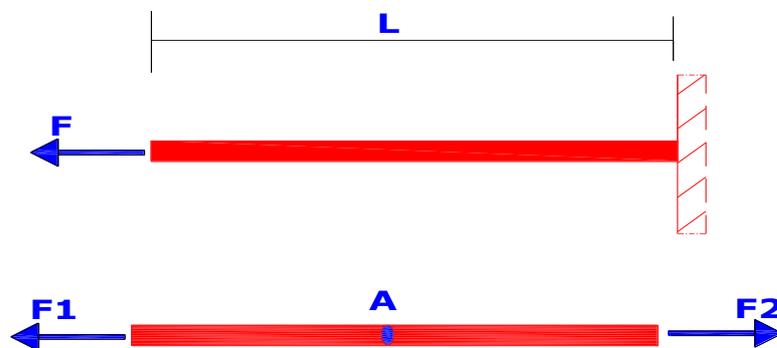
3 MÉTODO DE RESOLUÇÃO DA TRELIÇA (TESOURA)

O método utilizado para a resolução da tesoura desenvolvida no programa foi o método dos elementos finitos (MEF). Método este que permite a solução de problemas complexos de engenharia, onde, a solução analítica demonstra-se inapropriada e de grande trabalho.

No MEF, divide-se a estrutura em subdivisões, chamados de elementos finitos, sendo os elementos ligados por nós ou pontos nodais. No caso de treliça, estrutura em estudo, o método aplica-se considerando cada barra como elemento finito, também chamado de elemento de barra.

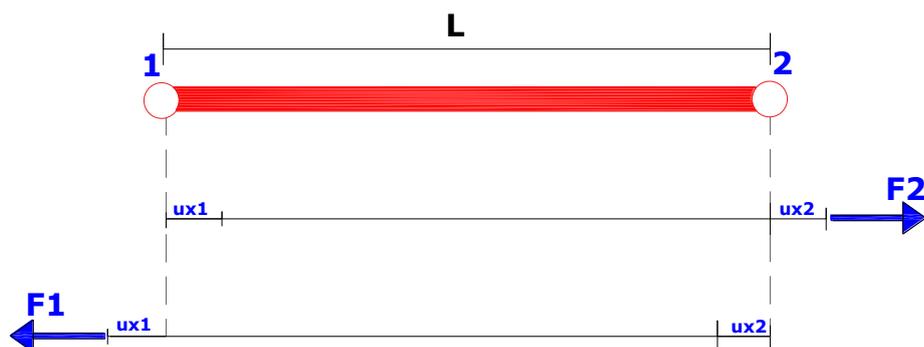
Para entender o conceito de elemento de barra, considere uma barra com área da seção transversal A , comprimento L , engastada, recebendo uma carga axial F de tração, onde $F_1 = F$ e F_2 sua reação, igual a $-F$. Este elemento consiste de dois nós (1 e 2) e dois graus de liberdade u_{x1} e u_{x2} .

Figura 15: Forças nodais



Fonte: Autor (2017)

Figura 16: deslocamento local do elemento de barra (plano x).



Fonte: Autor (2017)

Do estudo de resistência dos materiais, mais precisamente da lei de Hooke, temos a seguinte equação de equilíbrio da barra sob carregamento axial (equação tensão-deformação), dada por:

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x \quad (3.1)$$

Onde:

σ_x = Tensão normal;

E = Módulo de elasticidade;

ε_x = Deformação axial (linear).

E:

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A} \quad (3.2)$$

Onde:

F_x = Força axial;

A = Área da seção da barra.

E:

$$\varepsilon_x = \frac{u_{x2} - u_{x1}}{L} \quad (3.3)$$

Onde:

u_{x2} e u_{x1} = deslocamentos nodais (graus de liberdade).

Substituindo as expressões 3.2 e 3.3 na equação 3.1, temos:

$$\frac{F_2}{A} = E \cdot \frac{(u_{x2} - u_{x1})}{L} \quad \text{ou} \quad F_2 = E \cdot A \cdot \frac{(u_{x2} - u_{x1})}{L}$$

$$-\frac{F_1}{A} = E \cdot \frac{(u_{x2} - u_{x1})}{L} \quad \text{ou} \quad F_1 = - E \cdot A \cdot \frac{(u_{x2} - u_{x1})}{L}$$

Que podem ser reescritas na forma matricial, como:

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E \cdot A}{L} & -\frac{E \cdot A}{L} \\ \frac{E \cdot A}{L} & \frac{E \cdot A}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{x1} \\ u_{x2} \end{bmatrix}$$

Ou:

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} = \frac{E \cdot A}{L} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{x1} \\ u_{x2} \end{bmatrix}$$

Logo temos:

$$[F]^L = [K]^L \cdot [D]^L$$

Onde:

$[F]^L$ = Matriz força local;

$[K]^L$ = Matriz de rigidez local;

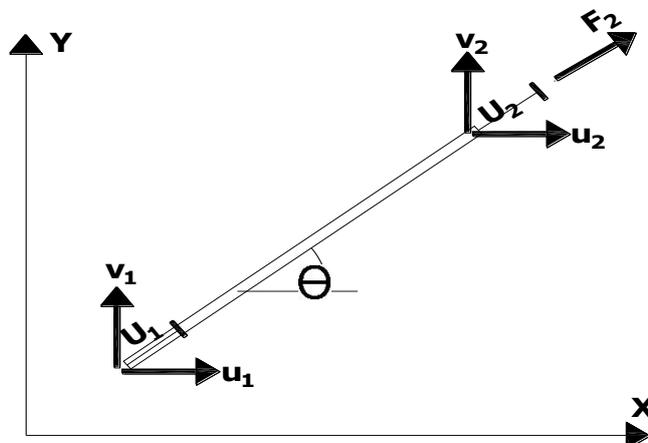
$[D]^L$ = Matriz deslocamento local.

Esta é a equação na forma fundamental de elementos finitos do elemento de barra.

Este elemento de barra está referenciado a um sistema de coordenadas local (eixo x), sendo necessário para analisar uma estrutura como um todo, referenciar o elemento em coordenadas globais (plano xy).

Portanto, considerando o elemento inclinado em relação ao eixo x, temos:

Figura 17: Deslocamento global do elemento de barra (plano x).



Fonte: Autor (2017)

Onde:

$$U_1 = u_1 \cdot \cos \theta + v_1 \cdot \sen \theta \quad (3.4)$$

$$U_2 = u_2 \cdot \cos \theta + v_2 \cdot \sen \theta \quad (3.5)$$

U_1 e U_2 são deslocamentos ao longo da barra, e Θ é o ângulo entre o eixo x e o eixo da barra, u_1, v_1, u_2, v_2 são as componentes dos deslocamentos U_1 e U_2 nas direções x e y. E suas relações podem ser escritas na forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sen \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \theta & \sen \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

Ou seja:

$$[D]^L = [T] \cdot [D]^G$$

Onde:

$[D]^L$ = Matriz deslocamento local;

$[T]$ = Matriz topológica;

$[D]^G$ = Matriz deslocamento global.

A força axial F_1 pode ser decomposta em componentes nas direções xy.

$$F_{1x} = F_1 \cdot \cos \theta \quad (3.6)$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \sen \theta \quad (3.7)$$

De maneira análoga temos para F_2 :

$$F_{2x} = F_2 \cdot \cos \theta \quad (3.8)$$

$$F_{2y} = F_2 \cdot \sen \theta \quad (3.9)$$

Onde, na forma matricial fica:

$$\begin{bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sen \theta & 0 \\ 0 & \cos \theta \\ 0 & \sen \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}$$

Ou seja:

$$[F]^G = [T]^T \cdot [F]^L \quad \text{ou} \quad [F]^G \cdot [T] = [F]^L$$

Onde:

$[F]^G$ = Matriz força global;

$[T]^T$ = Transposta da matriz topológica;

$[F]^L$ = Matriz força local.

Determinação da matriz de rigidez global

Temos que:

$$[D]^L = [T] \cdot [D]^G$$

E:

$$[K]^L \cdot [D]^L = [F]^L$$

E:

$$[F]^L = [T] \cdot [F]^G$$

Logo:

$$[K]^L \cdot [T] \cdot [D]^G = [F]^L$$

$$[K]^L \cdot [T] \cdot [D]^G = [F]^G \cdot [T]$$

Portanto:

$$[T]^T [K]^L \cdot [T] \cdot [D]^G = [F]^G$$

ou:

$$[K]^G \cdot [D]^G = [F]^G$$

Assim temos:

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \text{sen } \theta & 0 \\ 0 & \cos \theta \\ 0 & \text{sen } \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{E \cdot A}{L} & -\frac{E \cdot A}{L} \\ -\frac{E \cdot A}{L} & \frac{E \cdot A}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{sen } \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \theta & \text{sen } \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \end{bmatrix}$$

$$\frac{E \cdot A}{L} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & -\cos \theta \\ \sin \theta & -\sin \theta \\ -\cos \theta & \cos \theta \\ -\sin \theta & \sin \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \theta & \sin \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \end{bmatrix}$$

$$\frac{E \cdot A}{L} \cdot \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \cos \theta \cdot \sin \theta & -\cos^2 \theta & -\cos \theta \cdot \sin \theta \\ \cos \theta \cdot \sin \theta & \sin^2 \theta & -\cos \theta \cdot \sin \theta & -\sin^2 \theta \\ -\cos^2 \theta & -\cos \theta \cdot \sin \theta & \cos^2 \theta & \cos \theta \cdot \sin \theta \\ -\cos \theta \cdot \sin \theta & -\sin^2 \theta & \cos \theta \cdot \sin \theta & \sin^2 \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \end{bmatrix}$$

Logo:

$$[K]^G = \frac{E \cdot A}{L} \cdot \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \cos \theta \cdot \sin \theta & -\cos^2 \theta & -\cos \theta \cdot \sin \theta \\ \cos \theta \cdot \sin \theta & \sin^2 \theta & -\cos \theta \cdot \sin \theta & -\sin^2 \theta \\ -\cos^2 \theta & -\cos \theta \cdot \sin \theta & \cos^2 \theta & \cos \theta \cdot \sin \theta \\ -\cos \theta \cdot \sin \theta & -\sin^2 \theta & \cos \theta \cdot \sin \theta & \sin^2 \theta \end{bmatrix}$$

Onde:

$[K]^G$ = Matriz de rigidez global

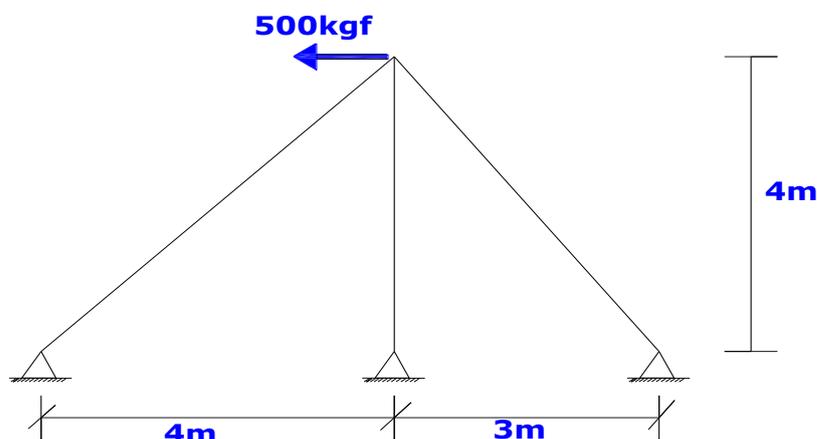
No exemplo a seguir, será dado um passo a passo para a resolução de qualquer treliça através do método dos elementos finitos.

3.1 Exemplo 2 (Método dos elementos finitos)

Resolva a treliça abaixo usando o método dos elementos finitos.

Determine os esforços por barras e suas reações.

Figura 18: Treliça usada no exemplo



Fonte: Autor (2017)

Onde:

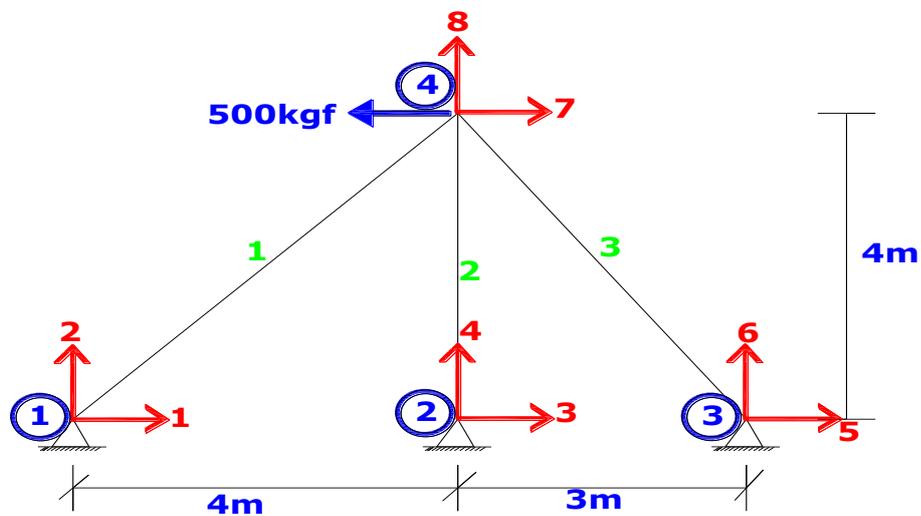
$$A = 2,37 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Resolução:

1º Passo: Enumerar os nós, elementos (barras) e graus de liberdade, conforme a figura 19.

Figura 19: Numeração dos graus de liberdades, nós e barras



Fonte: Autor (2017)

2º Passo: montar a matriz de rigidez para cada elemento.

Barra 1:

$$L1 = \sqrt{4^2 + 4^2} = 5,66$$

$$\cos \theta = \frac{4}{5,66} = 0,707$$

$$\sin \theta = \frac{4}{5,66} = 0,707$$

Graus de liberdades = 1, 2, 7, 8.

$$[K]_1^G = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,37 \cdot 10^{-3}}{5,66} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 2 & 7 & 8 \\ 0,5 & 0,5 & -0,5 & -0,5 \\ 0,5 & 0,5 & -0,5 & -0,5 \\ -0,5 & -0,5 & 0,5 & 0,5 \\ -0,5 & -0,5 & 0,5 & 0,5 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 7 \\ 8 \end{matrix}$$

Ou:

$$[K]_1^G = 210 \cdot 10^9 \cdot 2,37 \cdot 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} \overset{1}{0,088} & \overset{2}{0,088} & \overset{7}{-0,088} & \overset{8}{-0,088} \\ 0,088 & 0,088 & -0,088 & -0,088 \\ -0,088 & -0,088 & 0,088 & 0,088 \\ -0,088 & -0,088 & 0,088 & 0,088 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 7 \\ 8 \end{matrix}$$

Barra 2:

$$L_2 = 4$$

$$\cos \theta = 0$$

$$\sin \theta = 1$$

Graus de liberdades = 3, 4, 7, 8.

$$[K]_2^G = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,37 \cdot 10^{-3}}{4} \cdot \begin{bmatrix} \overset{3}{0} & \overset{4}{0} & \overset{7}{0} & \overset{8}{0} \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 4 \\ 7 \\ 8 \end{matrix}$$

Ou:

$$[K]_2^G = 210 \cdot 10^9 \cdot 2,37 \cdot 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} \overset{3}{0} & \overset{4}{0} & \overset{7}{0} & \overset{8}{0} \\ 0 & 0,25 & 0 & -0,25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0,25 & 0 & 0,25 \end{bmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 4 \\ 7 \\ 8 \end{matrix}$$

Barra 3:

$$L_3 = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5$$

$$\cos \theta = \frac{4-7}{5} = -0,6$$

$$\sin \theta = \frac{4}{5} = 0,8$$

Graus de liberdades = 5, 6, 7, 8.

$$[K]_3^G = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,37 \cdot 10^{-3}}{5} \cdot \begin{bmatrix} \overset{5}{0,36} & \overset{6}{-0,48} & \overset{7}{-0,36} & \overset{8}{0,48} \\ -0,48 & 0,64 & 0,48 & -0,64 \\ -0,36 & 0,48 & 0,36 & -0,48 \\ 0,48 & -0,64 & -0,48 & 0,64 \end{bmatrix} \begin{matrix} 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{matrix}$$

Ou:

$$[K]_3^G = 210 \cdot 10^9 \cdot 2,37 \cdot 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} \overset{5}{0,072} & \overset{6}{-0,096} & \overset{7}{-0,072} & \overset{8}{0,096} \\ -0,096 & 0,128 & 0,096 & -0,128 \\ -0,072 & 0,096 & 0,072 & -0,096 \\ 0,096 & -0,128 & -0,096 & 0,128 \end{bmatrix} \begin{matrix} \overset{5}{5} \\ \overset{6}{6} \\ \overset{7}{7} \\ \overset{8}{8} \end{matrix}$$

3º Passo: Montar a matriz de rigidez global da estrutura.

A matriz global da estrutura é dada pela superposição de todas as linhas e colunas das matrizes globais de cada elemento, de acordo com seu grau de liberdade, resultando:

$$[K]_{\text{estrutura}}^G = 497,7 \cdot 10^6 \cdot \begin{bmatrix} \overset{1}{0,088} & \overset{2}{0,088} & \overset{3}{0} & \overset{4}{0} & \overset{5}{0} & \overset{6}{0} & \overset{7}{-0,088} & \overset{8}{-0,088} \\ \overset{1}{0,088} & \overset{2}{0,088} & \overset{3}{0} & \overset{4}{0} & \overset{5}{0} & \overset{6}{0} & \overset{7}{-0,088} & \overset{8}{-0,088} \\ \overset{1}{0} & \overset{2}{0} & \overset{3}{0} & \overset{4}{0} & \overset{5}{0} & \overset{6}{0} & \overset{7}{0} & \overset{8}{0} \\ \overset{1}{0} & \overset{2}{0} & \overset{3}{0} & \overset{4}{0,25} & \overset{5}{0} & \overset{6}{0} & \overset{7}{0} & \overset{8}{-0,25} \\ \overset{1}{0} & \overset{2}{0} & \overset{3}{0} & \overset{4}{0} & \overset{5}{0,072} & \overset{6}{-0,096} & \overset{7}{-0,072} & \overset{8}{0,096} \\ \overset{1}{0} & \overset{2}{0} & \overset{3}{0} & \overset{4}{0} & \overset{5}{-0,096} & \overset{6}{0,128} & \overset{7}{0,096} & \overset{8}{-0,128} \\ \overset{1}{-0,088} & \overset{2}{-0,088} & \overset{3}{0} & \overset{4}{0} & \overset{5}{-0,072} & \overset{6}{0,096} & \overset{7}{0,160} & \overset{8}{-0,008} \\ \overset{1}{-0,088} & \overset{2}{-0,088} & \overset{3}{0} & \overset{4}{-0,25} & \overset{5}{0,096} & \overset{6}{-0,128} & \overset{7}{-0,008} & \overset{8}{0,466} \end{bmatrix} \begin{matrix} \overset{1}{1} \\ \overset{2}{2} \\ \overset{3}{3} \\ \overset{4}{4} \\ \overset{5}{5} \\ \overset{6}{6} \\ \overset{7}{7} \\ \overset{8}{8} \end{matrix}$$

4º Passo: Montar o vetor global de forças concentrada.

$$[F]^G = \begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \\ F4 \\ F5 \\ F6 \\ F7 \\ F8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -500 \\ 0 \end{bmatrix}$$

5º Passo: montar matriz de deslocamento global, com as condições de contorno.

$$[D]^G = \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \\ D4 \\ D5 \\ D6 \\ D7 \\ D8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ D7 \\ D8 \end{bmatrix}$$

Nos graus de liberdade 1, 2, 3, 4, 5 e 6, seu deslocamento é igual a zero devido ao apoio de segundo gênero.

6° Passo: Calcular os deslocamentos.

Temos, que:

$$[F]^G = [K]^G \cdot [D]^G$$

Ou:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -500 \\ 0 \end{bmatrix} = 497,7 \cdot 10^6 x \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ -0,088 & 0,088 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,088 & -0,088 \\ -0,088 & 0,088 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,088 & -0,088 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,25 & 0 & 0 & 0 & -0,25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,072 & -0,096 & -0,072 & 0,096 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,096 & 0,128 & 0,096 & -0,128 \\ -0,088 & -0,088 & 0 & 0 & -0,072 & 0,096 & 0,160 & -0,008 \\ -0,088 & -0,088 & 0 & -0,25 & 0,096 & -0,128 & -0,008 & 0,466 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ D7 \\ D8 \end{bmatrix}$$

Para critério de resolução do sistema, deve-se eliminar todas as linhas e colunas onde o deslocamento é igual a 0 (zero).

Com o restante dos valores monta-se o sistema que irá definir os valores dos deslocamentos.

Logo, temos o seguinte sistema:

$$\begin{cases} -500 = 497,7 \cdot 10^6 \cdot (0,160 \cdot D7 - 0,008 \cdot D8) \\ 0 = 497,7 \cdot 10^6 \cdot (-0,008 \cdot D7 + 0,466 \cdot D8) \end{cases}$$

Resolvendo o sistema, temos:

$$D7 = -6,284 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$D8 = -1,078 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

7º Passo: Calcular as reações.

Para o cálculo das reações, temos:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \\ F4 \\ F5 \\ F6 \\ F7 \\ F8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R1 \\ R2 \\ R3 \\ R4 \\ R5 \\ R6 \\ -500 \\ 0 \end{bmatrix} \quad e \quad \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \\ D4 \\ D5 \\ D6 \\ D7 \\ D8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -6,284 \cdot 10^{-6} \\ -1,078 \cdot 10^{-7} \end{bmatrix}$$

Logo:

$$\begin{bmatrix} R1 \\ R2 \\ R3 \\ R4 \\ R5 \\ R6 \\ -500 \\ 0 \end{bmatrix} = 497,7 \cdot 10^6 \times \begin{matrix} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} -0,088 & 0,088 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,088 & -0,088 \\ 0,088 & 0,088 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,088 & -0,088 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,25 & 0 & 0 & 0 & -0,25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,072 & -0,096 & -0,072 & 0,096 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,096 & 0,128 & 0,096 & -0,128 \\ -0,088 & -0,088 & 0 & 0 & -0,072 & 0,096 & 0,160 & -0,008 \\ -0,088 & -0,088 & 0 & -0,25 & 0,096 & -0,128 & -0,008 & 0,466 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \times \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{matrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -6,284 \cdot 10^{-6} \\ -1,078 \cdot 10^{-7} \end{bmatrix}$$

Resolvendo, temos:

$$R1 = 497,7 \cdot 10^6 \cdot ((-6,284 \cdot 10^{-6}) \cdot (-0,088) + (-1,078 \cdot 10^{-7}) \cdot (-0,088))$$

$$R1 = 279,94 \text{ Kgf}$$

$$R2 = 497,7 \cdot 10^6 \cdot ((-6,284 \cdot 10^{-6}) \cdot (-0,088) + (-1,078 \cdot 10^{-7}) \cdot (-0,088))$$

$$R2 = 279,94 \text{ Kgf}$$

$$R3 = 0 \text{ Kgf}$$

$$R4 = 497,7 \cdot 10^6 \cdot ((-1,078 \cdot 10^{-7}) \cdot (-0,25))$$

$$R4 = 13,41 \text{ Kgf}$$

$$R5 = 497,7 \cdot 10^6 \cdot ((-6,284 \cdot 10^{-6}) \cdot (-0,072) + (-1,078 \cdot 10^{-7}) \cdot (0,096))$$

$$R5 = 220,03 \text{ Kgf}$$

$$R6 = 497,7 \cdot 10^6 \cdot ((-6,284 \cdot 10^{-6}) \cdot (0,096) + (-1,078 \cdot 10^{-7}) \cdot (-0,128))$$

$$R6 = -293,38 \text{ Kgf}$$

8º Passo: Calcular as normais em cada barra.

Barra 1:

$$L1 = \sqrt{4^2 + 4^2} = 5,66$$

$$\cos \theta = \frac{4}{5,66} = 0,707$$

$$\text{sen } \theta = \frac{4}{5,66} = 0,707$$

Graus de liberdades = 1, 2, 7, 8

Temos que:

$$[F]^L = [K]^L \cdot [D]^L$$

Ou:

$$[F]^L = [K]^L \cdot [T] \cdot [D]^G$$

Portanto:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \frac{E \cdot A}{L} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{sen } \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \theta & \text{sen } \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

Como a normal $N = F2 = -F1$

Logo:

$$N = \frac{E \cdot A}{L} \cdot [-1 \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{sen } \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \theta & \text{sen } \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

$$N = \frac{E \cdot A}{L} \cdot [-1 \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta \cdot u_1 + \text{sen } \theta \cdot v_1 \\ \cos \theta \cdot u_2 + \text{sen } \theta \cdot v_2 \end{bmatrix}$$

$$N = \frac{E \cdot A}{L} \cdot (-(\cos \theta \cdot u_1 + \text{sen } \theta \cdot v_1) + (\cos \theta \cdot u_2 + \text{sen } \theta \cdot v_2))$$

Portanto, para barra 1 onde os graus de liberdades são 1, 2, 7, 8. Temos:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D7 \\ D8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -6,284 \cdot 10^{-6} \\ -1,078 \cdot 10^{-7} \end{bmatrix}$$

Ou seja:

$$N1 = \frac{497,7 \cdot 10^6}{5,66} \cdot (0,707 \cdot (-6,284 \cdot 10^{-6}) + 0,707 \cdot (-1,078 \cdot 10^{-7}))$$

$$N1 = -397,36 \text{ kgf}$$

Barra 2:

$$L2 = 4$$

$$\cos \theta = 0$$

$$\text{sen } \theta = 1$$

Graus de liberdades = 3, 4, 7, 8.

Portanto, para barra 2 onde os graus de liberdades são 3, 4, 7, 8. Temos:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D3 \\ D4 \\ D7 \\ D8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -6,284 \cdot 10^{-6} \\ -1,078 \cdot 10^{-7} \end{bmatrix}$$

$$N2 = \frac{497,7 \cdot 10^6}{4} \cdot (0 \cdot (-6,284 \cdot 10^{-6}) + 1 \cdot (-1,078 \cdot 10^{-7}))$$

$$N2 = -13,41 \text{ kgf}$$

Barra 3:

$$L3 = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5$$

$$\cos \theta = \frac{4-7}{5} = -0,6$$

$$\sin \theta = \frac{4}{5} = 0,8$$

Graus de liberdades = 5, 6, 7, 8.

Portanto, para barra 3 onde os graus de liberdades são 5, 6, 7, 8. Temos:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D5 \\ D6 \\ D7 \\ D8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -6,284 \cdot 10^{-6} \\ -1,078 \cdot 10^{-7} \end{bmatrix}$$

$$N3 = \frac{497,7 \cdot 10^6}{5} \cdot (-0,6 \cdot (-6,284 \cdot 10^{-6}) + 0,8 \cdot (-1,078 \cdot 10^{-7}))$$

$$N3 = 366,72 \text{ kgf}$$

4 DIMENSIONAMENTO

4.1 Condições para dimensionamento

A norma brasileira responsável por orientar o dimensionamento de peças de madeira, é a NBR 7190/1997. Neste trabalho, para o dimensionamento das peças da tesoura, irá ser utilizado os estados limites últimos.

Onde segundo a NBR (7190/1997, p.6), são:

Estados que por sua ocorrência, repetição ou duração causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da construção.

As condições de segurança no dimensionamento pelo estado limite último, segundo a norma, é garantido obedecendo as seguintes condições analíticas de segurança:

$$S_d \leq R_d$$

Onde:

S_d = Solicitação de cálculo;

R_d = Resistência de cálculo.

O valor da resistência de cálculo (R_d), é obtida através da seguinte expressão:

$$R_d = K_{mod} \cdot \frac{R_K}{\gamma_m} \quad (4.1)$$

Onde:

K_{mod} = Coeficiente de modificação;

γ_m = Coeficiente de minoração.

4.2 Roteiro de dimensionamento

Para o devido dimensionamento das barras de madeira utilizadas na tesoura, segue-se o seguinte roteiro de dimensionamento:

1º Passo: Cálculo do coeficiente de modificação (K_{mod}) ;

O coeficiente de modificação é dado pela expressão:

$$K_{mod} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot K_{mod3} \quad (4.2)$$

O valor de K_{mod1} está relacionado com a classe do carregamento e o tipo de madeira, conforme o quadro 8:

Quadro 8: Valores de K_{mod1}

Classes do carregamento	Tipos de madeiras	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira Compensada	Madeira recomposta
<i>Permanente</i>	0,60	0,30
<i>Longa duração</i>	0,70	0,45
<i>Média duração</i>	0,80	0,65
<i>Curta duração</i>	0,90	0,90
<i>Instantânea</i>	1,10	1,10

Fonte: ABNT NBR 7190/1997

Para identificar o valor de K_{mod2} , deve-se primeiro identificar a classe de umidade da madeira conforme o quadro 9. Com a classe da madeira, determina-se o valor de K_{mod2} relacionado no quadro 10.

Quadro 9: Classe de umidade da madeira

Classe de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Umidade de equilíbrio da madeira U_{eq}
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ Durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: ABNT NBR 7190/1997

Quadro 10: Valores de K_{mod2}

Classe de umidade	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
(1) e (2)	1,0	1,0
(2) e (4)	0,8	0,9

Fonte: ABNT NBR 7190/1997

O valor de K_{mod3} está relacionado à categoria da madeira e é determinado de acordo com o quadro 11.

Quadro 11: Valores de K_{mod3}

Categoria da Madeira	K_{mod3}
<i>Madeira de primeira categoria. Passou por classificação visual e mecânica.</i>	1,0
<i>Madeira de segunda categoria.</i>	0,8
<i>Coníferas</i>	0,8

Fonte: ABNT NBR 7190/1997

2º Passo: Cálculo da área útil das barras.

Para todas as barras da tesoura exceto as barras que compõem o banzo inferior, temos:

$$A_{\text{útil}} = b \cdot h \quad (4.3)$$

Onde:

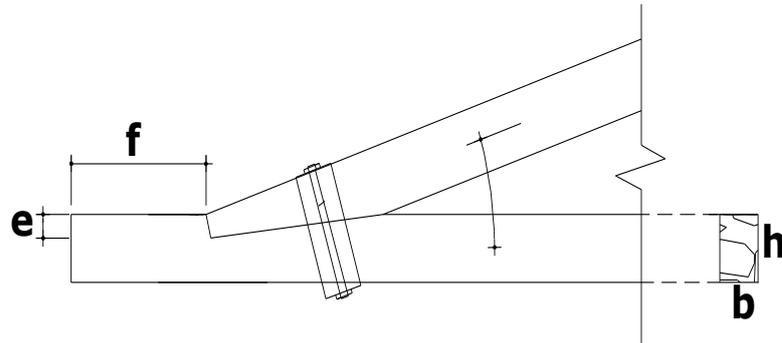
$A_{\text{útil}}$ = Área útil da barra;

b = Base da seção da barra;

h = altura da seção da barra.

Para o banzo inferior, temos devido a ligação, uma redução da área, conforme a figura 20.

Figura 20: Detalhamento da ligação do banzo inferior



Fonte: Autor (2017)

Onde:

e = dente causado na redução do banzo para ligação;

f = folga.

Segundo Moliterno, em *caderno de projetos de telhados em estruturas de Madeira*, temos a seguinte relação entre o dente da ligação entre banzo superior e banzo inferior e a altura da seção do banzo inferior:

$$\frac{1}{8} \cdot h < e \leq \frac{1}{4} \cdot h$$

Pegando o valor máximo de e , ou seja, $\frac{1}{4} \cdot h = 0,25 \cdot h$ (situação mais crítica), logo a área útil do banzo inferior é dada por:

$$A_{\text{útil}} = (h - 0,25 \cdot h) \cdot b = 0,75 \cdot b \cdot h \quad (4.4)$$

3º Passo: Combinar as forças que atuam na estrutura.

Segundo a NBR 7190/1997, a combinação das forças que atuam em uma estrutura de madeira é dada pela seguinte fórmula:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} \cdot F_{gi,k} + \gamma_q \cdot \left(F_{qi,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} \cdot F_{qj,k} \right) \quad (4.5)$$

Onde:

γ_{gi} = Coeficiente de majoração para as ações permanentes;

Pode ser para:

Ações permanentes de pequena variabilidade , quadro 12;

Ações permanentes de grande variabilidade, quadro 13;

$F_{gi,k}$ = Valor característico das ações permanentes;

γ_q = Coeficiente de majoração para ações Variáveis quadro 14;

$F_{qi,k}$ = Valor característico da ação variável considerada como ação principal;

ψ_{0j} = Coeficiente de minoração para as ações variáveis secundárias quadro 15;

$F_{qj,k}$ = Valor característico da ação variável considerada como ação secundária.

Quadro 12: Valores de γ_{gi} para pequena variabilidade

Ações permanentes de pequena variabilidade		
Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 1,0$
Especiais ou de construções	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,1$	$\gamma_g = 1,0$

Fonte: ABNT NBR 7190/1997

Quadro 13: Valores de γ_{gi} para grande variabilidade

Ações permanentes de grande variabilidade		
Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,4$	$\gamma_g = 0,9$
Especiais ou de construções	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 0,9$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0,9$

Fonte: ABNT NBR 7190/ 1997

Quadro 14: Valores de γ_q :

Combinações	Ações variáveis em geral, incluídas as cargas acidentais móveis
Normais	$\gamma_q = 1,4$
Especiais ou de construção	$\gamma_q = 1,2$
Excepcionais	$\gamma_q = 1,0$

Fonte: ABNT NBR 7190/1997

Quadro 15: Fatores de minoração

Fatores de minoração			
Ações em estruturas correntes	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
- Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
- Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
- Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2*
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2*
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4*
<i>*Admite-se $\psi_2 = 0$ quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico</i>			

Fonte: ABNT NBR 7190/1997

Como no estudo em questão, da tesoura de madeira, as cargas consideradas atuantes na estrutura são: a carga permanente mais a sobrecarga e a ação do vento. Portanto resumindo a expressão utilizando os devidos coeficientes, chega-se em uma fórmula de combinação a seguir:

$$N_d = 1,4 \cdot N_g + 1,4 \cdot 0,75 \cdot N_v \quad (4.6)$$

Onde:

N_d = Normal na barra após combinação;

N_g = Normal da barra devido à carga permanente mais sobrecarga.

N_v = Normal da barra devido à carga do vento

Segundo PAULO BAQUIL (2010, p.47)

Ação do vento pode ser considerada de longa duração desde que seja reduzida sua ação em 25%

Portanto, o valor de 0,75 é multiplicado para transformar a ação do vento em longa duração.

4º Passo: Dimensionamento à tração ou à compressão.

Após feita a combinação das normais em cada barra da tesoura, deve-se verificar se o dimensionamento será feito à tração (sinal positivo) ou à compressão (sinal negativo).

4.2.1 Dimensionamento à tração

Para o dimensionamento de uma peça de madeira à tração, deve-se seguir as seguintes etapas:

- 1- Identificar a resistência à tração paralela às fibras ($f_{t0,m}$) da madeira utilizada na peça, conforme o quadro 17
- 2- Identificar o coeficiente de ponderação (γ_w), conforme o quadro 16;

Quadro 16: Coeficientes de ponderação

Solicitação	γ_w
Compressão paralela às fibras	1,4
Tração paralela às fibras	1,8
Cisalhamento paralelo às fibras	1,8

Fonte: ABNT NBR 7190/1997

Quadro 17: Propriedades de algumas espécies de madeira

Nome comum	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (Kg/m ³)	$f_{c,m}$ (MPa)	$f_{t,m}$ (MPa)	$f_{90,m}$ (MPa)	$f_{v,m}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	n
Angelim Araroba	Vataireopsis araroba	688	50,5	69,2	3,1	7,1	12876	15
Angelim Ferro	Hymenolobium spp	1170	79,5	117,8	3,7	11,8	20827	20
Angelim Pedra	Hymenolobium petraeum	694	59,8	75,5	3,5	8,8	12912	39
Angelim Pedra V.	Dinizia excelsa	1170	76,7	104,9	4,8	11,3	16694	12
Branquilho	Terminalia spp	803	48,1	87,9	3,2	9,8	13481	10
Cafearana	Andira spp	677	59,1	79,7	3,0	5,9	14098	11
Canafistula	Cassia ferruginea	871	52,0	84,9	6,2	11,1	14613	12
Casca Grossa	Vochysia spp	801	56,0	120,2	4,1	8,2	16224	31
Castelo	Gossypiospermum praecox	759	54,8	99,5	7,5	12,8	11105	12
Cedro Amargo	Cedrella odorata	504	39,0	58,1	3,0	6,1	9839	21
Cedro Doce	Cedrella spp	500	31,5	71,4	3,0	5,6	8058	10
Champagne	Dipterys odorata	1090	93,2	133,5	2,9	10,7	23002	12
Cupiúba	Goupia glabra	838	54,4	62,1	3,3	10,4	13627	33
Catiúba	Qualea paraensis	1221	83,8	86,2	3,3	11,1	19426	13
E. Alba	Eucalyptus alba	705	47,3	69,4	4,6	9,5	13409	24
E. Camaldulensis	Eucalyptus camaldulensis	899	48,0	78,1	4,6	9,0	13286	18
E. Citriodora	Eucalyptus citriodora	999	62,0	123,6	3,9	10,7	18421	68
E. Cloeziana	Eucalyptus cloeziana	822	51,8	90,8	4,0	10,5	13963	21
E. Dunnii	Eucalyptus dunnii	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18029	15
E. Grandis	Eucalyptus grandis	640	40,3	70,2	2,6	7,0	12813	103
E. Maculata	Eucalyptus maculata	931	63,5	115,6	4,1	10,6	18099	53
E. Maidene	Eucalyptus maidene	924	48,3	83,7	4,8	10,3	14431	10
E. Microcorys	Eucalyptus microcorys	929	54,9	118,6	4,5	10,3	16782	31
E. Paniculata	Eucalyptus paniculata	1087	72,7	147,4	4,7	12,4	19881	29
E. Propinqua	Eucalyptus propinqua	952	51,6	89,1	4,7	9,7	15561	63
E. Punctata	Eucalyptus punctata	948	78,5	125,6	6,0	12,9	19360	70
E. Saligna	Eucalyptus saligna	731	46,8	95,5	4,0	8,2	14933	67
E. Tereticornis	Eucalyptus tereticornis	899	57,7	115,9	4,6	9,7	17198	29
E. Triantha	Eucalyptus triantha	755	53,9	100,9	2,7	9,2	14617	08
E. Umbra	Eucalyptus umbra	889	42,7	90,4	3,0	9,4	14577	08
E. Urophylla	Eucalyptus urophylla	739	46,0	85,1	4,1	8,3	13166	86
Garapa Roraima	Apuleia leiocarpa	892	78,4	108,0	6,9	11,9	18359	12
Guaíçara	Luetzelburgia spp	825	71,4	115,6	4,2	12,5	14624	11
Guaruaia	Peltophorum vogelianum	919	62,4	70,9	5,5	15,5	17212	13
Ipê	Tabebuia serratifolia	1068	76,0	96,8	3,1	13,1	18011	22
Jatobá	Hymenaea spp	1074	93,3	157,5	3,2	15,7	23607	20
Louro Preto	Ocotea spp	684	56,5	111,9	3,3	9,0	14185	24
Maçaranduba	Manilkara spp	1143	82,9	138,5	5,4	14,9	22733	12
Mandioqueira	Qualea spp	856	71,4	89,1	2,7	10,6	18971	16
Oiticica Amarela	Clarisia racemosa	756	69,9	82,5	3,9	10,6	14719	12
Pinho do Paraná	Araucaria angustifolia	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15225	15
Pinus caribea	Pinus caribea var. caribea	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8431	28
Pinus bahamensis	Pinus caribea var. bahamensis	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7110	32
Pinus hondurensis	Pinus caribea var. hondurensis	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9868	99
Pinus elliotii	Pinus elliotii var. elliotii	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11889	21
Pinus oocarpa	Pinus oocarpa shiede	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10904	71
Pinus taeda	Pinus taeda L.	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13304	15
Quarubarana	Erismia uncinatum	544	37,8	58,1	2,6	5,8	9067	11
Sucupira	Diplotropis spp	1106	95,2	123,4	3,4	11,8	21724	12
Tatajuba	Bagassa guianensis	940	79,5	78,8	3,9	12,2	19583	10

Fonte: ABNT NBR 7190/1997

Notas:

1) As propriedades de resistência e rigidez apresentadas neste anexo foram determinadas pelos ensaios realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo.

2) Coeficiente de variação para resistências a solicitações normais:

$$\delta = 18\%.$$

3) Coeficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais:

$$\delta = 28\%.$$

Onde:

$\rho_{ap(12\%)}$ é a massa específica aparente a 12% de umidade.

f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras.

f_{t0} é a resistência à tração paralela às fibras.

f_{t90} é a resistência à tração normal às fibras.

f_v é a resistência ao cisalhamento.

E_{c0} é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.

n é o número de corpos-de-prova ensaiados.

3- Calcular o valor da resistência característica à tração paralela às fibras

$(f_{t0,k})$. Dada por:

$$f_{t0,k} = 0,7 \cdot f_{t0,m} \quad (4.7)$$

4- Calcular o valor da resistência de cálculo à tração paralela às fibras

$(f_{t0,d})$. Dada por:

$$f_{t0,d} = K_{mod} \cdot \frac{f_{t0,k}}{\gamma_w} \quad (4.8)$$

5- Calcular a tensão de tração atuante na peça ($\sigma_{t0,d}$):

$$\sigma_{t0,d} = \frac{N_d}{A_{util}} \quad (4.9)$$

6- Fazer a verificação de segurança, ou seja, verificar se: $\sigma_{t0,d} \leq f_{t0,d}$.

4.2.2 Dimensionamento à compressão

Para o dimensionamento de uma peça de madeira à compressão, deve-se seguir as seguintes etapas:

1- Calcular a inércia mínima (I_{min}), dado por:

$$\text{menor valor entre : } I_{min} = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{e} \quad I_{min} = \frac{b^3 \cdot h}{12}$$

2- Calcular o raio de giração;

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} \quad (4.10)$$

3- Verificar o comprimento de flambagem;

Para treliça onde a barra se encontra em apoio/apoio nas suas extremidades, o comprimento de flambagem (L_o) é igual ao comprimento da barra.

4- Calcular o índice de esbeltez da barra, dado por:

$$\lambda = \frac{L_o}{i_{min}} \quad (4.11)$$

5- Verificar a classificação da peça quanto a esbeltez, de acordo com o quadro 18;

Quadro 18: Classificação das peças à compressão

Classificação das peças à compressão	Índice de esbeltez
Peça curta	$\lambda \leq 40$
Peça intermediária ou mediamente esbelta	$40 < \lambda \leq 80$
Peça longa ou esbelta	$80 < \lambda \leq 140$

Fonte: ABNT NBT 7190/1997

4.2.2.1 Dimensionamento de peças curtas

Segundo a NBR (7190/1997,p.25):

Para as peças curtas, definidas pelo índice de esbeltez $\lambda \leq 40$, que na situação de projeto são admitidas como solicitadas apenas à compressão simples, dispensa-se a consideração de eventuais efeitos de flexão

Para o dimensionamento deve-se seguir as seguintes etapas:

- 1- Identificar a resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,m}$) da madeira utilizada na peça, conforme o quadro 17;
- 2- Identificar o coeficiente de ponderação (γ_w), conforme o quadro 16;
- 3- Calcular o valor da resistência característica à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$). Dada por:

$$f_{c0,k} = 0,7 \cdot f_{c0,m} \quad (4.12)$$

- 4- Calcular o valor da resistência de cálculo à compressão paralela às fibras ($f_{co,d}$). Dada por:

$$f_{co,d} = K_{mod} \cdot \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} \quad (4.13)$$

- 5- Calcular a tensão de compressão atuante na peça devido à força normal ($\sigma_{co,d}$):

$$\sigma_{co,d} = \frac{N_d}{A_{util}} \quad (4.14)$$

- 6- Fazer a verificação de segurança, ou seja, verificar se: $\sigma_{co,d} \leq f_{co,d}$.

4.2.2.2 Dimensionamento de peças intermediárias ou mediantemente esbeltas

Segundo a NBR (7190/1997,p.25):

As peças medianamente esbeltas, definidas pelo índice de esbeltez $40 < \lambda \leq 80$, são submetidas na situação de projeto à flexo-compressão com os esforços de cálculo N_d e M_d

Para o dimensionamento deve-se seguir as seguintes etapas.

- 1- Identificar a resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,m}$) da madeira utilizada na peça, conforme o quadro 17;
- 2- Identificar o coeficiente de ponderação (γ_w), conforme o quadro 16;
- 3- Calcular o valor da resistência característica à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$). Dada pela equação 4.12.
- 4- Calcular o valor da resistência de cálculo à compressão paralela às fibras ($f_{co,d}$). Dada pela equação 4.13.
- 5- Calcular a tensão de compressão atuante na peça devido à força normal ($\sigma_{co,d}$), dada pela equação 4.14.
- 6- Calcular a tensão devido ao momento fletor (σ_{Md});

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{I_{\min}} \cdot y \quad (4.15)$$

Onde:

M_d = Momento de cálculo atuante;

I_{\min} = Momento de inércia mínimo;

y = Distância entre o eixo de menor inércia e a extremidade da seção.

$$M_d = N_d \cdot e_d \quad (4.16)$$

Onde:

N_d = Carga normal de cálculo atuante;

e_d = Excentricidade de cálculo.

$$e_d = e_1 \cdot \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \quad (4.17)$$

Onde:

e_1 = Soma das excentricidades inicial e acidental;

F_E = Carga crítica de Euler.

N_d = Carga normal de cálculo atuante;

$$e_1 = e_i + e_a \quad (4.18)$$

Onde:

e_i = excentricidade inicial;

Para treliça $e_i = 0$.

e_a = excentricidade acidenta

$$e_a = \frac{L_o}{300} \quad (4.19)$$

Onde:

L_o = Comprimento de flambagem;

$$F_E = \frac{\pi^2 \cdot E_{co,ef} \cdot I_{min}}{L_o^2} \quad (4.20)$$

Onde:

$E_{co,ef}$ = Módulo de elasticidade efetivo;

I_{min} = Momento de inércia mínimo;

L_o = Comprimento de flambagem;

$$E_{co,ef} = K_{mod} \cdot E_{co,m} \quad (4.21)$$

Onde:

K_{mod} = Coeficiente de modificação;

$E_{co,m}$ = Módulo de elasticidade médio à compressão paralela, quadro

7- Fazer a verificação de segurança, ou seja, verificar se:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{co,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{co,d}} \leq 1$$

4.2.2.3 Dimensionamento de peças longas ou esbeltas

Segundo a NBR (7190/1997,p.25):

As peças esbeltas, definidas pelo índice de esbeltez $\lambda > 80$, não se permitindo valor maior que 140, são submetidas na situação de projeto à flexo-compressão com os esforços de cálculo N_d e M_d .

Para o dimensionamento deve-se seguir as seguintes etapas:

- 1- Identificar a resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,m}$) da madeira utilizada na peça, conforme o quadro 17.
- 2- Identificar o coeficiente de ponderação (γ_w), conforme o quadro 16;
- 3- Calcular o valor da resistência característica à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$). Dada ela equação 4.12.
- 4- Calcular o valor da resistência de cálculo à compressão paralela às fibras ($f_{co,d}$). Dada pela equação 4.13.
- 5- Calcular a tensão de compressão atuante na peça devido à força normal ($\sigma_{co,d}$), dada pela equação 4.14.
- 6- Calcular a tensão devido ao momento fletor (σ_{Md}), dada pela equação 4.15;

Onde, para barras longas ou esbeltas, temos que:

$$M_d = N_d \cdot e_{1,ef} \cdot \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \quad (4.22)$$

Onde:

N_d = Carga normal de cálculo atuante;

$e_{1,ef}$ = Excentricidade efetiva de 1ª ordem;

F_E = Carga crítica de Euler.

Sendo:

$$e_{1,ef} = e_1 + e_c \quad (4.23)$$

$$e_{1,ef} = e_i + e_a + e_c \quad (4.24)$$

Onde:

e_i = excentricidade inicial;

Para treliça $e_i = 0$.

e_a = excentricidade acidenta;

e_c = Excentricidade suplementar.

$$e_a = \frac{L_o}{300} \quad (10)$$

Onde:

L_o = Comprimento de flambagem.

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \cdot (e^c - 1) \quad (4.26)$$

Onde:

e_{ig} = Excentricidade inicial devido às cargas permanentes;

Para treliça $e_{ig} = 0$.

e_a = excentricidade acidenta;

e = Base neperiana. $e \cong 2,7183$;

c = Expoente da base neperiana.

$$c = \frac{\emptyset \cdot [N_{gk} + (\Psi_1 + \Psi_2) \cdot N_{qk}]}{F_E - [N_{gk} + (\Psi_1 + \Psi_2) \cdot N_{qk}]} \quad (4.27)$$

Onde:

\emptyset = Coeficiente de fluência, dado pelo quadro 19.

N_{gk} = Valor característico da força normal devido às cargas permanentes;

N_{qk} = Valor característico da força normal devido às cargas variáveis;

Ψ_1 e Ψ_2 = Coeficientes de minoração, quadro 15;

F_E = Carga crítica de Euler, dada pela equação 4.20.

Quadro 19: Valores do coeficiente de fluência

Classe de carregamento	Classes de umidade	
	(1) e (2)	(2) e (4)
Permanente ou de longa duração	0,8	2,0
Média duração	0,3	1,0
Curta duração	0,1	0,5

Fonte: ABNT NBR 7190/1997

7- Fazer a verificação de segurança, ou seja, verificar se:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{co,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{co,d}} \leq 1$$

A seguir, para exemplificar melhor o roteiro a ser seguido no dimensionamento de peças de madeira, temos um exemplo para dimensionar as barras de uma tesoura de madeira.

4.3 Exemplo 3 (Dimensionamento da tesoura)

Dimensionar as barras da tesoura de madeira utilizada no exemplo 1.

Dados: ver dados do exemplo 1.

Resolução

*Carregamentos na tesoura indicados nas figuras 10, 13 e 14.

A seguir temos as normais nas barras e suas combinações:

Quadro 20: Combinação das normais das barras.

Barras	Ng (kgf)	Nvsu (Kgf)	Nvso (Kgf)	Ng Nvsu (Kgf)	Ng Nvso (Kgf)
1	-9782,5	4493	-1248,2	-8977,85	-15006,1
2	-7830,3	3670,4	-1019,6	-7108,5	-12033
3	-5872	2844,8	-790,3	-5233,76	-9050,62
4	-5872	2844,8	-790,3	-5233,76	-9050,62
5	-7830,3	3670,4	-1019,6	-7108,5	-12033
6	-9782,5	4493	-1248,2	-8977,85	-15006,1
7	9403,3	-4168,1	1157,9	8788,12	14380,4
8	9403,3	-4168,1	1157,9	8788,12	14380,4
9	7527,5	-3235,6	898,9	7141,12	11482,3
10	7527,5	-3235,6	898,9	7141,12	11482,3
11	9403,3	-4168,1	1157,9	8788,12	14380,4
12	9403,3	-4168,1	1157,9	8788,12	14380,4
13	0	0	0	0	0
14	-1951,4	970,1	-269,5	-1713,36	-3014,94
15	538	-267,5	74,3	472,325	831,215
16	-2170,6	1078,9	-299,7	-1906	-3353,53
17	2159,2	-1073,2	298,1	1896,02	3335,89
18	-2170,6	1078,9	-299,7	-1906	-3353,53
19	538	-267,5	74,3	472,325	831,215
20	-1951,4	970,1	-269,5	-1713,36	-3014,94
21	0	0	0	0	0

Fonte: Autor (2017)

Onde:

Ng = Normal causada pela carga permanente mais sucção;

Nvsu = Normal causada pela ação do vento na sucção;

Nvso = Normal causada pela ação do vento sobrepressão;

Ng|Nvsu = Combinação da normal da carga permanente mais sobrecarga com a normal do vento na sucção;

Ng|Nvso = Combinação da normal da carga permanente mais sobrecarga com a normal do vento na sobrepressão.

Cálculo do K_{mod}

Classe do carregamento: Permanente.

$$K_{mod1} = 0,6$$

Classe de umidade: Classe 2

$$K_{\text{mod}2} = 1,0$$

Categoria da madeira: Segunda categoria.

$$K_{\text{mod}3} = 0,8$$

$$K_{\text{mod}} = 0,6 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,48$$

Cálculo da área útil das barras

Banzo superior (Barras 1, 2, 3, 4, 5, 6)

$$A_{\text{útil}} = b \cdot h = 10 \cdot 15 = 150 \text{ cm}^2$$

Banzo inferior (Barras 7, 8, 9, 10, 11, 12)

$$A_{\text{útil}} = 0,75 \cdot b \cdot h = 0,75 \cdot 10 \cdot 15 = 112,5 \text{ cm}^2$$

Montantes

Barras (13, 21)

$$A_{\text{útil}} = b \cdot h = 5 \cdot 10 = 50 \text{ cm}^2$$

Barras (15, 19)

$$A_{\text{útil}} = b \cdot h = 5 \cdot 10 = 50 \text{ cm}^2$$

Barras (17) - Pendural

$$A_{\text{útil}} = b \cdot h = 10 \cdot 15 = 150 \text{ cm}^2$$

Diagonais

Barras (14, 20)

$$A_{\text{útil}} = b \cdot h = 10 \cdot 10 = 100 \text{ cm}^2$$

Barras (16, 18)

$$A_{\text{útil}} = b \cdot h = 10 \cdot 10 = 100 \text{ cm}^2$$

Resistência à tração e à compressão das fibras da madeira.

Pelo quadro 17, temos:

Madeira: Ipê Amarelo

$$f_{t0,m} = 968 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (Tração)}$$

$$f_{c0,m} = 760 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (Compressão)}$$

Coefficiente de ponderação.

Pelo quadro 16, temos:

$$\text{Tração: } \gamma_w = 1,8$$

$$\text{Compressão: } \gamma_w = 1,4$$

Resistência característica à tração e à compressão

$$f_{t0,k} = 0,7 \cdot f_{t0,m} = 0,7 \cdot 968 = 677,6 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{c0,k} = 0,7 \cdot f_{c0,m} = 0,7 \cdot 760 = 532,0 \text{ kgf/cm}^2$$

Resistência de cálculo à tração e à compressão

$$f_{t0,d} = K_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t0,k}}{\gamma_w} = 0,48 \cdot \frac{677,6}{1,8} = 180,69 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{c0,d} = K_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} = 0,48 \cdot \frac{532}{1,4} = 182,40 \text{ kgf/cm}^2$$

Dimensionamento à tração

1ª hipótese: Permanente e sobrecarga mais ação do vento na sucção, quadro 21.

Quadro 21: Tabela de dimensionamento devido à sucção

Barras	Ng Nvsu (Kgf)	Aútil (cm ²)	f _{to,d} (Kgf/cm ²)	σ _{to,d}	Verificação
7	8788,12	112,5	180,69	78,117	Ok
8	8788,12	112,5	180,69	78,117	Ok
9	7141,12	112,5	180,69	63,477	Ok
10	7141,12	112,5	180,69	63,477	Ok
11	8788,12	112,5	180,69	78,117	Ok
12	8788,12	112,5	180,69	78,117	Ok
13	0	50	180,69	0	Ok
15	472,325	50	180,69	9,4465	Ok
17	1896,02	150	180,69	12,64	Ok
19	472,325	50	180,69	9,4465	Ok
21	0	50	180,69	0	Ok

Fonte: Autor (2017)

2ª hipótese: Permanente e sobrecarga mais ação do vento na sobrepressão.

Quadro 22: Tabela de dimensionamento devido à sobrepressão.

Barras	Ng Nvso (Kgf)	Aútil (cm ²)	f _{to,d} (Kgf/cm ²)	σ _{to,d}	Verificação
7	14380,4	112,5	180,69	127,83	Ok
8	14380,4	112,5	180,69	127,83	Ok
9	11482,3	112,5	180,69	102,06	Ok
10	11482,3	112,5	180,69	102,06	Ok
11	14380,4	112,5	180,69	127,83	Ok
12	14380,4	112,5	180,69	127,83	Ok
13	0	50	180,69	0	Ok
15	831,215	50	180,69	16,624	Ok
17	3335,89	150	180,69	22,239	Ok
19	831,215	50	180,69	16,624	Ok
21	0	50	180,69	0	Ok

Fonte: Autor (2017)

Dimensionamento à compressão

Cálculo do índice de esbeltez:

Quadro 23: Cálculo do índice de esbeltez

Barras	I _{min} (cm ⁴)	Área (cm ²)	I _{min} (cm)	Lo (cm)	λ	y (cm)
1	1250	150	2,88675	277,45	96,1115	5
2	1250	150	2,88675	277,45	96,1115	5
3	1250	150	2,88675	277,45	96,1115	5
4	1250	150	2,88675	277,45	96,1115	5
5	1250	150	2,88675	277,45	96,1115	5
6	1250	150	2,88675	277,45	96,1115	5
14	833,33	100	2,88675	277,45	96,1117	5
16	833,33	100	2,88675	307,42	106,494	5
18	833,33	100	2,88675	307,42	106,494	5
20	833,33	100	2,88675	277,45	96,1117	5

Fonte: Autor (2017)

Como o índice de esbeltez das barras tem um valor maior que 80 e menor que 140, o dimensionamento das barras deve ser feito segundo o roteiro de peças longas ou esbeltas.

A tabela a seguir mostra o cálculo do expoente c , da base neperiana, usado no dimensionamento das barras. Dado pela fórmula 4.27.

Quadro 24: Cálculo do expoente c nas ações de: carga permanente mais sobrecarga com ação do vento na sucção.

Cálculo do expoente c							
Barras	Ngk (Kgf)	Nqk (Kgf)	Φ	ψ_1	ψ_2	FE (Kgf)	c
1	9782,5	4493	0,8	0,2	0	13855,41	2,6919
2	7830,3	3670,4	0,8	0,2	0	13855,41	1,2949
3	5872	2844,8	0,8	0,2	0	13855,41	0,695
4	5872	2844,8	0,8	0,2	0	13855,41	0,695
5	7830,3	3670,4	0,8	0,2	0	13855,41	1,2949
6	9782,5	4493	0,8	0,2	0	13855,41	2,6919
14	1951,4	970,1	0,8	0,2	0	9236,9	0,242
16	2170,6	1078,9	0,8	0,2	0	7523,7	0,3716
18	2170,6	1078,9	0,8	0,2	0	7523,7	0,3716
20	1951,4	970,1	0,8	0,2	0	9236,9	0,242

Fonte: Autor (2017)

Onde :

Φ = Coeficiente de fluência.

ψ_1 e ψ_2 = Coeficientes de minoração .

FE = Carga crítica de Euler

Quadro 25: Cálculo do expoente c nas ações de: carga permanente mais sobrecarga com ação do vento na sobrepressão.

Cálculo do expoente c							
Barras	Ngk (Kgf)	Nqk (Kgf)	Φ	ψ_1	ψ_2	FE (Kgf)	c
1	9782,5	1248,2	0,8	0,2	0	13855,41	2,0992
2	7830,3	1019,6	0,8	0,2	0	13855,41	1,1041
3	5872	790,3	0,8	0,2	0	13855,41	0,6165
4	5872	790,3	0,8	0,2	0	13855,41	0,6165
5	7830,3	1019,6	0,8	0,2	0	13855,41	1,1041
6	9782,5	1248,2	0,8	0,2	0	13855,41	2,0992
14	1951,4	269,5	0,8	0,2	0	9236,9	0,2218
16	2170,6	299,7	0,8	0,2	0	7523,7	0,3371
18	2170,6	299,7	0,8	0,2	0	7523,7	0,3371
20	1951,4	269,5	0,8	0,2	0	9236,9	0,2218

Fonte: Autor (2017)

Os quadros 27 e 28, mostram o dimensionamento e a verificação das barras sujeitas a compressão.

Correção das barras reprovadas

Para corrigir as barras reprovadas no dimensionamento, deve-se aumentar a seção e refazer o dimensionamento para verificação da condição de segurança.

Verifica-se que as barras reprovadas compõem o banzo superior, que tem seção de 10x15cm. Logo, aumenta-se a seção para 15x15cm.

Cálculo do índice de esbeltez:

Quadro 26: Novas seções para o redimensionamento

Novas seções						
Barras	Imin (cm ⁴)	Área (cm ²)	Imin (cm)	Lo (cm)	λ	y (cm)
1	4218,75	225	4,33013	277,45	64,0743	7,5
2	4218,75	225	4,33013	277,45	64,0743	7,5
3	4218,75	225	4,33013	277,45	64,0743	7,5
4	4218,75	225	4,33013	277,45	64,0743	7,5
5	4218,75	225	4,33013	277,45	64,0743	7,5
6	4218,75	225	4,33013	277,45	64,0743	7,5

Fonte: Autor (2017)

Como o índice de esbeltez tem valor maior que 40 e menor que 80 para todas as barras que serão modificadas, usa-se o roteiro de dimensionamento de peças intermediárias ou mediantemente esbelta, para as barras que serão modificadas.

Quadro 27: Dimensionamento e verificação das Barras sujeitas à sucção

PEÇAS LONGAS OU ESBELTAS												
Barras	Ng Nvsu (Kgf)	Aútil (cm ²)	Eco,ef (Kgf/cm ²)	ea	FE (Kgf)	c	ec	ei1,ef	σNd (Kgf/cm ²)	Md (Kgf.cm)	σMd (Kgf/cm ²)	Verificação
1	-8977,85	150	86452,8	0,9248	13855,41	2,6919	12,725	13,65	59,852	348114,456	1392,5	Reprovada
2	-7108,5	150	86452,8	0,9248	13855,41	1,2949	2,4513	3,3761	47,39	49284,6796	197,14	Reprovada
3	-5233,76	150	86452,8	0,9248	13855,41	0,695	0,9282	1,853	34,892	15585,7355	62,343	Ok
4	-5233,76	150	86452,8	0,9248	13855,41	0,695	0,9282	1,853	34,892	15585,7355	62,343	Ok
5	-7108,5	150	86452,8	0,9248	13855,41	1,2949	2,4513	3,3761	47,39	49284,6796	197,14	Reprovada
6	-8977,85	150	86452,8	0,9248	13855,41	2,6919	12,725	13,65	59,852	348114,456	1392,5	Reprovada
14	-1713,36	100	86452,8	0,9248	9236,9	0,242	0,2532	1,178	17,134	2477,98609	14,868	Ok
16	-1906	100	86452,8	1,0247	7523,7	0,3716	0,4612	1,4859	19,06	3792,93973	22,758	Ok
18	-1906	100	86452,8	1,0247	7523,7	0,3716	0,4612	1,4859	19,06	3792,93973	22,758	Ok
20	-1713,36	100	86452,8	0,9248	9236,9	0,242	0,2532	1,178	17,134	2477,98609	14,868	Ok

Fonte: Autor (2017)

Quadro 28: Dimensionamento e verificação das Barras sujeitas à sobrepressão.

PEÇAS LONGAS OU ESBELTAS												
Barras	Ng Nvso (Kgf)	Aútil (cm ²)	Eco,ef (Kgf/cm ²)	ea	FE (Kgf)	c	ec	ei1,ef	σNd (Kgf/cm ²)	Md (Kgf.cm)	σMd (Kgf/cm ²)	Verificação
1	-15006,1	150	86452,8	0,9248	13855,41	2,0992	6,6213	7,5461	100,04	-1363484,8	-5453,9	Reprovada
2	-12033	150	86452,8	0,9248	13855,41	1,1041	1,8649	2,7897	80,22	255212,988	1020,9	Reprovada
3	-9050,62	150	86452,8	0,9248	13855,41	0,6165	0,7883	1,7131	60,337	44711,0397	178,84	Reprovada
4	-9050,62	150	86452,8	0,9248	13855,41	0,6165	0,7883	1,7131	60,337	44711,0397	178,84	Reprovada
5	-12033	150	86452,8	0,9248	13855,41	1,1041	1,8649	2,7897	80,22	255212,988	1020,9	Reprovada
6	-15006,1	150	86452,8	0,9248	13855,41	2,0992	6,6213	7,5461	100,04	-1363484,8	-5453,9	Reprovada
14	-3014,94	100	86452,8	0,9248	9236,9	0,2218	0,2296	1,1544	30,149	5167,16919	31,003	Ok
16	-3353,53	100	86452,8	1,0247	7523,7	0,3371	0,4108	1,4355	33,535	8685,14599	52,111	Ok
18	-3353,53	100	86452,8	1,0247	7523,7	0,3371	0,4108	1,4355	33,535	8685,14599	52,111	Ok
20	-3014,94	100	86452,8	0,9248	9236,9	0,2218	0,2296	1,1544	30,149	5167,15647	31,003	Ok

Fonte: Autor (2017)

Obs: nas barras 1 e 6 onde σ_{Md} apresenta valor negativo, indica que a ação na barra é maior que a carga crítica de Euler FE, sendo, portanto, reprovada.

Quadro 29: Dimensionamento e verificação das Barras sujeitas à sucção, para novas seções adotadas

Novas seções - peça intermediária ou mediamente esbelta									
Barras	Ng Nvsu (Kgf)	Aútil (cm²)	Eco,ef (Kgf/cm²)	FE (Kgf)	e1	ed	σNd (Kgf/cm²)	σMd (Kgf/cm²)	Verificação
1	-8977,85	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,1445	39,902	18,27	Ok
2	-7108,5	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,0906	31,593	13,78	Ok
3	-5233,76	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,0413	23,261	9,689	Ok
4	-5233,76	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,0413	23,261	9,689	Ok
5	-7108,5	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,0906	31,593	13,78	Ok
6	-8977,85	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,1445	39,902	18,27	Ok

Fonte: Autor (2017)

Quadro 30: Dimensionamento e verificação das Barras sujeitas à sobrepressão, para novas seções adotadas

Novas seções - peça intermediária ou mediamente esbelta									
Barras	Ng Nvsu (Kgf)	Aútil (cm²)	Eco,ef (Kgf/cm²)	FE (Kgf)	e1	ed	σNd (Kgf/cm²)	σMd (Kgf/cm²)	Verificação
1	-15006,1	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,3618	66,694	36,33	Ok
2	-12033	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,2452	53,48	26,64	Ok
3	-9050,62	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,1467	40,225	18,45	Ok
4	-9050,62	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,1467	40,225	18,45	Ok
5	-12033	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,2452	53,48	26,64	Ok
6	-15006,1	225	86452,8	46762,56	0,9248	1,3618	66,694	36,33	Ok

Fonte: Autor (2017)

Portanto a nova seção será a de 15x15 para o banzo superior, mantendo as seções das demais

Portanto, temos:

Quadro 31: Resumo das barras

Resumo das barras							
Barras	Base (b) cm	Altura (h) cm	Comprimento (L) cm	Barras	Base (b) cm	Altura (h) cm	Comprimento (L) cm
1	15	15	277,45	12	10	15	266,7
2	15	15	277,45	13	5	10	76,5
3	15	15	277,45	14	10	10	277,45
4	15	15	277,45	15	5	10	152,9
5	15	15	277,45	16	10	10	307,42
6	15	15	277,45	17	10	15	229,4
7	10	15	266,7	18	10	10	307,42
8	10	15	266,7	19	5	10	152,9
9	10	15	266,7	20	10	10	277,45
10	10	15	266,7	21	5	10	76,5
11	10	15	266,7	-	-	-	-

Fonte: Autor (2017)

5 UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DA TESOURA

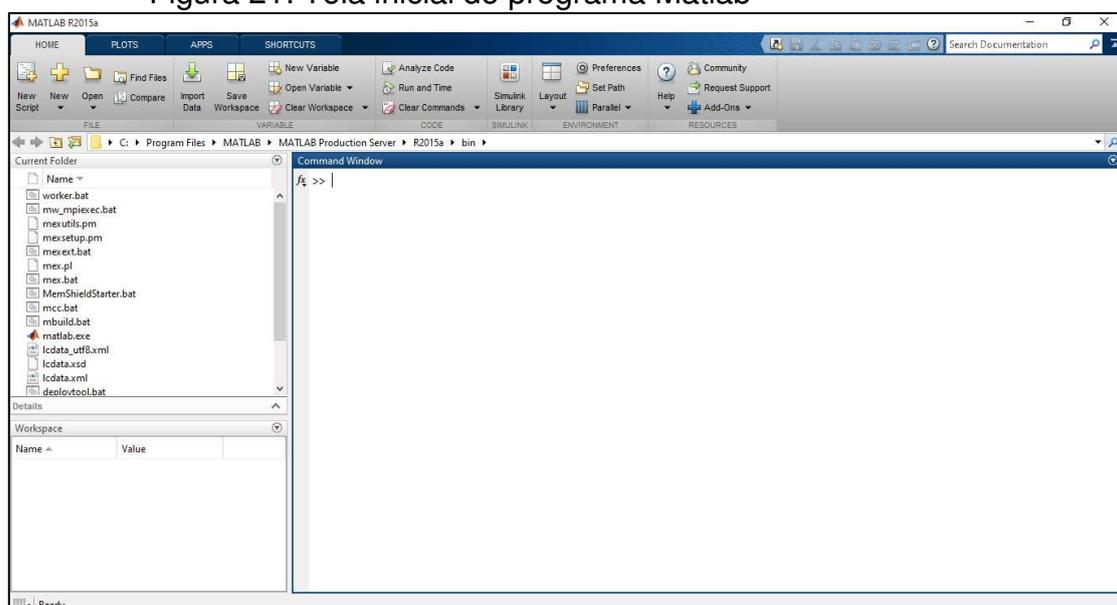
Nos capítulos anteriores foi demonstrado como obter os esforços atuantes na tesoura, o método de resolução da treliça utilizando o método dos finitos e o dimensionamento das barras da tesoura sujeitas à compressão e à tração. Neste capítulo será demonstrado o funcionamento do programa elaborado pelo autor, denominado de TMadCalc, onde foi implementado no Matlab. Para uma melhor interação do usuário com o programa, utilizou-se a ferramenta Gui (Graphics User Interface), do Matlab, para elaborar uma interface de fácil entendimento.

5.1 Como abrir o programa – tmadcalc

Para a utilização do programa, é necessário que o usuário tenha instalado em seu computador, o programa MATLAB. Todo o software (TMadCalc) está contido em uma pasta, que deverá ser acessada pelo Matlab, não sendo necessário a instalação do programa (apenas o Matlab). Para abrir o programa, deve-se seguir os seguintes passos:

1º Passo: Abrir o programa Matlab. Após abrir o Matlab, irá aparecer a seguinte Janela:

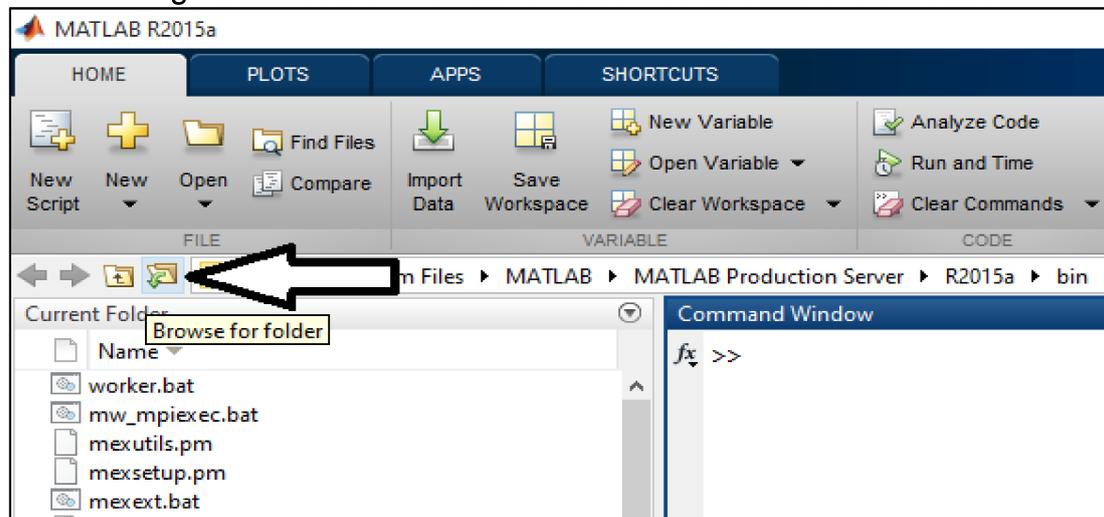
Figura 21: Tela inicial do programa Matlab



Fonte: Autor (2017)

2ºPasso: Buscar a pasta TMadCalc-versão 1.0 , no computador, clicando no botão “ Browse for folder”. Como mostra a figura a seguir:

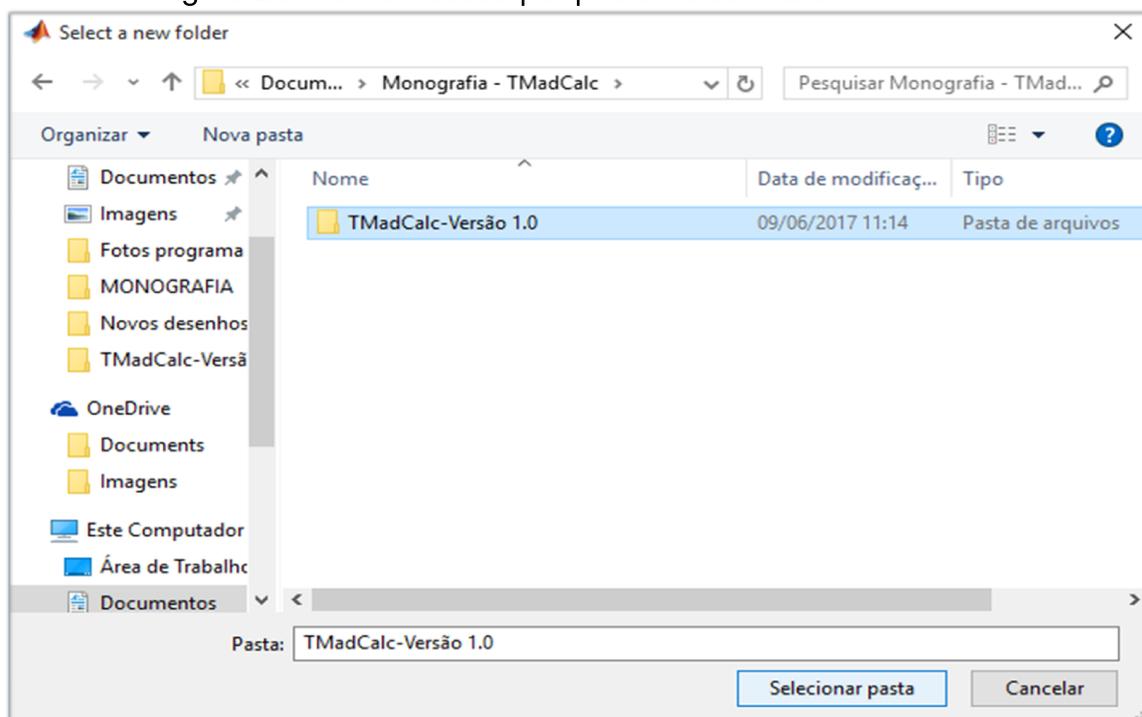
Figura 22: botão “Browse for folder” da tela inicial do Matlab



Fonte: Autor (2017)

Será aberto a seguinte pasta:

Figura 23: Tela de busca por pasta do software

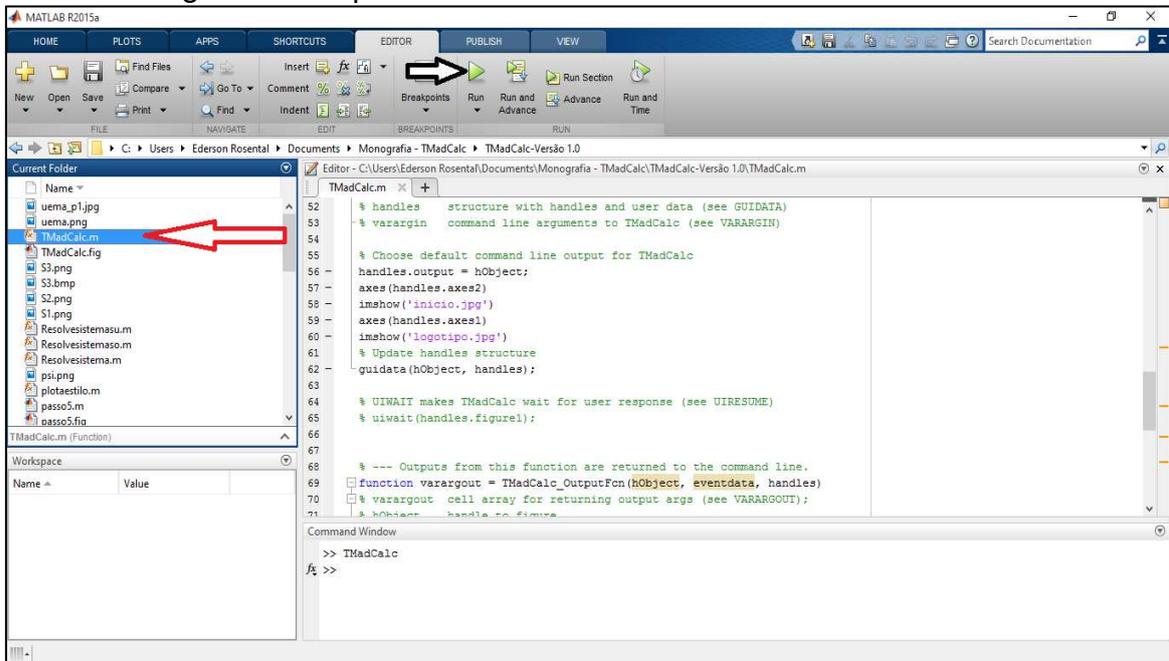


Fonte: Autor (2017)

Click em “Selecionar pasta”.

3º Passo: abrir o arquivo “TMadCalc.m” e executar o programa no botão “Run”.

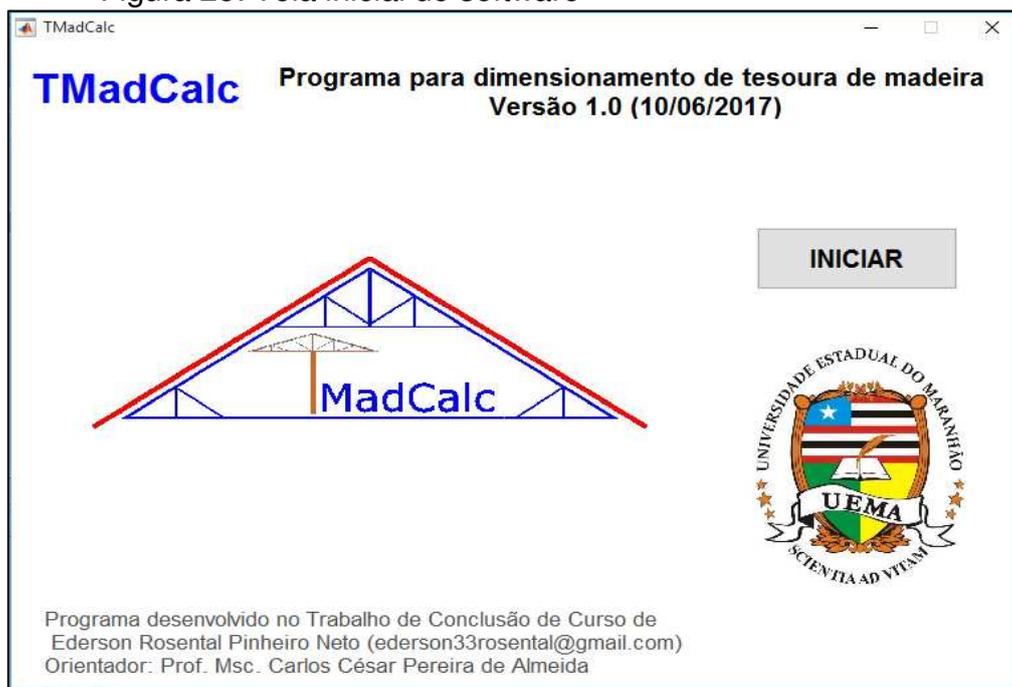
Figura 24: Arquivo inicial do software



Fonte: Autor (2017)

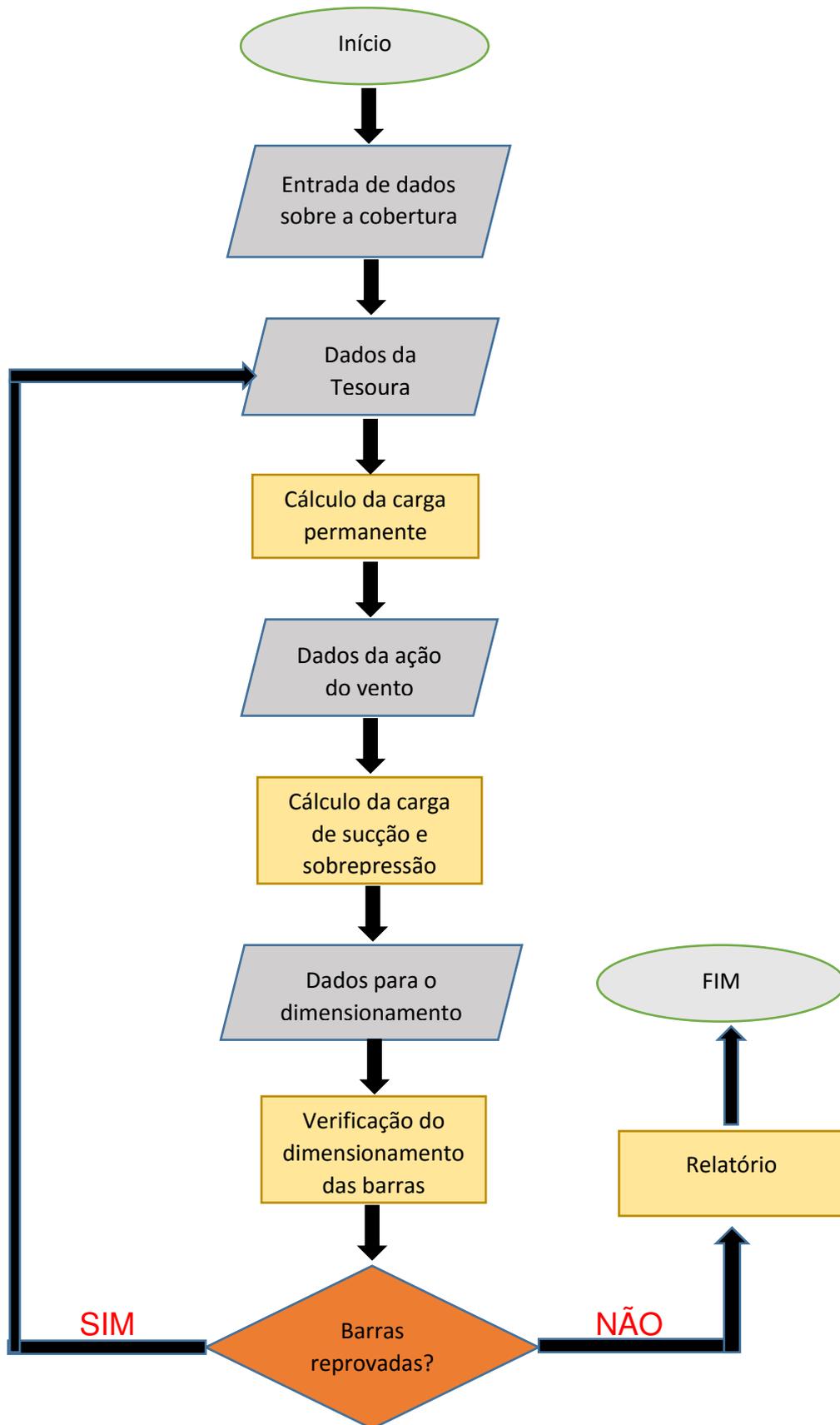
O Programa será iniciado, abrindo a seguinte janela:

Figura 25: Tela inicial do software



Fonte: Autor (2017)

Figura 26: Fluxograma do programa desenvolvido



Para uma fácil compreensão do programa, será feito um exemplo de para o dimensionamento de uma tesoura.

5.2 Exemplo 4 (Demonstração da execução do programa – TMadCalc)

Dimensionar a tesoura de madeira do exercício 1, de acordo com a cobertura dada, utilizando o programa TMadCalc.

Dados: os dados a serem inseridos estão representados nos exemplos anteriores.

Resolução:

Após iniciar o programa TMadCalc e aberto a janela inicial, figura 25, clica-se no botão “iniciar” para começar o dimensionamento.

Logo após, irá abrir uma janela com os primeiros passos para o dimensionamento da tesoura, conforme a figura a seguir:

Figura 27: Tela do primeiro passo

Fonte: Autor (2017)

Dados de entrada:

Comprimento da tesoura = 16 m

Comprimento do telhado = 20 m

Espaçamento entre tesouras = 4 m
 Espaçamento entre terças = 2.67 m
 Espaçamento entre caibros = 0.50 m
 Espaçamento entre ripas = 0.25 m
 Inclinação do telhado = 16 m
 Densidade da Madeira = 1068 kgf/m³
 Peso específico da telha = 45 kgf/m²
 Absorção da telha = 30%

Dimensões das peças

Caibro: $b = 0.05$ m
 $h = 0.075$ m
 Ripa: $b = 0.05$ m
 $h = 0.015$ m
 Terça: $b = 0.10$ m
 $h = 0.175$ m

Figura 28: Primeira tela com os dados preenchidos

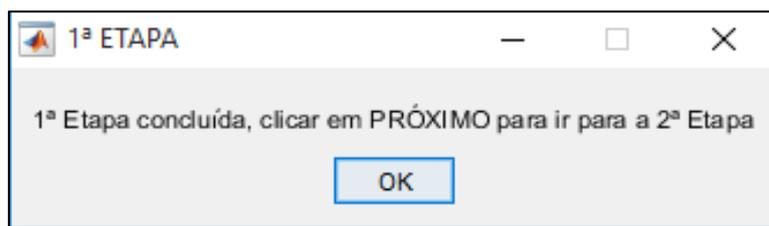
The screenshot shows a software window titled "PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA PRIMEIRO PASSO". The interface is divided into several sections:

- ESPECIFICAÇÃO DO TELHADO:** Includes fields for truss length (Y = 16), roof length (X = 20), spacing between trusses (E = 4), spacing between rafters (S = 2.67), spacing between purlins (ec = 0.50), spacing between battens (er = 0.25), roof extension (a = 1.5), and roof inclination (i = 16).
- DIMENSÕES DAS PEÇAS:** Fields for dimensions of wood components: Caibro (b = 0.05, h = 0.075), Ripa (b = 0.05, h = 0.015), and Terça (b = 0.10, h = 0.175).
- ESPECIFICAÇÃO DA MADEIRA:** Field for wood density (d = 1068).
- ESPECIFICAÇÃO DA TELHA:** Fields for tile weight (p = 45) and absorption (ab = 30).
- REPRESENTAÇÃO DO TELHADO:** A diagram showing the truss structure with labels for trusses (TESOURAS), rafters (RIPAS), purlins (CAIBRO), and battens (TERÇA). Dimensions E, S, ec, er, and a are indicated on the diagram.
- Navigation:** Buttons for "OK" and "PRÓXIMO" are located on the right side.

Fonte: Autor (2017)

Após os dados de entrada, clica-se no botão "OK". Uma janela aparecerá confirmando a conclusão do primeiro passo.

Figura 29: Tela de confirmação da 1ª etapa



Fonte: Autor (2017)

Agora clica-se no botão “PRÓXIMO”, para ir para o segundo passo do programa. Onde irá abrir a seguinte janela:

Figura 30: Tela do segundo passo.

**PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
SEGUNDO PASSO**
ESPECIFICAÇÃO DA TESOURA

COORDENADAS DOS PONTOS			ELEMENTOS (BARRAS)				SEÇÕES DAS BARRAS				
	X	Y	INICIO	FIM	INICIO	FIM	BASE (b)	ALTURA (h)	BASE (b)	ALTURA (h)	
NÓ 1	0	0	BARRA 1	0	0	BARRA 26	0	0	BARRA 26	0	0
NÓ 2	0	0	BARRA 2	0	0	BARRA 27	0	0	BARRA 27	0	0
NÓ 3	0	0	BARRA 3	0	0	BARRA 28	0	0	BARRA 28	0	0
NÓ 4	0	0	BARRA 4	0	0	BARRA 29	0	0	BARRA 29	0	0
NÓ 5	0	0	BARRA 5	0	0	BARRA 30	0	0	BARRA 30	0	0
NÓ 6	0	0	BARRA 6	0	0	BARRA 31	0	0	BARRA 31	0	0
NÓ 7	0	0	BARRA 7	0	0	BARRA 32	0	0	BARRA 32	0	0
NÓ 8	0	0	BARRA 8	0	0	BARRA 33	0	0	BARRA 33	0	0
NÓ 9	0	0	BARRA 9	0	0	BARRA 34	0	0	BARRA 34	0	0
NÓ 10	0	0	BARRA 10	0	0	BARRA 35	0	0	BARRA 35	0	0
NÓ 11	0	0	BARRA 11	0	0	BARRA 36	0	0	BARRA 36	0	0
NÓ 12	0	0	BARRA 12	0	0	BARRA 37	0	0	BARRA 37	0	0
NÓ 13	0	0	BARRA 13	0	0	BARRA 38	0	0	BARRA 38	0	0
NÓ 14	0	0	BARRA 14	0	0	BARRA 39	0	0	BARRA 39	0	0
NÓ 15	0	0	BARRA 15	0	0	BARRA 40	0	0	BARRA 40	0	0
NÓ 16	0	0	BARRA 16	0	0	BARRA 41	0	0	BARRA 41	0	0
NÓ 17	0	0	BARRA 17	0	0	BARRA 42	0	0	BARRA 42	0	0
NÓ 18	0	0	BARRA 18	0	0	BARRA 43	0	0	BARRA 43	0	0
NÓ 19	0	0	BARRA 19	0	0	BARRA 44	0	0	BARRA 44	0	0
NÓ 20	0	0	BARRA 20	0	0	BARRA 45	0	0	BARRA 45	0	0
NÓ 21	0	0	BARRA 21	0	0	BARRA 46	0	0	BARRA 46	0	0
NÓ 22	0	0	BARRA 22	0	0	BARRA 47	0	0	BARRA 47	0	0
NÓ 23	0	0	BARRA 23	0	0	BARRA 48	0	0	BARRA 48	0	0
NÓ 24	0	0	BARRA 24	0	0	BARRA 49	0	0	BARRA 49	0	0
NÓ 25	0	0	BARRA 25	0	0	BARRA 50	0	0	BARRA 50	0	0

OK !

PRÓXIMO

Fonte: Autor (2017)

Nessa Janela, é onde será especificado a Tesoura, de acordo com sua forma e dimensões das peças. Para representação da tesoura, deve-se seguir as seguintes etapas:

1- Representar os nós da tesoura (numerar);

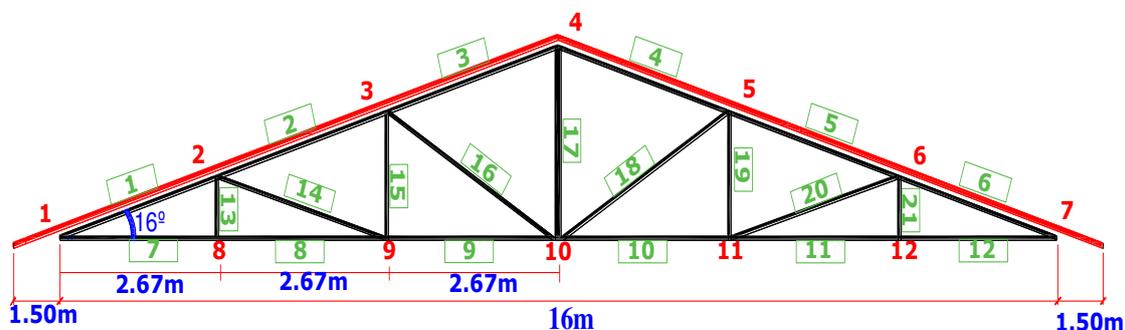
Nota: A critério do funcionamento correto do programa, a numeração dos nós deve começar pelo banzo superior da tesoura, conforme figura 30;

2- Representar as barras da tesoura (numerar);

3- Identificar os graus de liberdade de cada nó, figura 31.

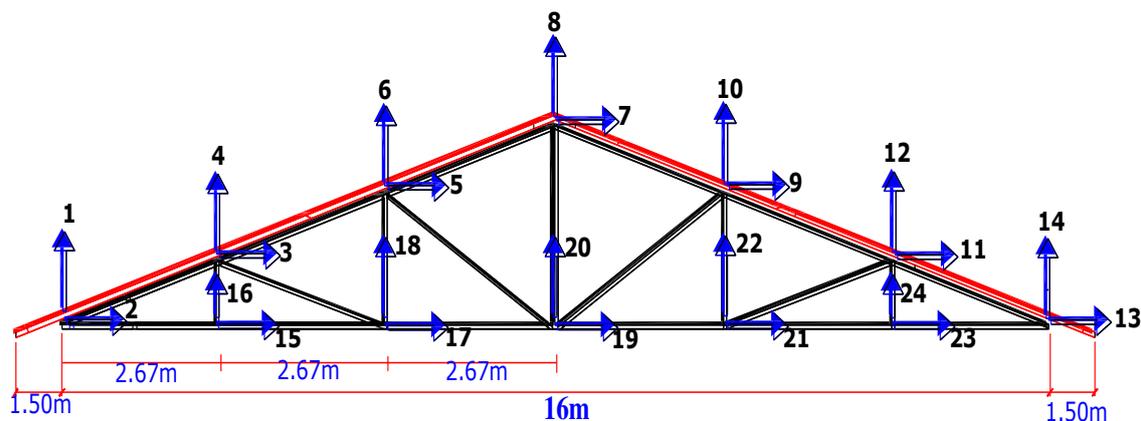
Nota: A critério do funcionamento correto do programa, deve-se numerar em cada nó primeiro a direção horizontal (número ímpar) depois a vertical (número par).

Figura 31: Numeração dos nós e barras da tesoura



Fonte: Autor (2017)

Figura 32: Numeração dos graus de liberdade da tesoura



Fonte: Autor (2017)

Dados de entrada:

Coordenadas dos nós:

Deve-se entrar com as coordenadas de cada nó, no plano xy.

Conforme figura 32.

Elementos:

É onde é definida cada barra, ligando seus respectivos nós. Conforme figura 32.

Seção das barras:

Deve-se entrar com as dimensões de cada barra que compõe a tesoura. Essas dimensões entram tanto no dimensionamento como no cálculo do peso próprio da tesoura, figura 32.

Figura 33: Tela do segundo passo preenchida

COORDENADAS DOS PONTOS			ELEMENTOS (BARRAS)				SEÇÕES DAS BARRAS				SEÇÕES DAS BARRAS			
	X	Y	INICIO	FIM	INICIO	FIM	BASE (b)	ALTURA (h)	BASE (b)	ALTURA (h)	BASE (b)	ALTURA (h)	BASE (b)	ALTURA (h)
NÓ 1	0	0	BARRA 1	1	2	BARRA 26	0	0	BARRA 1	0.10	0.15	BARRA 26	0	0
NÓ 2	2.667	0.765	BARRA 2	2	3	BARRA 27	0	0	BARRA 2	0.10	0.15	BARRA 27	0	0
NÓ 3	5.334	1.529	BARRA 3	3	4	BARRA 28	0	0	BARRA 3	0.10	0.15	BARRA 28	0	0
NÓ 4	8.001	2.294	BARRA 4	4	5	BARRA 29	0	0	BARRA 4	0.10	0.15	BARRA 29	0	0
NÓ 5	10.668	1.529	BARRA 5	5	6	BARRA 30	0	0	BARRA 5	0.10	0.15	BARRA 30	0	0
NÓ 6	13.335	0.765	BARRA 6	6	7	BARRA 31	0	0	BARRA 6	0.10	0.15	BARRA 31	0	0
NÓ 7	16.002	0	BARRA 7	7	8	BARRA 32	0	0	BARRA 7	0.10	0.15	BARRA 32	0	0
NÓ 8	2.667	0	BARRA 8	8	9	BARRA 33	0	0	BARRA 8	0.10	0.15	BARRA 33	0	0
NÓ 9	5.334	0	BARRA 9	9	10	BARRA 34	0	0	BARRA 9	0.10	0.15	BARRA 34	0	0
NÓ 10	8.001	0	BARRA 10	10	11	BARRA 35	0	0	BARRA 10	0.10	0.15	BARRA 35	0	0
NÓ 11	10.668	0	BARRA 11	11	12	BARRA 36	0	0	BARRA 11	0.10	0.15	BARRA 36	0	0
NÓ 12	13.335	0	BARRA 12	12	7	BARRA 37	0	0	BARRA 12	0.10	0.15	BARRA 37	0	0
NÓ 13	0	0	BARRA 13	2	8	BARRA 38	0	0	BARRA 13	0.05	0.10	BARRA 38	0	0
NÓ 14	0	0	BARRA 14	2	9	BARRA 39	0	0	BARRA 14	0.10	0.10	BARRA 39	0	0
NÓ 15	0	0	BARRA 15	3	9	BARRA 40	0	0	BARRA 15	0.05	0.10	BARRA 40	0	0
NÓ 16	0	0	BARRA 16	3	10	BARRA 41	0	0	BARRA 16	0.10	0.10	BARRA 41	0	0
NÓ 17	0	0	BARRA 17	4	10	BARRA 42	0	0	BARRA 17	0.10	0.15	BARRA 42	0	0
NÓ 18	0	0	BARRA 18	5	10	BARRA 43	0	0	BARRA 18	0.10	0.10	BARRA 43	0	0
NÓ 19	0	0	BARRA 19	5	11	BARRA 44	0	0	BARRA 19	0.05	0.10	BARRA 44	0	0
NÓ 20	0	0	BARRA 20	6	11	BARRA 45	0	0	BARRA 20	0.10	0.10	BARRA 45	0	0
NÓ 21	0	0	BARRA 21	6	12	BARRA 46	0	0	BARRA 21	0.05	0.10	BARRA 46	0	0
NÓ 22	0	0	BARRA 22	0	0	BARRA 47	0	0	BARRA 22	0	0	BARRA 47	0	0
NÓ 23	0	0	BARRA 23	0	0	BARRA 48	0	0	BARRA 23	0	0	BARRA 48	0	0
NÓ 24	0	0	BARRA 24	0	0	BARRA 49	0	0	BARRA 24	0	0	BARRA 49	0	0
NÓ 25	0	0	BARRA 25	0	0	BARRA 50	0	0	BARRA 25	0	0	BARRA 50	0	0

Fonte: Autor (2017)

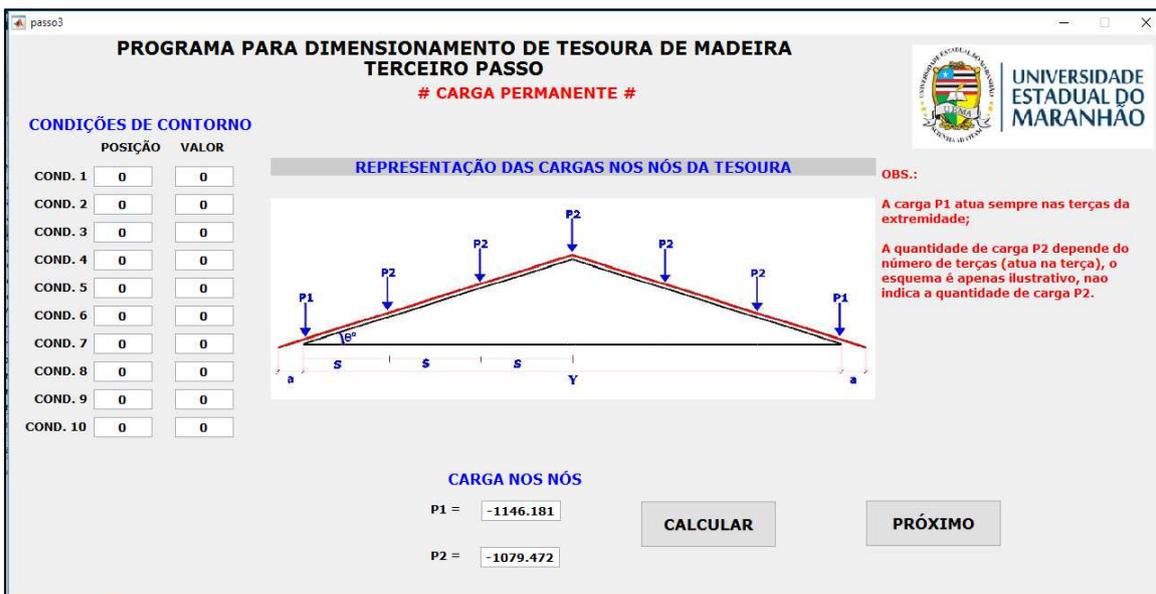
Após os dados de entrada, clica-se no botão "OK!". Uma janela aparecerá confirmando a conclusão do segundo passo.

Figura 34: Tela de confirmação da 2ª etapa

Fonte: Autor (2017)

Agora clica-se no botão "PRÓXIMO", para ir para o terceiro passo do programa. Onde irá abrir a seguinte janela:

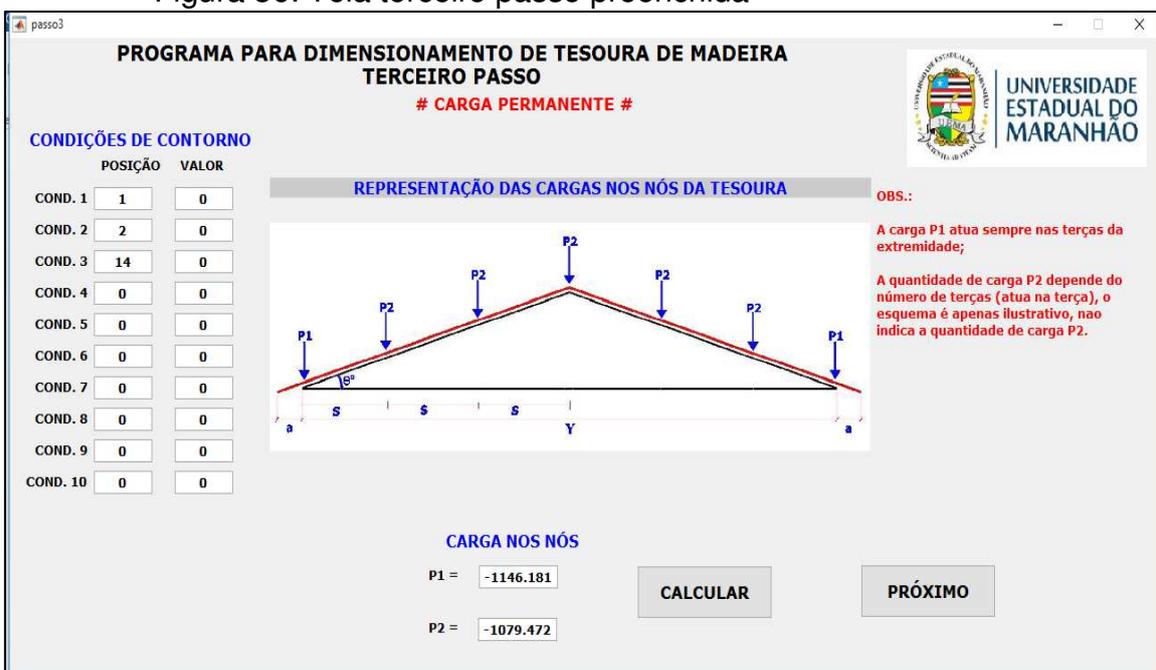
Figura 35: Tela do terceiro passo



Fonte: Autor (2017)

Nessa janela mostra as cargas P1 e P2 calculadas referente à carga permanente e a sobrecarga. Nessa janela entra com as condições de contorno da estrutura, onde no projeto, considera-se um apoio de segundo gênero no nó 1 e um de primeiro no nó 7. Logo:

Figura 36: Tela terceiro passo preenchida

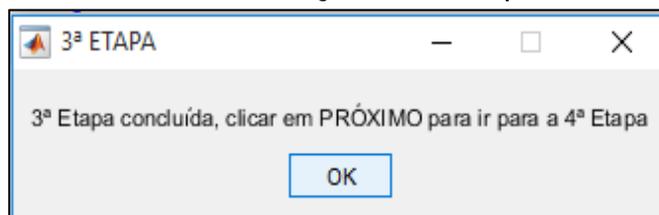


Fonte: Autor (2017)

A posição indica o grau de liberdade, e o valor indica o deslocamento. Como no nó 1 não temos deslocamentos nas direções x e y, o valor dos deslocamentos nos graus de liberdades 1 e 2 são 0. O mesmo ocorre no nó 7, porém só o grau 14 não tem deslocamento (direção y).

Após os dados de entrada, clica-se no botão “CALCULAR”. Uma janela aparecerá confirmando a conclusão do terceiro passo.

Figura 37: Tela de confirmação da 3ª etapa



Fonte Autor (2017)

Agora clica-se no botão “PRÓXIMO”, para ir para o quarto passo do programa. Onde irá abrir a seguinte janela:

Figura 38: Tela do quarto passo

Fonte: Autor (2017)

Nessa janela, deve-se entrar com os dados necessários para o dimensionamento sobre a ação do vento na cobertura. Nos botões “Ver Tabela”

abre-se as tabelas necessárias para identificar o valor correspondente de cada variável a ser adotada no projeto.

Dados de entrada:

Velocidade básica do vento: $V_0 = 30\text{m/s}$ (de acordo com a isopleta, adota-se V_0 para São Luis-MA, igual a 30m/s).

Figura 39: Preenchimento da velocidade básica do vento

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
QUARTO PASSO
AÇÃO DO VENTO NA COBERTURA

VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO V_0
 $V_0 = 30$ Ver Tabela

FATOR TOPOGRÁFICO
 $S_1 =$ Ver Tabela

FATOR DE RUGOSIDADE
 $S_2 =$ Ver Tabela

FATOR ESTATÍSTICO
 $S_3 =$ Ver Tabela

COEFICIENTE C_e
 90° EF $C_e =$
 GH $C_e =$ Ver Tabela
 0° EG $C_e =$ Ver Detalhe
 FH $C_e =$

COEFICIENTE C_i
 $C_i =$
 $C_i =$

Valores Geralmente utilizados:
 $C_i = +0.2$ $C_i = -0.3$

Para demais valores, consultar NBR 6123

GRÁFICO DAS ISOPLETAS DA VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO; " V_0 " EM m/s

CALCULAR

PRÓXIMO

Fonte: Autor (2017)

Figura 40: Preenchimento do fator topográfico : $S_1 = 1$

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
QUARTO PASSO
AÇÃO DO VENTO NA COBERTURA

VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO V_0
 $V_0 = 30$ Ver Tabela

FATOR TOPOGRÁFICO
 $S_1 = 1$ Ver Tabela

FATOR DE RUGOSIDADE
 $S_2 =$ Ver Tabela

FATOR ESTATÍSTICO
 $S_3 =$ Ver Tabela

COEFICIENTE C_e
 90° EF $C_e =$
 GH $C_e =$ Ver Tabela
 0° EG $C_e =$ Ver Detalhe
 FH $C_e =$

COEFICIENTE C_i
 $C_i =$
 $C_i =$

Valores Geralmente utilizados:
 $C_i = +0.2$ $C_i = -0.3$

Para demais valores, consultar NBR 6123

Caso	Topografia	S_1
a)	Todos os casos, exceto os seguintes.	1,0
b)	Encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento.	1,1
c)	Vales profundos, protegidos de todos os ventos	0.9

CALCULAR

PRÓXIMO

Fonte: Autor (2017)

Figura 41: Preenchimento do fator de rugosidade :S2 = 0.92

passo4

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
QUARTO PASSO
AÇÃO DO VENTO NA COBERTURA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO V_0
 $V_0 = 30$ Ver Tabela

FATOR TOPOGRÁFICO
 $S_1 = 1$ Ver Tabela

FATOR DE RUGOSIDADE
 $S_2 = 0.92$ Ver Tabela

FATOR ESTATÍSTICO
 $S_3 =$ Ver Tabela

COEFICIENTE C_e

90° EF $C_e =$ Ver Tabela
GH $C_e =$ Ver Tabela
EG $C_e =$ Ver Detalhe
0° FH $C_e =$

COEFICIENTE C_i

$C_i =$
 $C_i =$

Valores Geralmente utilizados:
 $C_i = +0.2$ $C_i = -0.3$

Para demais valores, consultar NBR 6123

z (m)	Categoria														
	1 Classe			2 Classe			3 Classe			4 Classe			5 Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,04	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,08	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,98	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,25	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18

CALCULAR

PRÓXIMO

Fonte: Autor (2017)

Figura 42: Preenchimento do Fator estatístico: S3 = 0.95

passo4

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
QUARTO PASSO
AÇÃO DO VENTO NA COBERTURA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO V_0
 $V_0 = 30$ Ver Tabela

FATOR TOPOGRÁFICO
 $S_1 = 1$ Ver Tabela

FATOR DE RUGOSIDADE
 $S_2 = 0.92$ Ver Tabela

FATOR ESTATÍSTICO
 $S_3 = 0.95$ Ver Tabela

COEFICIENTE C_e

90° EF $C_e =$ Ver Tabela
GH $C_e =$ Ver Tabela
EG $C_e =$ Ver Detalhe
0° FH $C_e =$

COEFICIENTE C_i

$C_i =$
 $C_i =$

Valores Geralmente utilizados:
 $C_i = +0.2$ $C_i = -0.3$

Para demais valores, consultar NBR 6123

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 indústrias 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 do grupo 1 a 3 durante a construção	0,83

CALCULAR

PRÓXIMO

Fonte: Autor (2017)

Coeficiente externos: Valores interpolados

Figura 43: coeficientes externos - tabela.

passo4

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
QUARTO PASSO
AÇÃO DO VENTO NA COBERTURA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO V_0
 $V_0 = 30$ Ver Tabela

FATOR TOPOGRÁFICO
 $S1 = 1$ Ver Tabela

FATOR DE RUGOSIDADE
 $S2 = 0.92$ Ver Tabela

FATOR ESTATÍSTICO
 $S3 = 0.95$ Ver Tabela

COEFICIENTE C_e

90° EF $C_e = -0.88$
 GH $C_e = -0.40$ Ver Tabela
 EG $C_e = -0.78$ Ver Detalhe
 0° FH $C_e = -0.60$

COEFICIENTE C_i
 $C_i =$
 $C_i =$

Valores Geralmente utilizados:
 $C_i = +0.2$ $C_i = -0.3$

Para demais valores, consultar NBR 6123

Altura relativa	Valores de C_e para			
	$\alpha = 90^\circ$	GH	EG	$\alpha = 0^\circ$
0'	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4
5'	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4
10'	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6
15'	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6
20'	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6
30'	0	-0,4	-0,7	-0,6
45'	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6
60'	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6
0'	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6
5'	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6
10'	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6
15'	-1,0	-0,6	-0,8	-0,6
20'	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6
30'	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8
45'	+0,2	-0,5	-0,8	-0,8
60'	+0,6	-0,5	-0,8	-0,8
0'	-0,8	-0,6	-0,9	-0,7
5'	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8
10'	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8
15'	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8
20'	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8
30'	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7
40'	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7
50'	+0,2	-0,5	-0,8	-0,7
60'	+0,5	-0,5	-0,8	-0,7

CALCULAR

PRÓXIMO

Fonte: Autor (2017)

A tela a seguir mostra o detalhe da projeção do vento na cobertura, em planta

Figura 44: Coeficientes externos – Detalhe da projeção do vento

passo4

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
QUARTO PASSO
AÇÃO DO VENTO NA COBERTURA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO V_0
 $V_0 = 30$ Ver Tabela

FATOR TOPOGRÁFICO
 $S1 = 1$ Ver Tabela

FATOR DE RUGOSIDADE
 $S2 = 0.92$ Ver Tabela

FATOR ESTATÍSTICO
 $S3 = 0.95$ Ver Tabela

COEFICIENTE C_e

90° EF $C_e = -0.88$
 GH $C_e = -0.40$ Ver Tabela
 EG $C_e = -0.78$ Ver Detalhe
 0° FH $C_e = -0.60$

COEFICIENTE C_i
 $C_i =$
 $C_i =$

Valores Geralmente utilizados:
 $C_i = +0.2$ $C_i = -0.3$

Para demais valores, consultar NBR 6123

vento

E	G
F	H
F	H
E	G

CALCULAR

PRÓXIMO

Fonte: Autor (2017)

Figura 45: preenchimento dos coeficientes internos

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
QUARTO PASSO
AÇÃO DO VENTO NA COBERTURA

VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO V_o
 $V_o = 30$ Ver Tabela

FATOR TOPOGRÁFICO
 $S_1 = 1$ Ver Tabela

FATOR DE RUGOSIDADE
 $S_2 = 0.92$ Ver Tabela

FATOR ESTATÍSTICO
 $S_3 = 0.95$ Ver Tabela

COEFICIENTE C_e
 90° EF $C_e = -0.88$
 GH $C_e = -0.40$ Ver Tabela
 0° EG $C_e = -0.78$ Ver Detalhe
 FH $C_e = -0.60$

COEFICIENTE C_i
 $C_i = -0.3$
 $C_i = 0.2$

Valores Geralmente utilizados:
 $C_i = +0.2$ $C_i = -0.3$

Para demais valores, consultar NBR 6123

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

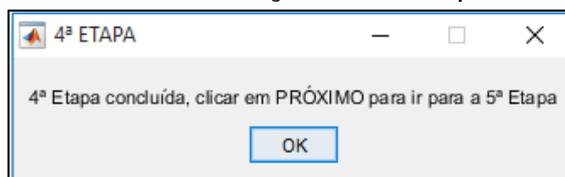
CALCULAR

PRÓXIMO

Fonte: Autor (2017)

Após os dados de entrada, clica-se no botão “CALCULAR”. Uma janela aparecerá confirmando a conclusão do quarto passo.

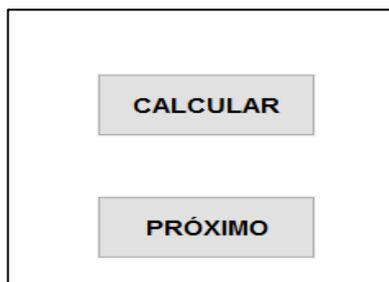
Figura 46: Tela de confirmação da 4ª etapa



Fonte: Autor (2017)

Agora clica-se no botão “PRÓXIMO”, para ir para o quinto passo do programa. Onde irá abrir a seguinte janela:

Figura 47: Botão “próximo”



Fonte: Autor (2017)

Figura 48: Tela do quinto passo

Fonte: Autor (2017)

Dados de entrada:

Identificar quais barras compõe o banzo inferior. Será reduzido de 25% da área das seções dos banzo inferior, devido a ligações ver [página\(...\)](#).

No exemplo dado, as barras do banzo inferior, são as barras 7, 8, 9,10, 11, 12.

Valores de Kmod.

$K_{mod1} = 0.6$

Figura 49: Preenchimento Kmod1

Classes do carregamento	TIPOS DE MADEIRA		
	Madeira serrada	Madeira laminada colada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30	
Longa duração	0,70	0,45	
Média duração	0,80	0,65	
Curta duração	0,90	0,90	
Instantânea	1,10	1,10	

Fonte: Autor (2017)

$K_{mod2} = 1$

Figura 50: Preenchimento K_{mod2}

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA QUINTO PASSO # DIMENSIONAMENTO #

IDENTIFICAR AS BARRAS DO BANZO INFERIOR

7, 8, 9, 10, 11, 12
OBS: As barras devem ser separadas por vírgulas.
EX: 1, 2, 3, 4

$K_{mod1} = 0.6$ Ver Tabela

$K_{mod2} = 1$ Ver Tabela

$K_{mod3} =$ Ver Tabela

TRAÇÃO

$f_{to,m} =$ kgf/cm²

$\gamma_w =$

COMPRESSÃO

$f_{co,m} =$ kgf/cm²

$\gamma_w =$

ϕ Ver Tabela

$E_{co,m} =$ kgf/cm²

$\psi_1 =$ Ver Tabela

$\psi_2 =$ Ver Tabela

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente (U_{amb})	Umidade de equilíbrio da madeira (U_{eq})
1	$< 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} < 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Classe de umidade	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

Barras Reprovadas na sucção

Barras Reprovadas na sobrepressão

CALCULAR

Redimensionar

Fonte: Autor (2017)

$K_{mod3} = 0.8$

Figura 51: Preenchimento K_{mod3}

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA QUINTO PASSO # DIMENSIONAMENTO #

IDENTIFICAR AS BARRAS DO BANZO INFERIOR

7, 8, 9, 10, 11, 12
OBS: As barras devem ser separadas por vírgulas.
EX: 1, 2, 3, 4

$K_{mod1} = 0.6$ Ver Tabela

$K_{mod2} = 1$ Ver Tabela

$K_{mod3} = 0.8$ Ver Tabela

TRAÇÃO

$f_{to,m} =$ kgf/cm²

$\gamma_w =$

COMPRESSÃO

$f_{co,m} =$ kgf/cm²

$\gamma_w =$

ϕ Ver Tabela

$E_{co,m} =$ kgf/cm²

$\psi_1 =$ Ver Tabela

$\psi_2 =$ Ver Tabela

Categoria da madeira	$K_{mod,3}$
Madeira de primeira categoria. Passou por classificação visual e mecânica.	1,0
Madeira de segunda categoria.	0,8

Barras Reprovadas na sucção

Barras Reprovadas na sobrepressão

CALCULAR

Redimensionar

Fonte: Autor (2017)

Tração:

$f_{to,m} = 968 \text{ kgf/cm}^2$

$\gamma_w = 1.8$

Compressão:

$$f_{co,m} = 760 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma_w = 1.4$$

$$\Phi = 0.8$$

Figura 52: Preenchimento dados à compressão e tração

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
QUINTO PASSO
DIMENSIONAMENTO

IDENTIFICAR AS BARRAS DO BANZO INFERIOR
 7, 8, 9, 10, 11, 12
 OBS: As barras devem ser separadas por vírgulas.
 EX: 1, 2, 3, 4

TRAÇÃO
 Kmod1 = 0.6 Ver Tabela
 Kmod2 = 1 Ver Tabela
 Kmod3 = 0.8 Ver Tabela
 fto,m = 968 kgf/cm2
 Yw = 1.8

COMPRESSÃO
 fco,m = 760 kgf/cm2
 Yw = 1.4
 ϕ = 0.8 Ver Tabela
 Eco,m = kgf/cm2
 Ψ_1 = Ver Tabela
 Ψ_2 = Ver Tabela

Classes de carregamento	Classes de umidade	
	(1) e (2)	(3) e (4)
Permanente ou de longa duração	0,8	2,0
Média duração	0,3	1,0
Curta duração	0,1	0,5

Barras Reprovadas na sucção:
 Barras Reprovadas na sobrepressão:

CALCULAR
 Redimensionar

Fonte: Autor (2017)

$$E_{co,m} = 180110 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\Psi_1 = 0.2 \text{ e } \Psi_2 = 0$$

Figura 53: preenchimento dos dados usados para compressão

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
QUINTO PASSO
DIMENSIONAMENTO

IDENTIFICAR AS BARRAS DO BANZO INFERIOR
 7, 8, 9, 10, 11, 12
 OBS: As barras devem ser separadas por vírgulas.
 EX: 1, 2, 3, 4

TRAÇÃO
 Kmod1 = 0.6 Ver Tabela
 Kmod2 = 1 Ver Tabela
 Kmod3 = 0.8 Ver Tabela
 fto,m = 968 kgf/cm2
 Yw = 1.8

COMPRESSÃO
 fco,m = 760 kgf/cm2
 Yw = 1.4
 ϕ = 0.8 Ver Tabela
 Eco,m = 180110 kgf/cm2
 Ψ_1 = 0.2 Ver Tabela
 Ψ_2 = 0 Ver Tabela

Ações em estruturas correntes	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
- Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
- Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
- Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2*
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2*
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4*

* Admite-se $\Psi_2 = 0$ quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico

Barras Reprovadas na sucção:
 Barras Reprovadas na sobrepressão:

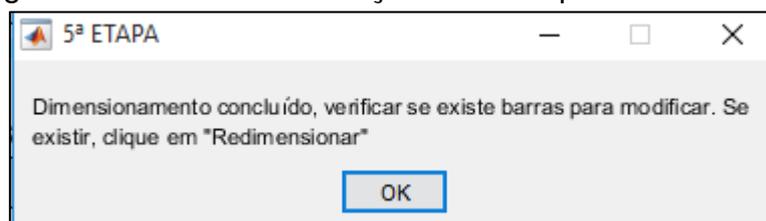
CALCULAR
 Redimensionar

Fonte: Autor (2017)

Após os dados de entrada, clica-se no botão “CALCULAR”. Uma janela aparecerá confirmando a conclusão do redimensionamento.

Agora verifica-se se alguma barra foi reprovada no dimensionamento. Caso alguma barra seja reprovada, na janela do quinto passo irá ser impresso as devidas barras. Portanto deve-se clicar em “Redimensionar” para modificar as seções das barras reprovadas.

Figura 54: Tela de confirmação da 5ª etapa



Fonte: Autor (2017)

Figura 55: Tela quinto passo – Barras reprovadas

passo5

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
QUINTO PASSO
DIMENSIONAMENTO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

IDENTIFICAR AS BARRAS DO BANZO INFERIOR
7, 8, 9, 10, 11, 12
OBS: As barras devem ser separadas por vírgulas.
EX: 1, 2, 3, 4

Kmod1 = 0.6 Ver Tabela

Kmod2 = 1 Ver Tabela

Kmod3 = 0.8 Ver Tabela

TRAÇÃO
fto,m = 968 kgf/cm²
Yw = 1.8

COMPRESSÃO
fco,m = 760 kgf/cm²
Yw = 1.4
φ = 0.8 Ver Tabela

Eco,m = 180110 kgf/cm²
ψ1 = 0.2 Ver Tabela
ψ2 = 0

Ações em estruturas correntes	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
- Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
- Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
- Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2 ^a
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2 ^a
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4 ^a

^a Admite-se ψ₂ = 0 quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico

Barras Reprovadas na sucção **1 2 5 6**

Barras Reprovadas na sobrepressão **1 2 3 4 5 6**

CALCULAR

Redimensionar

Fonte: Autor (2017)

Portanto as barras reprovadas, são: barras 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Logo, deve-se fazer o redimensionamento. Ao clicar em “Redimensionar”, irá abrir a janela da segunda etapa, onde será mudado as seções das barras. Os próximos passos são análogos ao dimensionamento.

Figura 56: Tela segundo passo - Redimensionamento

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA SEGUNDO PASSO # ESPECIFICAÇÃO DA TESOURA #														
COORDENADAS DOS PONTOS			ELEMENTOS (BARRAS)				SEÇÕES DAS BARRAS							
	X	Y	INICIO	FIM	INICIO	FIM	BASE (b) ALTURA (h)		BASE (b) ALTURA (h)					
NÓ 1	0	0	BARRA 1	1	2	BARRA 26	0	0	BARRA 1	0.15	0.15	BARRA 26	0	0
NÓ 2	2.667	0.765	BARRA 2	2	3	BARRA 27	0	0	BARRA 2	0.15	0.15	BARRA 27	0	0
NÓ 3	5.334	1.529	BARRA 3	3	4	BARRA 28	0	0	BARRA 3	0.15	0.15	BARRA 28	0	0
NÓ 4	8.001	2.294	BARRA 4	4	5	BARRA 29	0	0	BARRA 4	0.15	0.15	BARRA 29	0	0
NÓ 5	10.668	1.529	BARRA 5	5	6	BARRA 30	0	0	BARRA 5	0.15	0.15	BARRA 30	0	0
NÓ 6	13.335	0.765	BARRA 6	6	7	BARRA 31	0	0	BARRA 6	0.15	0.15	BARRA 31	0	0
NÓ 7	16.002	0	BARRA 7	7	8	BARRA 32	0	0	BARRA 7	0.10	0.15	BARRA 32	0	0
NÓ 8	2.667	0	BARRA 8	8	9	BARRA 33	0	0	BARRA 8	0.10	0.15	BARRA 33	0	0
NÓ 9	5.334	0	BARRA 9	9	10	BARRA 34	0	0	BARRA 9	0.10	0.15	BARRA 34	0	0
NÓ 10	8.001	0	BARRA 10	10	11	BARRA 35	0	0	BARRA 10	0.10	0.15	BARRA 35	0	0
NÓ 11	10.668	0	BARRA 11	11	12	BARRA 36	0	0	BARRA 11	0.10	0.15	BARRA 36	0	0
NÓ 12	13.335	0	BARRA 12	12	7	BARRA 37	0	0	BARRA 12	0.10	0.15	BARRA 37	0	0
NÓ 13	0	0	BARRA 13	2	8	BARRA 38	0	0	BARRA 13	0.05	0.10	BARRA 38	0	0
NÓ 14	0	0	BARRA 14	2	9	BARRA 39	0	0	BARRA 14	0.10	0.10	BARRA 39	0	0
NÓ 15	0	0	BARRA 15	3	9	BARRA 40	0	0	BARRA 15	0.05	0.10	BARRA 40	0	0
NÓ 16	0	0	BARRA 16	3	10	BARRA 41	0	0	BARRA 16	0.10	0.10	BARRA 41	0	0
NÓ 17	0	0	BARRA 17	4	10	BARRA 42	0	0	BARRA 17	0.10	0.15	BARRA 42	0	0
NÓ 18	0	0	BARRA 18	5	10	BARRA 43	0	0	BARRA 18	0.10	0.10	BARRA 43	0	0
NÓ 19	0	0	BARRA 19	5	11	BARRA 44	0	0	BARRA 19	0.05	0.10	BARRA 44	0	0
NÓ 20	0	0	BARRA 20	6	11	BARRA 45	0	0	BARRA 20	0.10	0.10	BARRA 45	0	0
NÓ 21	0	0	BARRA 21	6	12	BARRA 46	0	0	BARRA 21	0.05	0.10	BARRA 46	0	0
NÓ 22	0	0	BARRA 22	0	0	BARRA 47	0	0	BARRA 22	0	0	BARRA 47	0	0
NÓ 23	0	0	BARRA 23	0	0	BARRA 48	0	0	BARRA 23	0	0	BARRA 48	0	0
NÓ 24	0	0	BARRA 24	0	0	BARRA 49	0	0	BARRA 24	0	0	BARRA 49	0	0
NÓ 25	0	0	BARRA 25	0	0	BARRA 50	0	0	BARRA 25	0	0	BARRA 50	0	0

Fonte: Autor (2017)

As barras reprovadas, tinham seção de 10cmx15cm. Adotou-se modificar as seções para 15cmx15cm.

Nos passos 3 e 4, como não será alterado nenhum dado de entrada, repita os passos anteriores para esses passos respectivamente.

Figura 57: Tela terceiro passo - Redimensionamento

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA TERCEIRO PASSO # CARGA PERMANENTE #											
CONDIÇÕES DE CONTORNO			REPRESENTAÇÃO DAS CARGAS NOS NÓS DA TESOURA								
	POSIÇÃO	VALOR	CARGA NOS NÓS								
COND. 1	1	0	P1 =	-1170.759	CALCULAR						
COND. 2	2	0	P2 =	-1102.620	PRÓXIMO						
COND. 3	14	0									
COND. 4	0	0									
COND. 5	0	0									
COND. 6	0	0									
COND. 7	0	0									
COND. 8	0	0									
COND. 9	0	0									
COND. 10	0	0									

OBS.:
A carga P1 atua sempre nas terças da extremidade;
A quantidade de carga P2 depende do número de terças (atua na terça), o esquema é apenas ilustrativo, não indica a quantidade de carga P2.

Fonte: Autor (2017)

Verifica-se que as cargas P1, P2 mudaram de valor.

No quinto passo deve-se clicar em calcular e verificar se ainda apresenta barras reprovadas no dimensionamento.

Figura 58: Tela quinto passo - Redimensionamento



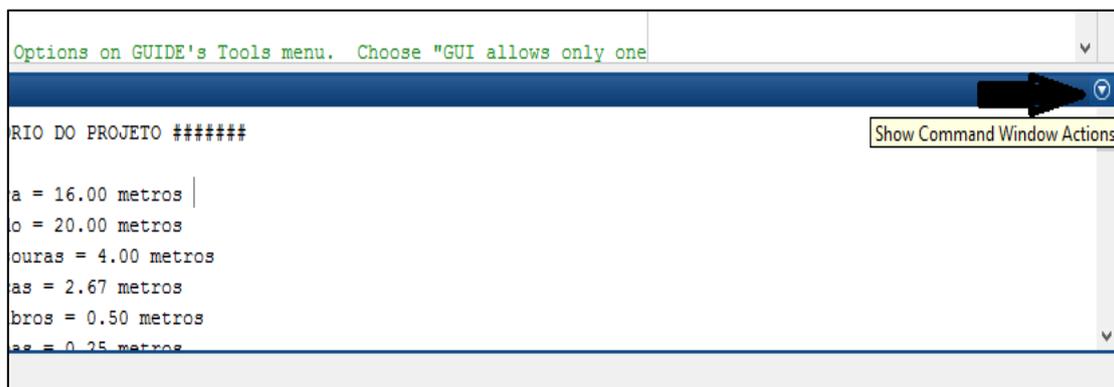
Fonte: Autor (2017)

Nesse caso, como pode-se verificar, não apresentou barras reprovadas após o redimensionamento. Logo a estrutura está ok.

Para imprimir um relatório do projeto deve-se seguir os seguintes passos:

1º passo: ir na tela inicial do Matlab, no command window e clicar na seta na parte esquerda para abrir opções.

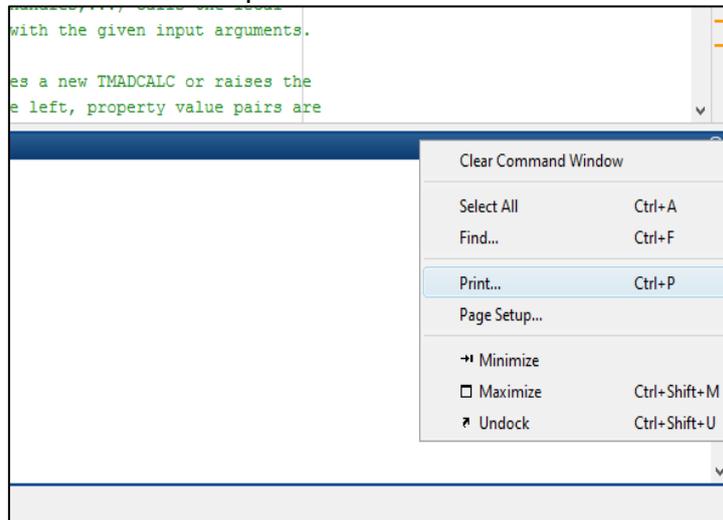
Figura 59: Relatório passo 1



Fonte: Autor (2017)

Logo após, deve-se selecionar a opção print.

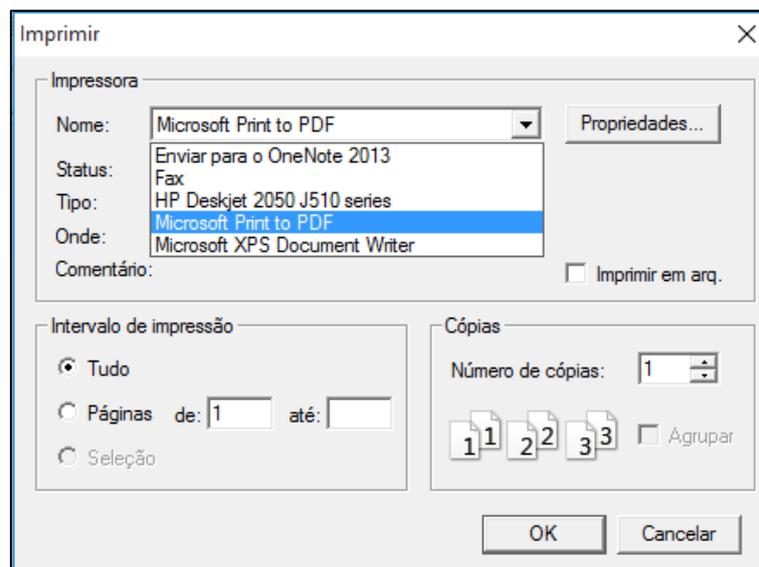
Figura 60: Relatório passo 2



Fonte: Autor (2017)

Será aberto uma janela, onde deve-se escolher a opção "Microsoft Print to PDF", para salvar o relatório em formato PDF.

Figura 61: Relatório passo 3



Fonte: Autor (2017)

Agora deve-se clicar em OK, e o relatório é salvo.

A seguir, temos o relatório do exemplo 4, gerado pelo programa.

RELATÓRIO DO PROJETO

Comprimento da tesoura = 16.00 metros
 Comprimento do telhado = 20.00 metros
 Espaçamento entre tesouras = 4.00 metros
 Espaçamento entre terças = 2.67 metros
 Espaçamento entre caibros = 0.50 metros
 Espaçamento entre ripas = 0.25 metros
 Extensão do telhado = 1.50 metros
 Inclinação do telhado = 16.00°

Densidade da madeira = 1068.00 Kg/m³
 Peso específico da telha = 45.00 Kg/m²
 Absorção da telha = 30.00

Dimensões dos caibros = 0.050 X 0.075 metros
 Dimensões das ripas = 0.050 X 0.015 metros
 Dimensões das terças = 0.100 X 0.175 metros

TABELA:COORDENADAS DOS NÓS

(Nó)	(Coord. X)	(Coord. Y)
1.0000	0	0
2.0000	2.6670	0.7650
3.0000	5.3340	1.5290
4.0000	8.0010	2.2940
5.0000	10.6680	1.5290
6.0000	13.3350	0.7650
7.0000	16.0020	0
8.0000	2.6670	0
9.0000	5.3340	0
10.0000	8.0010	0
11.0000	10.6680	0
12.0000	13.3350	0

TABELA:ESPECIFICAÇÃO DAS BARRAS
 (Barra) (INÍCIO) (FIM)

1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	5
5	5	6
6	6	7
7	1	8
8	8	9
9	9	10
10	10	11
11	11	12
12	12	7
13	2	8
14	2	9
15	3	9
16	3	10
17	4	10
18	5	10
19	5	11
20	6	11
21	6	12

AÇÃO DO VENTO NA TESOURA

Velocidade Básica do vento = 30.00 m/s

Fator topográfico = 1.00
 Fator de rugosidade = 0.92
 Fator estatístico = 0.95
 Pressão dinâmica do vento = 42.97 Kg/m²
 Velocidade Característica = 26.22 m/s
 Coeficiente externo direção EF = -0.88
 Coeficiente externo direção GH = -0.40
 Coeficiente externo direção EG = -0.78
 Coeficiente externo direção FH = -0.60
 Coeficientes internos = -0.30 , 0.20

TABELA: COMBINAÇÃO DAS NORMAIS NAS BARRAS

BARRAS	Ng Kgf	Nvsu Kgf	Nvso Kgf	Ng Nvsu Kgf	Ng Nvsu Kgf
1.00	-9787.73	4493.77	-1248.27	-8984.37	-15013.51
2.00	-7834.53	3670.98	-1019.72	-7113.82	-12039.04
3.00	-5875.20	2845.28	-790.36	-5237.73	-9055.16
4.00	-5875.20	2845.28	-790.36	-5237.73	-9055.16
5.00	-7834.53	3670.98	-1019.72	-7113.82	-12039.04
6.00	-9787.73	4493.77	-1248.27	-8984.37	-15013.51
7.00	9408.34	-4168.69	1157.97	8794.55	14387.54
8.00	9408.34	-4168.69	1157.97	8794.55	14387.54
9.00	7531.60	-3236.02	898.89	7146.41	11488.07
10.00	7531.60	-3236.02	898.89	7146.41	11488.07
11.00	9408.34	-4168.69	1157.97	8794.55	14387.54
12.00	9408.34	-4168.69	1157.97	8794.55	14387.54
13.00	0.00	0	0	0.00	0.00
14.00	-1952.43	970.28	-269.52	-1714.60	-3016.39
15.00	538.32	-267.53	74.31	472.75	831.68
16.00	-2171.80	1079.08	-299.75	-1907.49	-3355.26
17.00	2160.36	-1073.40	298.17	1897.43	3337.57
18.00	-2171.80	1079.08	-299.75	-1907.49	-3355.26
19.00	538.32	-267.53	74.31	472.75	831.68
20.00	-1952.43	970.28	-269.52	-1714.60	-3016.39
21.00	-0.00	-0.00	0	-0.00	-0.00

TABELA: DIMENSÕES DAS BARRAS

BARRAS	Base cm	Altura cm	Comprimento cm	A. útil cm ²
1.00	10.00	15.00	277.45	150.00
2.00	10.00	15.00	277.43	150.00
3.00	10.00	15.00	277.45	150.00
4.00	10.00	15.00	277.45	150.00
5.00	10.00	15.00	277.43	150.00
6.00	10.00	15.00	277.45	150.00
7.00	10.00	15.00	266.70	112.50
8.00	10.00	15.00	266.70	112.50
9.00	10.00	15.00	266.70	112.50
10.00	10.00	15.00	266.70	112.50
11.00	10.00	15.00	266.70	112.50
12.00	10.00	15.00	266.70	112.50
13.00	5.00	10.00	76.50	50.00
14.00	10.00	10.00	277.45	100.00
15.00	5.00	10.00	152.90	50.00
16.00	10.00	10.00	307.42	100.00
17.00	10.00	15.00	229.40	150.00
18.00	10.00	10.00	307.42	100.00
19.00	5.00	10.00	152.90	50.00
20.00	10.00	10.00	277.45	100.00
21.00	5.00	10.00	76.50	50.00

Barras_reproadas_na_succao =

1.00 2.00 5.00 6.00

Barras_reproadas_na_sobrepessao =

1.00 2.00 3.00 4.00 5.00 6.00

REDIMENSIONAMENTO - MODIFICAÇÃO DAS SEÇÕES

TABELA:COORDENADAS DOS NÓS

(Nó)	(Coord. X)	(Coord. Y)
1.0000	0	0
2.0000	2.6670	0.7650
3.0000	5.3340	1.5290
4.0000	8.0010	2.2940
5.0000	10.6680	1.5290
6.0000	13.3350	0.7650
7.0000	16.0020	0
8.0000	2.6670	0
9.0000	5.3340	0
10.0000	8.0010	0
11.0000	10.6680	0
12.0000	13.3350	0

TABELA:ESPECIFICAÇÃO DAS BARRAS

(Barra) (INÍCIO) (FIM)

1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	5
5	5	6
6	6	7
7	1	8
8	8	9
9	9	10
10	10	11
11	11	12
12	12	7
13	2	8
14	2	9
15	3	9
16	3	10
17	4	10
18	5	10
19	5	11
20	6	11
21	6	12

AÇÃO DO VENTO NA TESOURA

Velocidade Básica do vento = 30.00 m/s

Fator topográfico = 1.00

Fator de rugosidade = 0.92

Fator estatístico = 0.95

Pressão dinâmica do vento = 42.97 Kgf/m²

Velocidade Característica = 26.22 m/s

Coefficiente externo direção EF = -0.88

Coefficiente externo direção GH = -0.40

Coefficiente externo direção EG = -0.78

Coefficiente externo direção FH = -0.60

Coefficientes internos = -0.30 , 0.20

TABELA: COMBINAÇÃO DAS NORMAIS NAS BARRAS

BARRAS	Ng Kgf	Nvsu Kgf	Nvso Kgf	Ng Nvsu Kgf	Ng Nvsu Kgf
1.00	-9997.62	4493.77	-1248.27	-9278.21	-15307.35
2.00	-8002.53	3670.98	-1019.72	-7349.02	-12274.25
3.00	-6001.19	2845.28	-790.36	-5414.11	-9231.54
4.00	-6001.19	2845.28	-790.36	-5414.11	-9231.54
5.00	-8002.53	3670.98	-1019.72	-7349.02	-12274.25
6.00	-9997.62	4493.77	-1248.27	-9278.21	-15307.35
7.00	9610.09	-4168.69	1157.97	9077.00	14669.99
8.00	9610.09	-4168.69	1157.97	9077.00	14669.99
9.00	7693.10	-3236.02	898.89	7372.52	11714.18
10.00	7693.10	-3236.02	898.89	7372.52	11714.18
11.00	9610.09	-4168.69	1157.97	9077.00	14669.99
12.00	9610.09	-4168.69	1157.97	9077.00	14669.99
13.00	0.00	0	0	0.00	0.00
14.00	-1994.29	970.28	-269.52	-1773.22	-3075.01
15.00	549.87	-267.53	74.31	488.91	847.84
16.00	-2218.37	1079.08	-299.75	-1972.69	-3420.46
17.00	2206.68	-1073.40	298.17	1962.29	3402.43
18.00	-2218.37	1079.08	-299.75	-1972.69	-3420.46
19.00	549.87	-267.53	74.31	488.91	847.84
20.00	-1994.29	970.28	-269.52	-1773.22	-3075.01
21.00	0	-0.00	0	-0.00	0

TABELA: DIMENSÕES DAS BARRAS

BARRAS	Base cm	Altura cm	Comprimento cm	A.útil cm2
1.00	15.00	15.00	277.45	225.00
2.00	15.00	15.00	277.43	225.00
3.00	15.00	15.00	277.45	225.00
4.00	15.00	15.00	277.45	225.00
5.00	15.00	15.00	277.43	225.00
6.00	15.00	15.00	277.45	225.00
7.00	10.00	15.00	266.70	112.50
8.00	10.00	15.00	266.70	112.50
9.00	10.00	15.00	266.70	112.50
10.00	10.00	15.00	266.70	112.50
11.00	10.00	15.00	266.70	112.50
12.00	10.00	15.00	266.70	112.50
13.00	5.00	10.00	76.50	50.00
14.00	10.00	10.00	277.45	100.00
15.00	5.00	10.00	152.90	50.00
16.00	10.00	10.00	307.42	100.00
17.00	10.00	15.00	229.40	150.00
18.00	10.00	10.00	307.42	100.00
19.00	5.00	10.00	152.90	50.00
20.00	10.00	10.00	277.45	100.00
21.00	5.00	10.00	76.50	50.00

Barras_reproadas_na_succao =

[]

Barras_reproadas_na_sobrepessao =

6 CONCLUSÃO

Nos capítulos ao longo deste trabalho, abordando-se toda a teoria necessária para o dimensionamento de uma tesoura de madeira e junto a aplicação do método dos elementos finitos, foi possível desenvolver um programa que otimiza o dimensionamento de uma tesoura de madeira utilizada em cobertura.

O programa, denominado TMadCalc, apresenta fácil utilização, onde os usuários abrangem tanto o estudante de engenharia civil, quanto os engenheiros civis. Destaca-se também, que o programa, apresentou bons resultados, caso se compare com o dimensionamento feito analiticamente apresentado neste trabalho. Conclui-se então, que o objetivo principal do trabalho foi devidamente atingido.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se citar:

- Melhorias no programa elaborado, visando acrescentar o cálculo das ligações da tesoura bem como seu respectivo detalhamento;
- Melhorias na questão do dimensionamento de qualquer tesoura assimétrica, visto que o programa elaborado dimensiona apenas tesouras simétricas;
- Melhorias na questão da entrada de dados, elaborando um uma entrada de dados gráfica e interativa, podendo atribuir maior simplicidade ao usuário.
- Comparação entre os dados obtidos com o programa TMadCalc, com outros softwares.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: Projeto de Estruturas de Madeira.- **NBR 7190/1997**- ABNT - 1997

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: forças devido ao vento em edificações – ABNT- 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – ABNT- 1980.

BAQUIL, Paulo Baquil. **Estruturas de madeiras**. 2010. 186f. Universidade Estadual do Maranhão, 2010.

GESUALDO, F.A.R. **Estruturas de Madeira**. 2003. 98f. Notas de Aula. Universidade Federal de Uberlândia. 2003. Disponível em: http://usuarios.upf.br/~zacarias/Notas_de_Aula_Madeiras.pdf . Acesso em:17 de Junho de 2017.

GILAT, Amos. **Matlab com aplicações em engenharia**. 2ed. Bookman, 2006. 362p.

LOGAN, Daryl. **Finite elemento method**. 5ed. 2012. 1000p.

MARTINS, Tiago Fernando Andrade. **Otimização de estruturas de treliças utilizando técnicas de programação linear**. 2011. 53f. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2011. Disponível em: https://www.ufpe.br/eccaa/images/documentos/TCC/2011.2/tcc2_versaofinal201102%20-%20tiago%20fernando%20andrade%20martins.pdf . Acesso em 17 de Junho de 2017.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 2.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1992. 461p.

SILVA, Gustavo Cunha. LOPES, Rogério Cunha. Lopes, Arlindo Pires. **O método dos elementos finitos em treliças planas na disciplina de mecânica computacional**. 2007. 14f. XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE 2007

ANEXOS

Figura 62: Tela Primeiro Passo com os dados preenchidos

passo1

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA PRIMEIRO PASSO

ESPECIFICAÇÃO DO TELHADO

COMPRIMENTO DA TESOURA (m) Y =

COMPRIMENTO DO TELHADO (m) X =

ESPAÇAMENTO ENTRE TESOURAS (m) E =

ESPAÇAMENTO ENTRE TERÇAS (m) S =

ESPAÇAMENTO ENTRE CAIBROS (m) ec =

ESPAÇAMENTO ENTRE RIPAS (m) er =

EXTENSÃO DO TELHADO (m) a =

INCLINAÇÃO DO TELHADO (°) i =

ESPECIFICAÇÃO DA MADEIRA

DENSIDADE DA MADEIRA (Kgf/m³) d =

ESPECIFICAÇÃO DA TELHA

PESO ESPECIFICO DA TELHA (Kgf/m²) p =

ABSORÇÃO DA TELHA (%) ab =

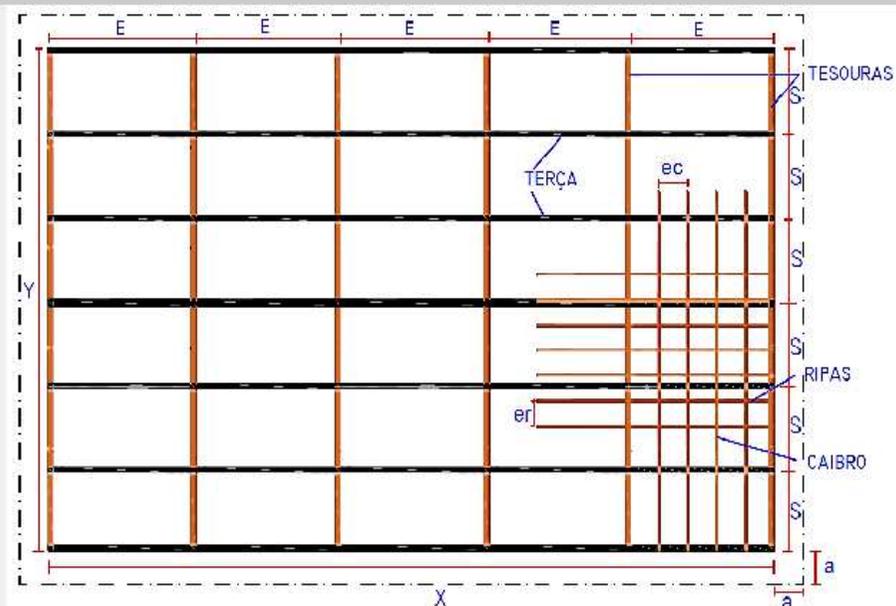
DIMENSÕES DAS PEÇAS

CAIBRO	b (m) = <input type="text" value="0.05"/>	RIPA	b (m) = <input type="text" value="0.05"/>	TERÇA	b (m) = <input type="text" value="0.10"/>
	h (m) = <input type="text" value="0.075"/>		h (m) = <input type="text" value="0.015"/>		h (m) = <input type="text" value="0.175"/>



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO**

REPRESENTAÇÃO DO TELHADO



OK

PRÓXIMO

Fonte: Autor (2017)

Figura 63: Tela Segundo Passo com os dados preenchidos

passo002

**PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
SEGUNDO PASSO**
ESPECIFICAÇÃO DA TESOURA



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO**

COORDENADAS DOS PONTOS			ELEMENTOS (BARRAS)				SEÇÕES DAS BARRAS							
	X	Y		INICIO	FIM		INICIO	FIM		BASE (b)	ALTURA (h)		BASE (b)	ALTURA (h)
NÓ 1	0	0	BARRA 1	1	2	BARRA 26	0	0	BARRA 1	0.10	0.15	BARRA 26	0	0
NÓ 2	2.667	0.765	BARRA 2	2	3	BARRA 27	0	0	BARRA 2	0.10	0.15	BARRA 27	0	0
NÓ 3	5.334	1.529	BARRA 3	3	4	BARRA 28	0	0	BARRA 3	0.10	0.15	BARRA 28	0	0
NÓ 4	8.001	2.294	BARRA 4	4	5	BARRA 29	0	0	BARRA 4	0.10	0.15	BARRA 29	0	0
NÓ 5	10.668	1.529	BARRA 5	5	6	BARRA 30	0	0	BARRA 5	0.10	0.15	BARRA 30	0	0
NÓ 6	13.335	0.765	BARRA 6	6	7	BARRA 31	0	0	BARRA 6	0.10	0.15	BARRA 31	0	0
NÓ 7	16.002	0	BARRA 7	1	8	BARRA 32	0	0	BARRA 7	0.10	0.15	BARRA 32	0	0
NÓ 8	2.667	0	BARRA 8	8	9	BARRA 33	0	0	BARRA 8	0.10	0.15	BARRA 33	0	0
NÓ 9	5.334	0	BARRA 9	9	10	BARRA 34	0	0	BARRA 9	0.10	0.15	BARRA 34	0	0
NÓ 10	8.001	0	BARRA 10	10	11	BARRA 35	0	0	BARRA 10	0.10	0.15	BARRA 35	0	0
NÓ 11	10.668	0	BARRA 11	11	12	BARRA 36	0	0	BARRA 11	0.10	0.15	BARRA 36	0	0
NÓ 12	13.335	0	BARRA 12	12	7	BARRA 37	0	0	BARRA 12	0.10	0.15	BARRA 37	0	0
NÓ 13	0	0	BARRA 13	2	8	BARRA 38	0	0	BARRA 13	0.05	0.10	BARRA 38	0	0
NÓ 14	0	0	BARRA 14	2	9	BARRA 39	0	0	BARRA 14	0.10	0.10	BARRA 39	0	0
NÓ 15	0	0	BARRA 15	3	9	BARRA 40	0	0	BARRA 15	0.05	0.10	BARRA 40	0	0
NÓ 16	0	0	BARRA 16	3	10	BARRA 41	0	0	BARRA 16	0.10	0.10	BARRA 41	0	0
NÓ 17	0	0	BARRA 17	4	10	BARRA 42	0	0	BARRA 17	0.10	0.15	BARRA 42	0	0
NÓ 18	0	0	BARRA 18	5	10	BARRA 43	0	0	BARRA 18	0.10	0.10	BARRA 43	0	0
NÓ 19	0	0	BARRA 19	5	11	BARRA 44	0	0	BARRA 19	0.05	0.10	BARRA 44	0	0
NÓ 20	0	0	BARRA 20	6	11	BARRA 45	0	0	BARRA 20	0.10	0.10	BARRA 45	0	0
NÓ 21	0	0	BARRA 21	6	12	BARRA 46	0	0	BARRA 21	0.05	0.10	BARRA 46	0	0
NÓ 22	0	0	BARRA 22	0	0	BARRA 47	0	0	BARRA 22	0	0	BARRA 47	0	0
NÓ 23	0	0	BARRA 23	0	0	BARRA 48	0	0	BARRA 23	0	0	BARRA 48	0	0
NÓ 24	0	0	BARRA 24	0	0	BARRA 49	0	0	BARRA 24	0	0	BARRA 49	0	0
NÓ 25	0	0	BARRA 25	0	0	BARRA 50	0	0	BARRA 25	0	0	BARRA 50	0	0

OK !

PRÓXIMO

Fonte: Autor (2017)

Figura 64: Tela Terceiro Passo com os dados preenchidos

passo3

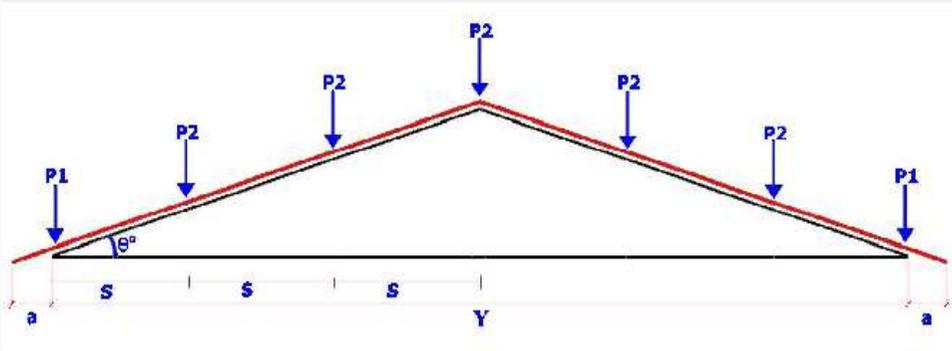
PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA TERCEIRO PASSO

CARGA PERMANENTE

CONDIÇÕES DE CONTORNO

	POSIÇÃO	VALOR
COND. 1	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>
COND. 2	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="0"/>
COND. 3	<input type="text" value="14"/>	<input type="text" value="0"/>
COND. 4	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
COND. 5	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
COND. 6	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
COND. 7	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
COND. 8	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
COND. 9	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
COND. 10	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

REPRESENTAÇÃO DAS CARGAS NOS NÓS DA TESOURA



OBS.:

A carga P1 atua sempre nas terças da extremidade;

A quantidade de carga P2 depende do número de terças (atua na terça), o esquema é apenas ilustrativo, não indica a quantidade de carga P2.

CARGA NOS NÓS

P1 =

P2 =

Fonte: Autor (2017)

Figura 65: Tela Quarto Passo com os dados preenchidos

passo4

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA QUARTO PASSO

AÇÃO DO VENTO NA COBERTURA

VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO V_o
 $V_o =$

FATOR TOPOGRÁFICO
 $S1 =$

FATOR DE RUGOSIDADE
 $S2 =$

FATOR ESTATÍSTICO
 $S3 =$

COEFICIENTE C_e

90°
 $EF C_e =$

$GH C_e =$

0°
 $EG C_e =$

$FH C_e =$

COEFICIENTE C_i

$C_i =$

$C_i =$

Valores Geralmente utilizados:
 $C_i = +0.2$ $C_i = -0.3$

Para demais valores, consultar NBR 6123



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO**

Fonte: Autor (2017)

Figura 66: Tela Quinto Passo com os dados preenchidos – com barras reprovadas

passo5

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA QUINTO PASSO

DIMENSIONAMENTO

IDENTIFICAR AS BARRAS DO BANZO INFERIOR

OBS: As barras devem ser separadas por vírgulas.
EX: 1, 2, 3, 4

Kmod1 =

Kmod2 =

Kmod3 =

TRAÇÃO

f_{to,m} = **kgf/cm²**

Y_w =

COMPRESSÃO

f_{co,m} = **kgf/cm²**

Y_w =

φ =

E_{co,m} = **kgf/cm²**

ψ₁ =

ψ₂ =



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO**

Ações em estruturas correntes	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
- Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
- Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
- Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2 [†]
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2 [†]
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4 [†]

† Admite-se ψ₂ = 0 quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico

Barras Reprovadas na sucção

Barras Reprovadas na sobrepressão

Fonte: Autor (2017)

Figura 67: Tela Segundo Passo com os dados preenchidos – Modificação das seções

passo002

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA
SEGUNDO PASSO
ESPECIFICAÇÃO DA TESOURA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

COORDENADAS DOS PONTOS			ELEMENTOS (BARRAS)				SEÇÕES DAS BARRAS				
	X	Y	INICIO	FIM	INICIO	FIM	BASE (b)	ALTURA (h)	BASE (b)	ALTURA (h)	
NÓ 1	0	0	BARRA 1	1	2	BARRA 26	0	0	BARRA 26	0	0
NÓ 2	2.667	0.765	BARRA 2	2	3	BARRA 27	0	0	BARRA 27	0	0
NÓ 3	5.334	1.529	BARRA 3	3	4	BARRA 28	0	0	BARRA 28	0	0
NÓ 4	8.001	2.294	BARRA 4	4	5	BARRA 29	0	0	BARRA 29	0	0
NÓ 5	10.668	1.529	BARRA 5	5	6	BARRA 30	0	0	BARRA 30	0	0
NÓ 6	13.335	0.765	BARRA 6	6	7	BARRA 31	0	0	BARRA 31	0	0
NÓ 7	16.002	0	BARRA 7	1	8	BARRA 32	0	0	BARRA 32	0	0
NÓ 8	2.667	0	BARRA 8	8	9	BARRA 33	0	0	BARRA 33	0	0
NÓ 9	5.334	0	BARRA 9	9	10	BARRA 34	0	0	BARRA 34	0	0
NÓ 10	8.001	0	BARRA 10	10	11	BARRA 35	0	0	BARRA 35	0	0
NÓ 11	10.668	0	BARRA 11	11	12	BARRA 36	0	0	BARRA 36	0	0
NÓ 12	13.335	0	BARRA 12	12	7	BARRA 37	0	0	BARRA 37	0	0
NÓ 13	0	0	BARRA 13	2	8	BARRA 38	0	0	BARRA 38	0	0
NÓ 14	0	0	BARRA 14	2	9	BARRA 39	0	0	BARRA 39	0	0
NÓ 15	0	0	BARRA 15	3	9	BARRA 40	0	0	BARRA 40	0	0
NÓ 16	0	0	BARRA 16	3	10	BARRA 41	0	0	BARRA 41	0	0
NÓ 17	0	0	BARRA 17	4	10	BARRA 42	0	0	BARRA 42	0	0
NÓ 18	0	0	BARRA 18	5	10	BARRA 43	0	0	BARRA 43	0	0
NÓ 19	0	0	BARRA 19	5	11	BARRA 44	0	0	BARRA 44	0	0
NÓ 20	0	0	BARRA 20	6	11	BARRA 45	0	0	BARRA 45	0	0
NÓ 21	0	0	BARRA 21	6	12	BARRA 46	0	0	BARRA 46	0	0
NÓ 22	0	0	BARRA 22	0	0	BARRA 47	0	0	BARRA 47	0	0
NÓ 23	0	0	BARRA 23	0	0	BARRA 48	0	0	BARRA 48	0	0
NÓ 24	0	0	BARRA 24	0	0	BARRA 49	0	0	BARRA 49	0	0
NÓ 25	0	0	BARRA 25	0	0	BARRA 50	0	0	BARRA 50	0	0

OK !

PRÓXIMO

Fonte: Autor (2017)

Figura 68: Tela Quinto Passo com os dados preenchidos – sem barras reprovadas

passo5

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TESOURA DE MADEIRA QUINTO PASSO

DIMENSIONAMENTO

IDENTIFICAR AS BARRAS DO BANZO INFERIOR

7, 8, 9, 10, 11, 12

OBS: As barras devem ser separadas por vírgulas.
EX: 1, 2, 3, 4

Kmod1 =

Kmod2 =

Kmod3 =

TRAÇÃO

f_{to,m} = kgf/cm²

Y_w =

COMPRESSÃO

f_{co,m} = kgf/cm²

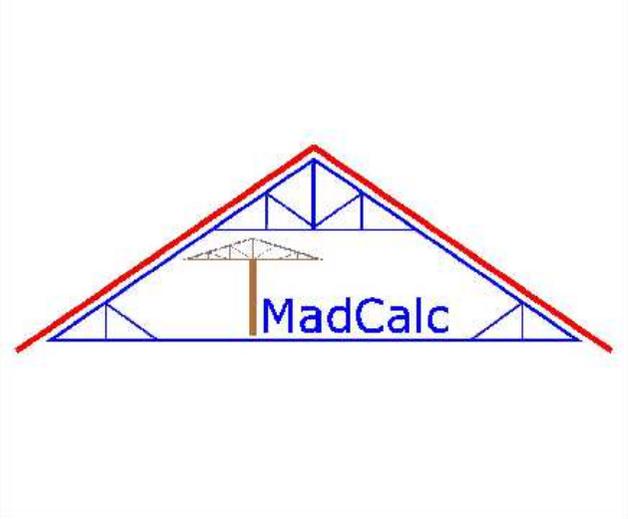
Y_w =

φ =

E_{co,m} = kgf/cm²

ψ₁ =

ψ₂ =



Barras Reprovadas na sucção

Barras Reprovadas na sobrepressão

Fonte: Autor (2017)