

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

LAYANNE DA SILVA SANTOS

**LEVANTAMENTO TÉCNICO ECONÔMICO DE UMA TRELIÇA DE
MADEIRA NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE-PE**

**RECIFE-PE
2020**

LAYANNE DA SILVA SANTOS

**LEVANTAMENTO TÉCNICO ECONÔMICO DE UMA TRELIÇA DE
MADEIRA NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Florestal da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
como parte das exigências para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador (a): Rafael Leite Braz

**RECIFE-PE
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S2371 Santos, Layanne da Silva
Levantamento técnico econômico de uma treliça de madeira na Região Metropolitana do Recife-PE / Layanne da Silva Santos. - 2020.
97 f. : il.
- Orientador: Rafael Leite Braz.
Inclui referências e apêndice(s).
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, 2020.
1. Estrutura em madeira. 2. Treliça. 3. Dimensionamento. 4. Orçamento. I. Braz, Rafael Leite, orient. II. Título

CDD 634.9

LAYANNE DA SILVA SANTOS

**LEVANTAMENTO TÉCNICO ECONÔMICO DE UMA TRELIÇA DE
MADEIRA NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE-PE**

Aprovado em 04 de novembro de 2020

BANCA EXAMINADORA

Ms. Rafael Andrade Souza
(E2E CHILE)

Dr. Marcelo Nogueira
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

Dr. Rafael Leite Braz
(Orientador - Universidade Federal Rural de Pernambuco)

**RECIFE-PE
2020**

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por minha vida e por me conduzir pelas escolhas certas, me dando saúde e forças para perseverar durante toda a minha vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, por ter me proporcionado um ambiente de conhecimento e vivência, com uma estrutura que me permitiu crescer tanto academicamente como pessoalmente.

Aos professores do Departamento de Ciência Florestal, por todo conhecimento fornecido, principalmente sobre as disciplinas que contribuíram para um direcionamento de vida profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rafael Leite Braz, pela sua dedicação e paciência, contribuindo para a finalização deste trabalho, e Rafael Andrade Souza pelo auxílio e direcionamentos no desenvolvimento do projeto.

Aos meus pais pelo apoio que sempre me deram durante minha vida e todo o esforço investido na minha educação.

A todos os meus colegas de curso, pela oportunidade do convívio e pela cooperação mútua durante esses anos.

Por fim, agradeço a todos os amigos, por nunca duvidarem da minha capacidade e me incentivarem a enfrentar todos os desafios.

RESUMO

A madeira é um material apto para uso em estruturas devido a suas propriedades e a quantidade de energia reduzida necessária para o preparo das mesmas, e o sistema de treliça é o mais utilizado para coberturas e pontes, apresentando menor custo e agilidade na execução sem prejudicar a eficácia da estrutura. A utilização de peças de madeiras pré-fabricadas, além de uma opção de resolução de problemas no meio da construção civil, é importante para o desenvolvimento sustentável e é um sistema mais econômico. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi realizar um levantamento técnico econômico de um negócio tendo como produto principal a treliça conforme as normas NBR 7190 (1997), proporcionando a otimização do uso da madeira de maçaranduba e madeira mista oriundas do mercado madeireiro na Região Metropolitana do Recife – PE. As amostras de madeira de maçaranduba e a denominada como mista foram coletadas no mercado local, na cidade de Recife-PE. Foram determinados o teor de umidade e densidade aparente da madeira para sua classificação quanto a classe de resistência conforme a NBR 7190 (1997). Foram levados em consideração o dimensionamento para treliças do tipo Howe de duas águas, utilizando como base o mercado local para determinação das seções das peças e posterior orçamento, incluindo a mão de obra por etapa de produção. Após cálculos foi obtida a quantidade de volume de madeira necessário para a estrutura de cobertura, e observou-se que devido a sua menor resistência as estruturas de madeira mistas necessitam de maior volume de madeira. Em relação ao levantamento econômico, com base no mercado local, a estrutura de madeira mista obteve custo de produção de 5,5% a mais que a de maçaranduba, apesar do menor custo da unidade de madeira serrada, isso devido ao maior volume de madeira necessário e de elementos de ligação. Por fim, por não haver uma quantidade relevante de empresas que atuem no setor, o cenário do mercado de pré-fabricados na região é positivo para empreendedores que busquem por um mercado com chances de bom desenvolvimento.

Palavras-chave: estrutura em madeira. treliça. dimensionamento. orçamento.

ABSTRACT

Wood is a material suitable for use in structures due to its properties and reduced energy needed to prepare them. The truss system is the most used for roofs and bridges, presenting lower cost and agility in execution without impairing efficiency structure. The use of prefabricated wood pieces is a resolute option in civil construction, is essential for sustainable development, and is a more economical system. Therefore, this study aims to carry out a technical and economic survey of a company having as its main product the truss according to the norms NBR 7190 (1997), providing the optimization of the use of *maçaranduba* wood and mixed wood from the timber market in the metropolitan region of Recife - PE. Samples of *maçaranduba* wood and those called as mixed were collected at the local market in the city of Recife-PE. Each wood had its moisture content and apparent density calculated to classify its resistance, according to NBR 7190 (1997). The gable Howe trusses' design was taken into account, using the local market as a basis for determining the sections of the parts and subsequent budget, including labor per production step. After calculations, the amount of wood volume required for the roof structure was obtained, and due to their lower resistance, mixed wood structures require a larger volume of wood. Regarding the economic survey, based on the local market, the mixed wood structure obtained a production cost of 5,5% more than that of *maçaranduba*, despite the lower cost of the sawn wood unit, due to the higher volume of wood needed and connecting elements. Finally, due to the lack of a significant number of companies operating in the sector, the scenario for the prefabricated market in the region is favorable for entrepreneurs looking for a market with good development chances.

Keywords: wooden structure. truss. dimensioning. budget.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção transversal do tronco.	14
Figura 2 - Seções de árvore conífera com tecido celular ampliado: (a) seção transversal; (b) seção tangencial.	14
Figura 3 - Seções transversais com características de madeira ampliadas: (a) conífera; (b) árvore folhosa.	15
Figura 4 - Tesoura (terminologia estrutural).	25
Figura 5 - Tesoura e trama (terminologia dos construtores)	25
Figura 6 - Planta baixa da residência (sem escala).	34
Figura 7 - Esquema estrutural da casa.	34
Figura 8 - Treliça tipo Howe com dimensões determinadas para projeto.	36
Figura 9 - Planta de locação.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de umidade da norma NBR 7190 da ABNT.	17
Tabela 2 - Classes de resistência das coníferas para peças de madeira nas condições de 12% de umidade.	20
Tabela 3 - Classes de resistência das dicotiledôneas para peças de madeira nas condições de 12% de umidade.....	20
Tabela 4 - Classes de carregamento	27
Tabela 5 - Fatores de combinação e de utilização.	28
Tabela 6 - Valores de ações permanentes (coeficiente de ponderação).	29
Tabela 7 - Ações variáveis.	29
Tabela 8 - Relação f_k / f_m e coeficiente (γ_w) de cada esforço.....	29
Tabela 9 - Valores de $k_{mod,1}$	30
Tabela 10 - Valores de $k_{mod,2}$	30
Tabela 11 - Médias referentes às densidades aparente corrigidas devido a umidade.....	38
Tabela 12 - Análise estatística referente às densidades aparente corrigida devido à umidade.	39
Tabela 13 - Seções adotadas e volume de madeira de maçaranduba e mista (m^3) necessárias para a estrutura da cobertura.....	40
Tabela 14 - Custo da produção de treliça de madeira de maçaranduba e mista.	41
Tabela 15 - Custo de material para produção da cobertura.	42
Tabela 16 - Custo por etapa de produção da cobertura.	43
Tabela 17 - Custo de produção da cobertura com madeira de maçaranduba.	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVO	12
2.1 OBJETIVO GERAL:	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MADEIRA	13
3.1.1 Tipos de madeira	13
3.1.2 Estrutura das madeiras	13
3.2 PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	15
3.2.1 Propriedades físicas da madeira	16
3.2.1.1 Umidade	16
3.2.1.2 Densidade aparente.....	17
3.2.1.3 Retração	17
3.2.1.4 Durabilidade natural	18
3.2.1.5 Desempenho ao fogo da madeira.....	18
3.2.2 Propriedades mecânicas da madeira.....	18
3.2.2.1 Resistência	18
3.2.2.2 Rigidez.....	20
3.3 ESTRUTURAS EM MADEIRA	21
3.3.1 Histórico e uso da madeira em estruturas.....	21
3.3.2 Trelças (pré-fabricados)	22
3.3.3 Cálculo de estrutura em madeira - NBR 7190/97	26
3.4 USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	31
4 METODOLOGIA.....	32
4.1 COLETA DE AMOSTRAS	32
4.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	32
4.3 DIMENSIONAMENTO E DESENHO DAS TRELIÇAS	33
4.3.1 Carga do vento (VisualVentos).....	34
4.3.2 Dados básicos do projeto da estrutura.....	35
4.4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 DENSIDADE APARENTE.....	38
5.2 DIMENSIONAMENTO DAS TRELIÇAS.....	38

5.3 LEVANTAMENTO DE CUSTOS	41
6 CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
APÊNDICE A	51
APÊNDICE B.....	53
APÊNDICE C	77

1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade a madeira vem sendo utilizada para fins diversos, entre eles na construção de estruturas de estilos variados. Com o avanço do conhecimento da tecnologia e preconceitos gerados por determinadas características apresentadas, a madeira foi passando de material construtivo principal de determinados abrigos para componentes estruturais de partes das edificações, cedendo espaço a materiais como o concreto e o aço.

Devido às propriedades da madeira e por ser um material renovável, a utilização em estruturas, como em sistemas treliçados, por exemplo, vem ganhando o seu espaço no mercado atual. Além de ser apropriado para esse uso, nas construções torna-se algo desejável devido ao aspecto arquitetônico criado pela madeira, aumentando a preferência por seu uso.

Segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2018), baseado na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad), realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é alto o déficit habitacional no Brasil, chegando a mais de seis milhões de acordo com dados de 2015. Portanto, do mesmo modo é alta a demanda por habitação, sendo principalmente a maior procura, segundo o CBIC (2018), pela classe de renda média e baixa. Isso gera uma boa oportunidade para atuar no mercado no ramo da construção civil, desenvolvendo alternativas construtivas de baixo custo e impacto ambiental.

Comumente as peças de madeira serrada são comercializadas para a produção da peça estrutural no próprio local de instalação, porém é possível a fabricação de treliças de forma mais viável, visando economia e evitando desperdícios sem perder eficiência, produzindo estruturas otimizadas e de qualidade para o consumidor.

Shigue (2018) fez um levantamento de empresas da cadeia produtiva de madeira destinada à construção civil, incluindo as que informam trabalhar também com telhado pré-fabricado, em que maior parte das empresas estão localizadas nas regiões Sudeste e Sul, mais especificamente nos estados de São Paulo e Paraná.

Ao se fazer um levantamento técnico econômico para um negócio que envolve a treliça como produto principal, com pesquisas de mercado na Região Metropolitana do Recife, região que segundo a literatura não se encontra em meio às grandes empresas desse ramo, dará ao pequeno empreendedor a possibilidade de entender mais sobre esse mercado.

Com isso, haverá o incentivo a entrada neste mercado promissor com a possibilidade de crescer no negócio que antes se resumiria a uma serraria, por exemplo.

A madeira mista, encontrada na maior parte das serrarias e madeireiras em Recife e apresentando um menor valor de comercialização, quando comparada a outras madeiras comercializadas para utilização em treliças relacionando a densidade aparente e classificando-as é possível determinar se é viável ou não o seu uso.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL:

Realizar um levantamento técnico econômico de um negócio tendo como produto principal a treliça conforme as normas NBR 7190 (1997), otimizando o uso da madeira de maçaranduba e mista oriundas do mercado madeireiro na cidade de Recife – PE.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Dimensionar uma estrutura de treliça de madeira, do tipo banzo inclinado, em duas águas a partir da densidade aparente da madeira;
- Realizar um orçamento no mercado local para esse tipo de estrutura calculado para utilização no negócio destinado a estruturas residenciais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MADEIRA

3.1.1 Tipos de madeira

Martins (2010) menciona em seu trabalho sobre duas amplas categorias as quais as madeiras derivam, sendo elas as gimnospermas (resinosas) e as angiospermas (folhosas), em que ambas referem-se à origem botânica, o que segundo o mesmo não interfere diretamente na maciez e dureza, referentes à densidade e resistência. De acordo com Pfeil e Pfeil (2003), geralmente a madeira dura advém das folhosas e as mais macias das resinosas, mas a distinção das categorias não é exatamente apenas por suas resistências, mas sim pela estrutura celular dos troncos.

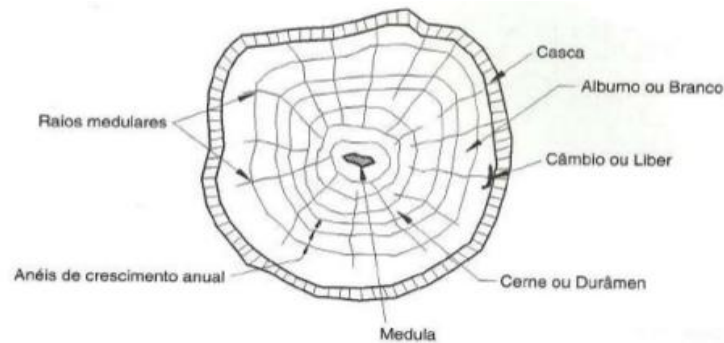
Conforme afirmado por Pfeil e Pfeil (2003) e Martins (2010), o que pode diferenciar as duas categorias seria a velocidade de crescimento, sendo as resinosas com crescimento mais rápido e as folhosas sendo mais lento, resultando, respectivamente, em madeiras com baixa densidade e resistência, usualmente tendo menor durabilidade, e, madeiras mais densa com estrutura celular mais complexa e permitindo maior durabilidade. Devido ao crescimento rápido, Martins (2010) afirma que as resinosas estão disponível mais rápido no mercado, o que por consequência acabam sendo matéria prima mais barata que as advindas de folhosas.

Essas duas divisões do sistema filogenético dos vegetais, devido à produção de madeira, é citado por Szucs et al. (2016) como de interesse para a engenharia por essa matéria prima ser empregada como material estrutural, sendo as duas categorias designadas internacionalmente como *softwoods* para resinosas e *hardwoods* para folhosas.

3.1.2 Estrutura das madeiras

Na estrutura macro de árvores, como afirma Martins (2010), destaca-se o fuste como parte principal na produção de madeira, sendo ele composto por casca, câmbio vascular e parte lenhosa, sendo o último formado por cerne e medula (figura 1). Segundo Szucs et al. (2016), a proteção contra agente externos ocorre devido a casca, o lenho como a parte resistente e a medula a parte central resultante do crescimento vertical e parte com menor resistência.

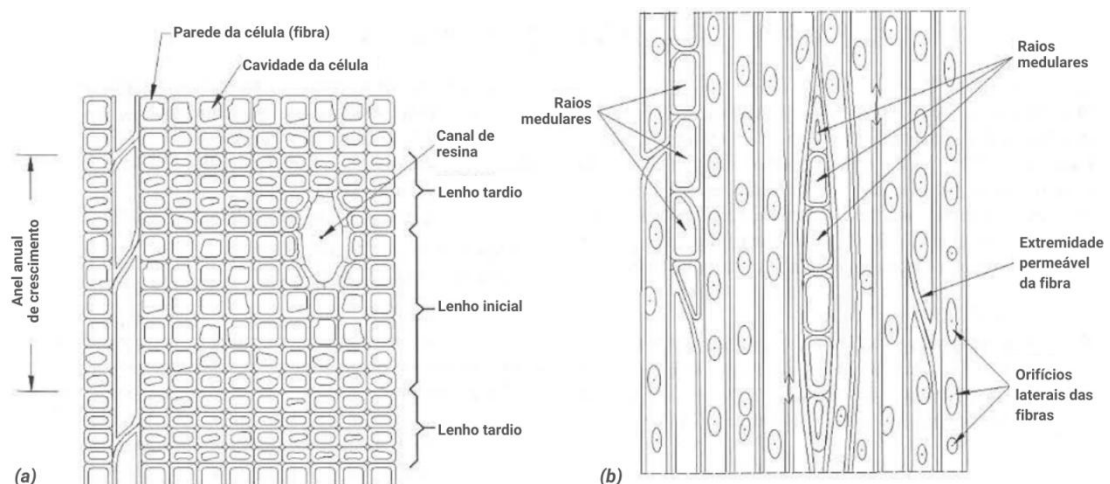
Figura 1 - Seção transversal do tronco.



Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).

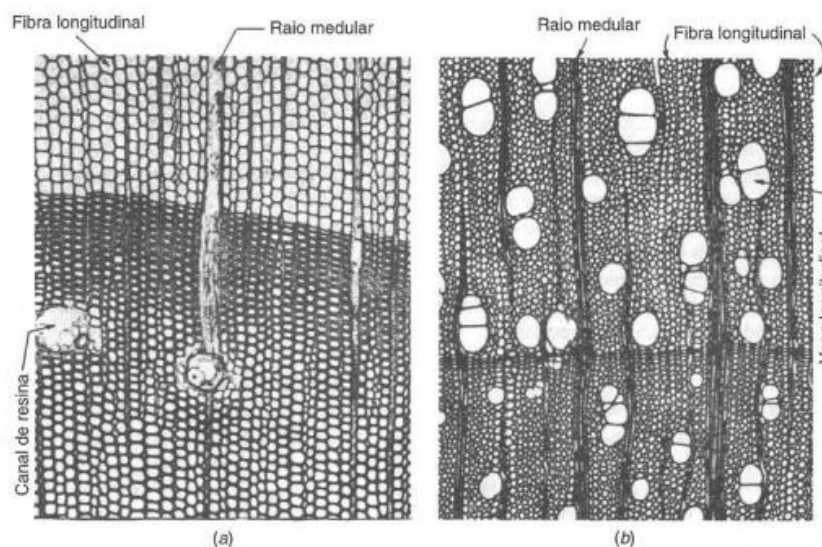
Szucs et al. (2016), afirmam que ao nível de microestrutura as resinosas são principalmente compostas por traqueídeos e raios medulares, enquanto que as folhosas são formadas principalmente por fibras, parênquima, raios e vasos. Pfeil e Pfeil (2003) afirmam que as resinosas são compostas por cerca de 90% de fibras longitudinais, sendo algumas espécies de coníferas apresentando canais em que se armazenam resinas (figura 2), e nas folhosas a seiva circula pelos vasos, com suas fibras apresentando função apenas portante (figura 3), sendo a eficiência estrutural das células fibrosas oca responsável pela excelente relação resistência/peso.

Figura 2 - Seções de árvore conífera com tecido celular ampliado: (a) seção transversal; (b) seção tangencial.



Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).

Figura 3 - Seções transversais com características de madeira ampliadas: (a) conífera; (b) árvore folhosa.



Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).

Ao nível molecular Pfeil e Pfeil (2003) citam que a madeira constitui-se metade de celulose, composto orgânico responsável por reforçar as paredes de fibras longitudinais, e a outra metade composta por hemicelulose e a lignina, sendo a lignina que possibilita rigidez à compressão às paredes das fibras, além de pequenas quantidades de sais minerais e outros materiais depositados nas cavidades das células.

3.2 PROPRIEDADES DA MADEIRA

De acordo com a NBR 7190 (1997), a incerteza sobre os valores dos esforços das seções críticas deve ser reduzida ao mínimo, definindo claramente o sistema estático, determinando por meio de ensaios indicados pela norma as propriedades das madeiras necessárias para a elaboração do projeto estrutural. Sendo assim, sabendo da importância do conhecimento do material, como afirma Andrade et al. (2014), é possível obter informações relevantes para gerar a proposta estrutural, evitando possíveis problemas que seriam ocasionados quando não há a escolha correta do material.

Segundo Correia (2009), as propriedades da madeira podem variar dependendo da espécie e parte do indivíduo a qual é retirada a peça de madeira a ser utilizado, podendo apresentar diferenças em relação às características físicas e mecânicas, da mesma forma que a durabilidade pode diferenciar.

Parolin (2017) afirma que se pode citar entre as principais propriedades físicas a umidade, densidade, retração, resistência ao fogo e durabilidade natural, além das características térmicas, elétricas e acústicas, ocorrendo riscos de possíveis alterações na madeira devido a determinados desequilíbrios.

Conforme afirmado por Martins (2010), além de indicar a idade da árvore, os anéis de crescimento são fundamentais para o estudo da anisotropia. Para Gesualdo (2003), não há simetria de propriedades em torno dos eixos da madeira, isso devido a diferentes propriedades relacionado aos planos e direções, sendo assim um material anisotrópico.

No estudo com ensaios de avaliação do desempenho, tanto físico como mecânico, de corpos de prova de madeira, Coutinho (1999) justifica a anisotropia com a utilização de três direções principais, sendo elas: tangencial, radial e axial.

Para Souza (2008), a madeira pode apresentar resistência mecânica a esforços de tração, resistência à tração na flexão, resistência a choques, além de poder ter desempenho até pouco melhor que outros materiais em relação a cargas dinâmicas.

3.2.1 Propriedades físicas da madeira

3.2.1.1 Umidade

Pfeil e Pfeil (2003) relata a relação das propriedades da madeira com a umidade da mesma, e descreve como obter o grau de umidade (U) utilizando o peso inicial da madeira contendo água (P_i) e peso da madeira após seca em estufa (P_s) até estabilização do peso sendo expresso em porcentagem pela seguinte fórmula:

$$U(\%) = \frac{P_i - P_s}{P_s} * 100 \quad (1)$$

De acordo com a norma técnica brasileira NBR 7190 (1997), projetos de estruturas de madeira, conforme o ambiente ao qual serão instaladas, devem admitir classes de umidade (tabela 1) para melhor ajuste das propriedades de resistência e rigidez. A norma estabelece, para ensaios e valores de resistência, 12% de teor de umidade, para cálculos com fins estruturais e identificação de espécies.

Tabela 1 - Classes de umidade da norma NBR 7190 da ABNT.

Classes 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: NBR 7190 (1997, pg. 14).

3.2.1.2 Densidade

Segundo a NBR 7190 (1997) a densidade aparente da madeira é uma massa específica convencional, sendo obtida a partir da razão entre massa e volume da madeira, utilizando corpos-de-prova a 12% de umidade. A densidade básica, de acordo com a NBR 7190 (1997), diferencia-se da densidade aparente por ser obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado.

De acordo com Rodrigues (2018), devido à alta correlação em relação com propriedades de resistência pode-se considerar que a densidade é um parâmetro básico na definição de usos.

3.2.1.3 Retração

Pfeil e Pfeil (2003) afirmam que a retração ou inchamento da madeira é a variação dimensional resultando da variação da umidade, sendo essa variação indo de 0% e 30% de umidade, sendo considerado o ponto de saturação das fibras a 30%.

Segundo estudo de Szucs et al. (2016), a maior variação dimensional é em relação à retração tangencial chegando a 10%, enquanto que a retração radial e longitudinal apresentam variação menor, sendo respectivamente de 6% e 0,5%. De acordo com Szucs et al. (2016), problemas como torção e rachaduras, nas peças de madeira, podem ocorrer para a retração tangencial e radial.

3.2.1.4 Durabilidade natural

Para Szucs et al. (2016); Martins (2010) e Coutinho (1999), a durabilidade natural da madeira pode variar de espécie para espécie e conforme características anatômicas ou em relação à parte do fuste que a peça foi retirada, sendo assim, uma peça pode ser mais vulnerável a outra em relação ao ataque biológico, sendo mais vulneráveis ao ataque as peças retiradas do alburno.

O uso de tratamento preservantes, segundo Szucs et al. (2016); Martins (2010) e Coutinho (1999), pode compensar para algumas espécies a baixa durabilidade natural, permitindo um desempenho próximo das de espécies mais resistentes.

3.2.1.5 Desempenho ao fogo da madeira

De acordo com Martins (2010), é possível fazer uso de estruturas de madeira conhecendo sobre seus riscos em caso de incêndio, por meio de normas de dimensionamento em que se escolhe o tipo de estrutura adequada, sendo assim, em relação a outros materiais pode oferecer resistência ao fogo superior quando bem dimensionadas, sendo possível prever o tempo de resistência da estrutura.

Em caso de incêndio a peça de madeira pode contribuir com a propagação, no entanto, Martins (2010) e Gesualdo (2003) afirmam que a peça pode suportar a ação das chamas por maior tempo devido à camada carbonizada formada na parte mais externa da peça, isolando termicamente a parte mais interna e auxiliando no controle da disseminação das chamas, com esse comportamento variando de espécie para espécie. Devido a esse comportamento, de acordo com Martins (2010), se faz necessário a adoção de uma camada externa de forma que a secção da peça seja resistente no caso de exposição a chamas. Com isso, Szucs et al. (2016) afirmam que mesmo se a estrutura for carbonizada até certa espessura sabe-se que a dimensão restante irá suportar mecanicamente o tempo necessário estimado, sendo previsível o comportamento da estrutura.

3.2.2 Propriedades mecânicas da madeira

3.2.2.1 Resistência

Conforme a NBR 7190 (1997), a resistência pode ser definida como a aptidão da peça em suportar tensões, onde é possível determinar ao se aplicar máxima tensão nos corpos de prova, que estão isentos de defeitos, devido ao surgimento de fenômenos como ruptura ou deformação específica excessiva.

Coutinho (1999) afirma que as propriedades da madeira podem sofrer influências devido à umidade, apresentando resistência mecânica máxima quando estiver seca, que segundo Melo (2013) isso ocorre usualmente devido a aproximação das cadeias de celulose. Ainda de acordo com Coutinho (1999), a massa volúmica também pode influenciar, sendo possível indicar, a partir dela, a distribuição ou concentração do material resistente contido no lenho, pelo qual é possível determinar outras propriedades por aplicação de fórmulas.

Para Melo (2013) outros fatores que podem interferir na resistência da madeira é a temperatura, com influência mais significativa se exposta a altas temperaturas por longo período; a biodeterioração, quando exposta a certas condições de temperatura e umidade, sendo atingida por agentes degradantes; a variabilidade natural do material, podendo variar entre espécies distintas, entre indivíduos de mesma espécie e dentro do mesmo indivíduo; e os defeitos naturais.

Como é descrito na NBR 7190 (1997), as propriedades de resistência da madeira em projetos estruturais podem ser caracterizadas completamente, por meio de ensaios como é descrito na norma, pelos valores de resistência tanto paralela como normal às fibras referentes à compressão, tração e embutimento, além de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e densidade básica, sendo para efeito de projeto estrutural considerando para as peças de madeira a resistência à tração normal às fibras como nula.

O uso de classes de resistência, conforme a NBR 7190 (1997), tem por objetivo o emprego de madeiras com propriedades padronizadas, visando à orientação na escolha apropriada do material a ser utilizado na criação de projetos estruturais. As tabelas 2 e 3 mostram o enquadramento tanto para espécies de coníferas como de dicotiledôneas, respectivamente.

Tabela 2 - Classes de resistência das coníferas para peças de madeira nas condições de 12% de umidade.

Coníferas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	$\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	4	3 500	400	500
C 25	25	5	8 500	450	550
C 30	30	6	14 500	500	600

Fonte: NBR 7190 (1997, pg. 16).

Tabela 3 - Classes de resistência das dicotiledôneas para peças de madeira nas condições de 12% de umidade.

Dicotiledôneas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	$\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000

Fonte: NBR 7190 (1997, pg. 16).

3.2.2.2 Rigidez

A rigidez, como apresenta a NBR 7190 (1997), pode ser determinada por meio do valor médio do módulo de elasticidade, na fase de comportamento elástico-linear, em que o mesmo pode ser medido nos ensaios de compressão, sendo o módulo de elasticidade na direção paralela às fibras (E_{w0}) e direção normal às fibras (E_{w90}) medidos, respectivamente, nos ensaios de compressão paralela às fibras e a normal às fibras.

De acordo com Moreschi (2012), o comportamento que a madeira pode apresentar após retirada de uma carga aplicada de retomar sua forma original pode ser denominada como elasticidade, mas caso a carga situe-se acima do limite proporcional de elasticidade, ponto em que não há proporcionalidade entre carga aplicada e deformação da peça, há deformações irreversíveis levando à ruptura, chamada de deformações plásticas.

O módulo de elasticidade (E), segundo Moreschi (2012), pode classificar peças ao indicar a qualidade por valores calculados, em que os valores mais baixos de E pode

indicar que o material possui pior qualidade na utilização em construções, de outro modo, quando mais alto mais resistente e baixa será a deformabilidade das peças de madeira.

$$E = \frac{1}{\alpha D} \quad (2)$$

Onde: αD - coeficiente de deformação.

Na NBR 7190 (1997), a rigidez das peças de madeira pode ter caracterização completa por meio de valores médio do módulo de elasticidade tanto na compressão na paralela às fibras ($E_{c0,m}$) como na compressão normal às fibras ($E_{c90,m}$), sendo iguais os valores médios de módulos de elasticidade à compressão e à tração paralela às fibras ($E_{c0,m} = E_{t0,m}$).

3.3 ESTRUTURAS EM MADEIRA

3.3.1 Histórico e uso da madeira em estruturas

Segundo Almeida (2012), desde o tempo do homem primitivo começou-se a construir estruturas de madeira para abrigo, e em cerca de 4500 e 3000 a.C. agricultores começaram a construir as primeiras casas em madeira, ainda não sendo utilizado algum conhecimento padrão de dimensionamento.

Almeida (2012) afirma que no período entre os séculos XIII e XV a arquitetura rural começa a ganhar várias mudanças, sendo executada uma diversidade de estilos nas construções em diversos lugares da Europa, sendo introduzidos materiais além da madeira como pedra e argila. Daí em diante as tecnologias foram evoluindo até chegar às estruturas que são vistas atualmente.

As etnias indígenas existentes ao longo do território nacional, de acordo com Shigue (2018), faziam uso da ampla disponibilidade de madeira para construção de diversas tipologias construtivas de usos variados, no entanto, com a chegada de colonizadores portugueses ao Brasil a madeira passou a ser utilizada na estrutura do telhado e acabamentos como esquadrias, assoalhos e forros, sendo a fundação constituída de pedra e paredes de alvenaria.

Segundo Parolin (2017), há uma variedade de sistemas estruturais cuja matéria prima é a madeira e que vem se desenvolvendo de acordo com o avanço industrial, sendo o sistema de treliça mais utilizado para coberturas e pontes.

Segundo Souza et al. (2010) além das características positivas como boa resistência mecânica, baixo peso específico, bom isolamento térmico e acústico, entre outras, a madeira têm como vantagem a quantidade reduzida de energia necessária para seu preparo quando comparada ao aço e o concreto. De acordo com Parolin (2017) a madeira é um material apto para uso em estruturas, atendendo assim na maior parte dos requisitos de uma construção civil.

3.3.2 Trelças (pré-fabricados)

De acordo com Valle (2011) desde meados do século XX já ocorriam a pré-fabricação de peças para construções de casas na Europa e América do Norte, como meio de reverter o déficit habitacional devido aos conflitos da II Guerra Mundial, sendo a cobertura o subsistema a ter primeiro seus elementos e componentes pré-fabricados.

Moliterno (2010) menciona a cobertura como uma das composições do telhado, descrevendo a cobertura como formada por telhas de diferentes materiais impermeáveis à chuva e resistentes ao vento e intempéries, sendo a outra composição do telhado a armação, responsável por sustentar a cobertura constituída por um conjunto de elementos estruturais.

Calil e Molina (2010) consideram cobertura como parte superior da construção, dividindo-se em telhado composto por telhas de materiais diversos, a trama responsável por sustentar o telhado, a trelça ou tesoura sendo a estrutura vertical de sustentação da trama, e sistema de contraventamento responsável pela estabilidade da estrutura.

No meio da construção civil, conforme afirma Shigue (2018), são utilizadas práticas artesanais que chegam a ser ineficientes por gerar atrasos e custos extras, além de muitas vezes haver modificações no produto final quando comparado com o que foi projetado, o que pode não ocorrer ou ser reduzido em construções pré-fabricadas.

Até 2012 no mercado de pré-fabricados na construção civil no Brasil, como relatado por Valle et al. (2012), os sistemas de coberturas eram maior parte das demandas, sendo o sistema trelçado o mais empregado, confeccionados por demandas específicas ou apenas partes de determinado subsistema sendo pré-fabricado.

No Brasil, segundo Shigue (2018), na construção civil houve aumento do uso da madeira, ligado aos produtos em madeira engenheirada, resultando no crescimento, mesmo ainda sendo poucas, de empresas que atuem nesse tipo de tecnologia no país, sendo uma possível oportunidade do crescimento do uso da madeira como pré-fabricados. A madeira

engenheirada, segundo Palma e Ballarin (2011), é definida como produtos que sofreram um processo industrial reduzindo a madeira a fragmentos que serão reassociados, visando um maior desempenho estrutural.

De acordo com Valle (2011), é necessário incentivo como referência bem sucedida da utilização de componentes pré-fabricados em edificações de obras públicas, por exemplo, já que a falta de seu uso é mais devido questões culturais ou políticas do que limitação tecnológica.

Entre os sistemas construtivos de madeira, Valle (2011) afirma que se pode haver três graus de industrialização: no primeiro as peças chegam ao canteiro de obras sem transformações significativas; o segundo é semi-industrializado, chegando ao canteiro de obras após passar por processo de industrialização simples; e o do terceiro grau é chamado de industrializado, dividido em pré-fabricação parcial e pré-fabricação total, no qual ambos sofrem transformações em processos industriais ganhando agilidade no canteiro.

Calil Júnior e Dias (1997) afirmam que devido à facilidade da fabricação e montagem, e também razões arquitetônicas, o sistema treliçado para construções em madeira como cobertura têm sido uma escolha comum. Segundo Moliterno (2010), estruturas de vigas treliçadas, tanto de madeira como metálicas, podem ser empregadas por projetistas por serem mais econômicas e de prática utilização em relação às vigas de maior volume, ambos os tipos suportando a mesma carga.

Por ser uma opção mais econômica que o método de construção convencional, Valle (2011) afirma que os pré-fabricados se tornaram importantes para o desenvolvimento sustentável. De acordo com afirmação de Souza et al. (2010), é possível obter custos menores na produção dependendo da adequação da disposição das peças sem prejudicar a eficácia da estrutura, como é o caso de sistemas treliçados, que apresentam um menor custo devido ao menor volume estrutural, isso por ser leve, de rápida e fácil execução.

Para Moliterno (2010) uma treliça forma uma cadeia rígida, definida como um sistema de barras situadas num plano, articuladas umas às outras nas extremidades, sendo a cadeia de barras triangular isolada a forma mais simples de treliça. A treliça tem basicamente como função estrutural receber e transferir as cargas dos pontos de aplicação para os pontos de apoio, de modo eficiente e econômico (CALIL JÚNIOR; DIAS, 1997).

Para Parolin (2017), outra vantagem é a possível adaptação à forma e disposição das barras das treliças de acordo com o local de instalação da estrutura, que, segundo Martins (2010), em relação às cargas que irá suportar também é capaz de sofrer ajustes. A eficiência vai depender do perfil adequado às necessidades arquitetônicas e

compatibilidade com as condições proporcionadas pela carga que será recebida (CALIL JÚNIOR; DIAS, 1997).

Segundo Logsdon (2002), as treliças triangulares, também conhecidas como tesoura, são as estruturas principais mais utilizadas em coberturas residenciais. Calil Júnior e Dias (1997) afirmam que para a escolha de determinados tipos de treliças são observadas as condições necessárias, como tipo e comprimento de telhas a serem utilizadas no projeto, o comprimento de vão, os apoios necessários e nível de economia que precisa ter, podendo escolher entre os tipos básicos de treliças como as de banzo inclinado, treliça bowstring, belfast ou de banzos paralelos.

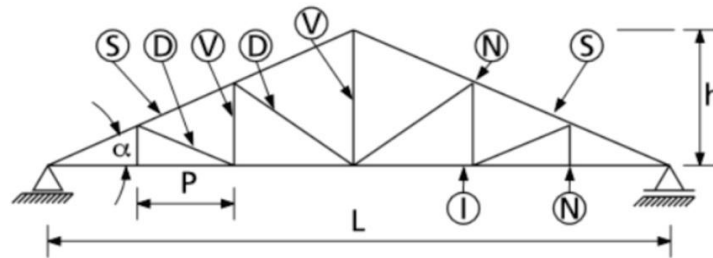
Segundo Calil Júnior e Dias (1997) a treliça com banzo inclinado de uma e duas águas são usadas mais comumente em uso doméstico e industrial devido à compatibilidade com materiais de cobertura, como chapas corrugadas e telhas. Para Calil e Molina (2010), para uma cobertura eficiente é necessário primeiramente a escolha do tipo de telha, pois será possível determinar a inclinação da tesoura, além do desempenho termoacústico.

De acordo com Calil Júnior e Dias (1997), a treliça de uma água geralmente é usada para vãos de até 9 metros, e, a treliça de duas águas utilizadas para vãos de até 12 metros para uso doméstico e vãos de até 15 metros para uso industrial, sendo até esse último ideal para fabricação, pois a partir daí o transporte se torna difícil. Já para vãos maiores, segundo Calil Júnior e Dias (1997), pode ser mais viável a utilização de treliças do tipo bowstring e belfast, podendo chegar até 30 metros de vão.

Como a terminologia das peças constituintes de um telhado podem variar, Moliterno (2010) divide a composição em relação à comunicação em um canteiro de obra, sendo terminologia de construtores, entre o pessoal das obras, e terminologia estrutural, entre engenheiros.

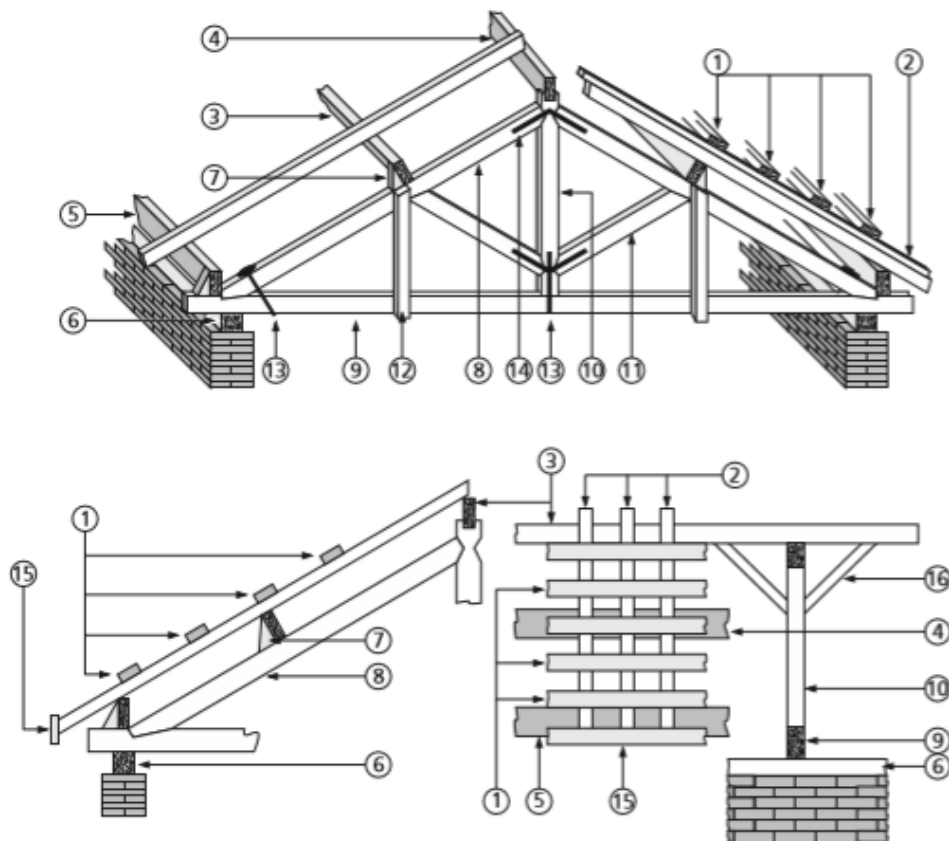
Moliterno (2010) considera a cobertura composta por telhas, ripas e caibros, mas, em caso de utilização de telhas maiores a sustentação pode ser garantida por terças, mãos-francesas, tesoura, contraventamento vertical e horizontal. De acordo com a terminologia estrutural e de construtores, como mostra Moliterno (2010), a composição da tesoura é dada por:

Figura 4 - Tesoura (terminologia estrutural). S - Banzo superior; I - Banzo inferior; V - Barras verticais ou simplesmente verticais; D - Barras diagonais ou simplesmente diagonais; N - Nó ou junta; ρ - Painel; h - Altura da tesoura; L - Vão da tesoura; α - Inclinação da tesoura.



Fonte: Moliterno (2010, pg. 9).

Figura 5 - Tesoura e trama (terminologia dos construtores). 1 a 5) Trama, formado pelas ripas, caibros e terças; 6) Frechal; 7) Chapuz, pedaço de madeira, geralmente de forma triangular, pregado na asna da tesoura; 8 a 12) Tesoura; 8) Asna, perna, empena ou membrura superior; 9) Linha, rochante, tirante, tensor, olivel ou membrura inferior; 10) Pendural ou pendural central; 11) Escora; 12) Pontalete, montante, suspensório ou pendural; 13) Ferragens ou estribos; 14) Ferragem ou cobrejunta; 15) Testeira ou aba; 16) Mão francesa.



Fonte: Moliterno (2010, pg. 3).

3.3.3 Cálculo de estrutura em madeira - NBR 7190/97

Segundo Pfeil e Pfeil (2003), o projeto estrutural tem por objetivo garantir o bom desempenho e a segurança da estrutura, evitando seu colapso ou ocorrências que possam vir a prejudicar, sendo o projeto dividindo-se em anteprojeto, dimensionamento ou cálculo estrutural e detalhamento que envolve os desenhos com suas especificações.

Para garantir a segurança de estruturas em madeira, de acordo com Pfeil e Pfeil (2003), as normas passaram a adotar critérios que foram do Método das Tensões Admissíveis até avançar ao Método dos Estados Limites, sendo este último o qual a NBR 7190/97, norma brasileira, passou a se basear substituindo a NBR 7190/82, o mesmo método é seguido pela norma europeia EUROCODE 5 (1996).

Para o cálculo das estruturas há várias normas a serem seguidas, sendo a NBR 7190 (1997) responsável por regulamentar os projetos de estruturas de madeira, sendo elas coberturas, pontes, pontilhões, pisos e cimbres. Na NBR 7190 (1997) são mostradas as diretrizes necessárias a serem seguidas nos projetos para execução e controle, sendo seguidas também outras normas para casos especiais de estruturas.

De acordo com Pfeil e Pfeil (2003), quando uma estrutura não atende mais um dos objetivos proposto no projeto, um estado limite ocorre, e que segundo a NBR 7190 (1997) são divididos em estados limites últimos, que devido a sua ocorrência é determinada a paralisação do uso total ou em parte da construção, e estados limites de utilização, em que quando ocorre por repetição ou duração de determinada carga pode causar efeitos que descumprem condições específicas, ou, por consequência, levar a comprometer a durabilidade da estrutura.

Referente aos estados limites, a NBR 7190 (1997) dá as condições construtivas específicas para garantia da segurança da estrutura, obedecendo também condições analíticas em que a solicitação de projeto (S_d) é menor que a resistência de projeto (R_d).

De acordo com a NBR 7190 (1997), o surgimento de esforços ou deformações em estruturas são consequências de ações, sendo as forças exercidas e as deformações consideradas respectivamente como ações diretas e ações indiretas. A NBR 7190 (1997) afirma que as ações podem ser: permanentes, em que ocorrem variações pequenas; ações variáveis, com significativa variação; e ações excepcionais, com duração extremamente curta e baixa probabilidade de ocorrência, sendo importante considerar no projeto de determinadas estruturas.

Na NBR 7190 (1997) vê-se que o conjunto de ações caracteriza um carregamento, sendo a probabilidade não desprezível de atuação simultânea, onde deve haver combinações diferentes das ações para cada tipo de carregamento, determinando para a estrutura os efeitos mais desfavoráveis.

Segundo a NBR 7190 (1997) uma duração acumulada prevista para a ação variável atuando como uma ação variável principal na combinação considerada define as classes de carregamento (tabela 4).

Tabela 4 - 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: NBR 7190 (1997, pg. 8)

Como mostra a NBR 7190 (1997), obtêm-se os valores de cálculo das ações (F_d) por meio dos valores representativos, em que são multiplicados por respectivos coeficientes de ponderação (γ_f), coeficientes estes que dependendo se considerado os estados limites últimos pode ser ocupado como produto de outros dois coeficientes (γ_{f1} e γ_{f3}), e os estados limites de utilização quando considerado o valor de $\gamma_f = 1,0$.

Na NBR 7190 (1997) as solicitações atuantes (S_d) na estrutura são determinadas de acordo com combinações de ações em estados limites (F_d), sendo as com combinações de estados limites últimos, tanto as normais como as especiais e as excepcionais, expressas respectivamente nas equações abaixo:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,K} + \gamma_Q \left[F_{Q1,K} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,K} \right] \quad (3)$$

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,K} + \gamma_Q \left[F_{Q1,K} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j,ef} F_{Qj,K} \right] \quad (4)$$

$$Fd = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,K} + F_{Q,exc} + \gamma_Q \sum_{j=1}^n \psi_{0j,ef} F_{Qj,K} \quad (5)$$

Onde: γ_{gi} e γ_q - coeficientes de ponderação; $F_{gi,k}$ - valor característico das ações permanentes; $F_{q1,k}$ (3) - valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação considerada; $F_{q1,k}$ (4) - valor característico da ação variável considerada como principal para a situação transitória; $\psi_{0j} F_{qj,k}$ (3) - valores reduzidos de combinação das demais ações variáveis; $\psi_{0j,ef}$ - igual ao fator ψ_{0j} adotado nas combinações normais, salvo quando a ação principal F_{q1} tiver um tempo de atuação muito pequeno, caso em que $\psi_{0j,ef}$ pode ser tomado com o correspondente ψ_{2j} ; $F_{qj,k}$ - valores das demais ações variáveis; $F_{q,exc}$ - valor da ação transitória excepcional.

Tabela 5 - Fatores de combinação e de utilização.

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 ¹⁾
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2 ¹⁾
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4 ¹⁾

¹⁾ Admite-se $\psi_2 = 0$ quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico.

Fonte: NBR 7190 (1997, pg. 9).

Tabela 6 - Valores de ações permanentes (coeficiente de ponderação).

Combinações	Ações permanentes de pequena variabilidade		Ações permanentes de grande variabilidade		Ações permanentes indiretas	
	Desfavoráveis	Favoráveis	Desfavoráveis	Favoráveis	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 1,0$	$\gamma_g = 1,4$	$\gamma_g = 0,9$	$\gamma_e = 1,2$	$\gamma_e = 0$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 1,0$	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 0,9$	$\gamma_e = 1,2$	$\gamma_e = 0$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,1$	$\gamma_g = 1,0$	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0,9$	$\gamma_e = 0$	$\gamma_e = 0$

Fonte: NBR 7190 (1997, pg. 12)

Tabela 7 - Ações variáveis.

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

Fonte: NBR 7190 (1997, pg. 13)

Para o cálculo da resistência, na NBR 7190 (1997) são usados valores de coeficiente de modificação e coeficiente de ponderação, expressa pela seguinte equação:

$$f_{wd} = k_{mod} \frac{f_{wk}}{\gamma_w} \quad (6)$$

Onde: k_{mod} - coeficiente de modificação; f_{wk} - resistência característica; γ_w - coeficiente de ponderação das resistências da madeira.

Tabela 8 - Relação f_k / f_m e coeficiente (γ_w) de cada esforço.

Esforços	f_k / f_m	γ_w
Compressão paralela às fibras	0,7	1,4
Tração paralela às fibras	0,7	1,8
Cisalhamento paralelo às fibras	0,54	1,8

Fonte: Pfeil e Pfeil (2003, pg. 60), tabela modificada da NBR 7190 (1997, pg. 21)

Os coeficientes de modificação (k_{mod}), de acordo com a NBR 7190 (1997), são utilizados ao considerar tanto os efeitos da duração do carregamento como a umidade do meio ambiente, os quais os mesmos sobre a resistência são considerados respectivamente por $k_{mod,1}$ e $k_{mod,2}$ (tabela 9 e 10). A seguinte equação mostra o produto que resulta o coeficiente de modificação:

$$k_{mod} = k_{mod,1} * k_{mod,2} * k_{mod,3} \quad (7)$$

No caso de $k_{mod,3}$ considera-se a categoria da madeira, em que, segundo a NBR 7190 (1997), para dicotiledôneas é utilizado $k_{mod,3} = 1,0$ no caso de madeira de primeira categoria e $k_{mod,3} = 0,8$ para as de segunda, e $k_{mod,3} = 0,8$ para as madeiras serradas de coníferas tanto de primeira como de segunda categoria. De acordo com a norma, na classificação admitem-se todas as peças a serem utilizadas na estrutura que estejam isentas de defeitos e haver homogeneidade da rigidez determinada por classificação mecânica.

Tabela 9 - Valores de $k_{mod,1}$.

Classes de carregamento	Tipos de madeira	
	Madeira serrada	Madeira recomposta
	Madeira laminada colada	
	Madeira compensada	
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: NBR 7190 (1997, pg. 18).

Tabela 10 - Valores de $k_{mod,2}$.

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

Fonte: NBR 7190 (1997, pg. 18).

De acordo com a NBR 7190 (1997), nas verificações de segurança, em relação à rigidez da madeira, o módulo de elasticidade paralelamente às fibras tem que ser calculado por meio de valor efetivo.

$$E_{c0,ef} = k_{mod,1} * k_{mod,2} * k_{mod,3} * E_{c0,m} \quad (8)$$

3.4 USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Por conta da crise mundial em 2008, de acordo com Shigue (2018), muitos produtores de madeira foram em busca de novos mercados, sendo a construção civil o alvo de investimento para a destinação de seus produtos.

Segundo o relatório do IBÁ (2019), Indústria Brasileira de Árvores, em 2018 a produção brasileira de madeira serrada aumentou 4,2% em relação ao ano anterior, mas devido à estagnação da construção civil brasileira, e, a desvalorização do real e a melhora do mercado de construção civil norte-americano o cenário era propício ao aumento das exportações, cerca de 15,1%, sendo o país em 8º lugar entre os principais produtores de madeira serrada. Com isso, ainda de acordo com o relatório do IBÁ (2019), esse cenário possibilitou aumento do volume e preço da madeira serrada no mercado externo.

Segundo Shigue (2018), empresários do setor de base florestal passaram a ter interesse no mercado de construção em madeira, que tende a ter crescimento, visto que a industrialização proporciona agregação de valor à madeira.

4 METODOLOGIA

4.1 COLETA DE AMOSTRAS

Foram coletadas como amostras peças de madeira denominadas pelo mercado como madeira de maçaranduba e mista, em diferentes madeireiras e marcenarias da cidade de Recife-PE. O total de amostras coletadas correspondem a 20 peças de maçaranduba e 33 peças para a madeira considerada mista, para determinação da umidade e densidade aparente e, posteriormente, para realizar os cálculos estruturais. O desenvolvimento da pesquisa foi de acordo com o preconizado na norma 7190 (1997) - Projeto de Estruturas de Madeira da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

4.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As análises das peças de madeira foram conduzidas no laboratório de Tecnologia e Anatomia da madeira, do Departamento de Ciência Florestal na Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE. Para as análises as amostras foram separadas por grupos, em que cada grupo representa um local ao qual foi coletado, sendo os cinco primeiros grupos (A, B, C, D e E) para madeira denominada mista e os grupos restantes (F e G) sendo a maçaranduba.

Foi obtida a massa de todos os corpos de prova, com o auxílio de uma balança de precisão (0,01g). Em seguida, foi obtido o volume por meio do método de imersão, sendo as amostras submersas em recipiente com água presas a uma haste, admitindo-se para a água uma densidade de $1,0 \text{ g/cm}^3$, determinando o volume pelo resultado da diferença de peso indicada na balança. Esse método corresponde ao princípio de Arquimedes, que segundo Trugilho et al. (1990) foi o mais preciso em seus estudos, não sofrendo influência ao tamanho das amostras.

A densidade aparente da madeira foi determinada pela razão entre a massa e o volume de corpos-de-prova, dada pela equação 9 (NBR 7190/1997):

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (9)$$

Onde: m - massa da madeira (kg); V - volume da madeira (m^3). Sendo os resultados apresentados como valores médios.

Devido à variação do teor de umidade encontrado nas amostras, uma média de 17%, foi necessário realizar correção da densidade para a umidade padrão 12% (classe 1), sendo utilizada a expressão 10 encontrada na NBR 7190 (1997):

$$f_{12} = f_{U\%} \left(1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right) \quad (10)$$

4.3 DIMENSIONAMENTO DAS TRELIÇAS

Para o cálculo da estrutura, utilizando a madeira de maçaranduba, foram utilizados os dados da espécie descritos na NBR 7190 (1997), visto que utilizando tanto a média das densidades aparente das amostras como os valores descritos na norma se enquadram na classe de resistência C 60. No caso da madeira mista, foi adotado como classe de resistência C 30, devido ao grupo de amostras com a segunda menor média das densidades aparente se enquadrarem nesta classe, pois o valor mínimo referente a média das densidades não suporta a estrutura a qual foi dimensionada, visto que a mesma se enquadra na classe de resistência C 20.

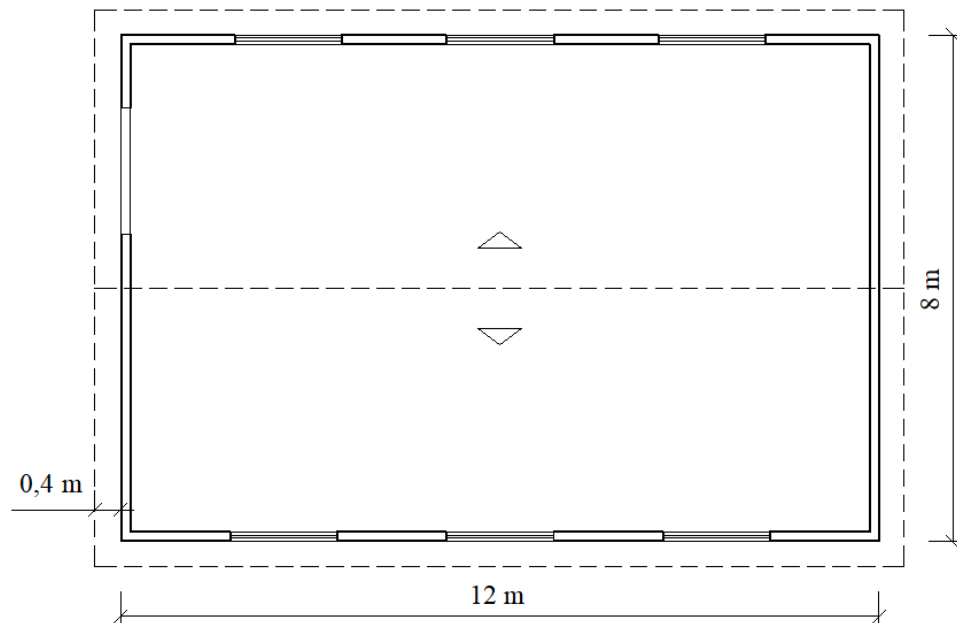
Identificadas as classes a partir dos valores obtidos para a densidade aparente, deu-se início aos cálculos, conforme recomendado pela norma NBR 7190 (1997), verificando as possibilidades de uso da madeira para o dimensionamento da estrutura do tipo treliça.

Para os cálculos da estrutura foram utilizados, além dos requisitos da NBR 7190 (1997), a NBR 6123 (1988) – Forças Devido ao Vento em Edificações e a NBR 6120 (2019) - Ações para o Cálculo de Estruturas de Edificações. Com o uso de *softwares* de cunho livre, o VisualVentos (vento) e Ftool. (estrutural), foi determinado o comportamento da estrutura por meio da obtenção de esforços advindos das ações de carga permanente e atuantes (ventos e sobrecarga) conforme a norma, necessários para o dimensionamento da estrutura.

O modelo de treliça utilizado foi o do tipo Howe, com banzo inclinado de duas águas. Além da treliça, a cobertura da casa projetada também é composta por terças, caibros e ripas, não considerando o contraventamento nos cálculos.

As treliças foram dimensionadas para uma estrutura residencial retangular para os dois tipos de madeira utilizadas, com dimensões de 12 metros de comprimento e 8 metros de largura, sendo esta última a dimensão do vão a ser vencido pela treliça.

Figura 6 - Planta baixa da residência (sem escala).

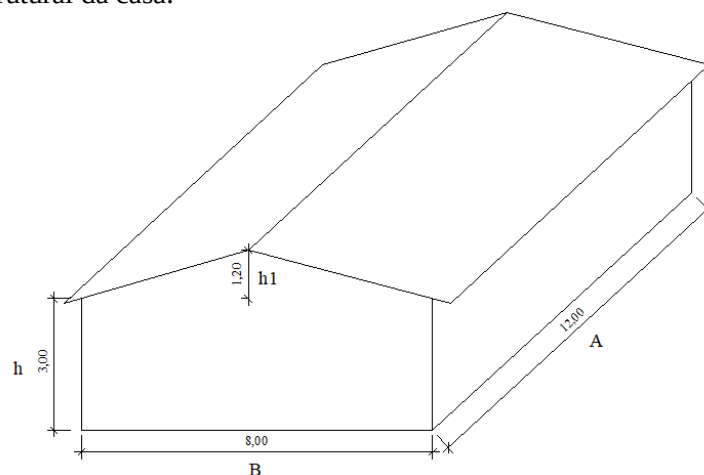


Fonte: A autora (2020).

4.3.1 Carga do vento (VisualVentos)

A determinação da carga do vento para os cálculos seguiu o preconizado na NBR 6123 (1988) – Forças Devido ao Vento em Edificações, onde são fixadas as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento. A princípio foram inseridas as informações referentes às medidas da residência, sendo: largura (b) = 8 m; comprimento (a) = 12 m; pé direito (h) = 3,00 m; e altura da cobertura (h_1) = 1,2 m.

Figura 7 - Esquema estrutural da casa.



Fonte: A autora (2020).

De acordo com a NBR 6123 (1988) as forças estáticas devidas ao vento foram determinadas devido aos fatores de velocidade básica do vento (V_o); o fator topográfico (S_1); a rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno (S_2); e, fator estatístico considerando o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação (S_3).

A velocidade básica do vento (V_o) utilizada, de acordo com gráfico das isopletras da velocidade básica no Brasil, foi de 30 m/s, correspondente a região de Recife. Para o projeto foi considerado terrenos planos com poucas ondulações como fator topográfico (S_1), sendo o mesmo caracterizado como categoria IV e a edificação como classe A (S_2) em que a maior dimensão horizontal ou vertical não excedeu 20 m, além disso, a edificação se enquadrou no grupo 2 (S_3) por ter sido classificada como residencial.

Com base nos fatores encontrados de acordo com a norma e o uso do *software* VisualVentos foi possível determinar a pressão dinâmica do vento, com base nas fórmulas 11 e 12:

$$V_k = V_o * S_1 * S_2 * S_3 \quad (11)$$

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad (12)$$

Onde: V_k - velocidade característica do vento (m/s); q - pressão dinâmica (N/m²).

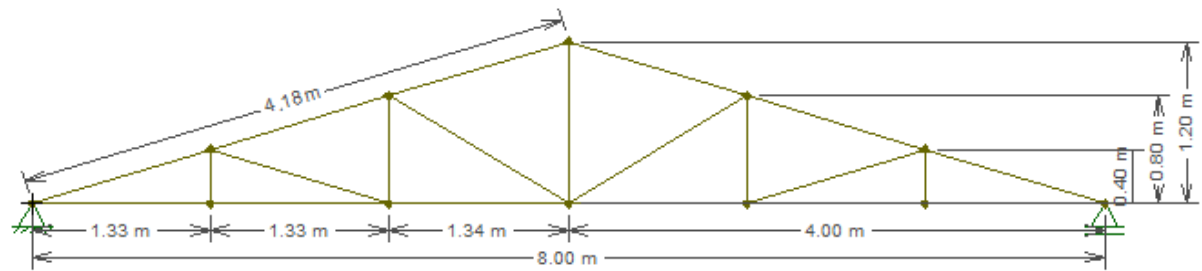
No caso de coeficiente de pressão interna foi adotado como a edificação de duas faces opostas igualmente permeáveis e as outras faces impermeáveis, sendo para vento perpendicular a uma face permeável o coeficiente (C_{pi}) igual a +0,2 e para o vento perpendicular a uma face impermeável o coeficiente (C_{pi}) -0,3.

4.3.2 Dados básicos do projeto da estrutura

- Dimensões da casa: 8 m x 12 m, com área total de 96 m²;
- Vão livre da treliça: 8 m;
- Inclinação do telhado: 16,7° (30%);
- Trama secundária: ripas, caibros e terças;
- Distância entre tesouras: 3 m (5 tesouras);
- Distância entre terças: 1,392 m;
- Distância entre caibros: 0,50 m;
- Distância entre ripas: 0,35 m;
- Beiral: 0,40 m;

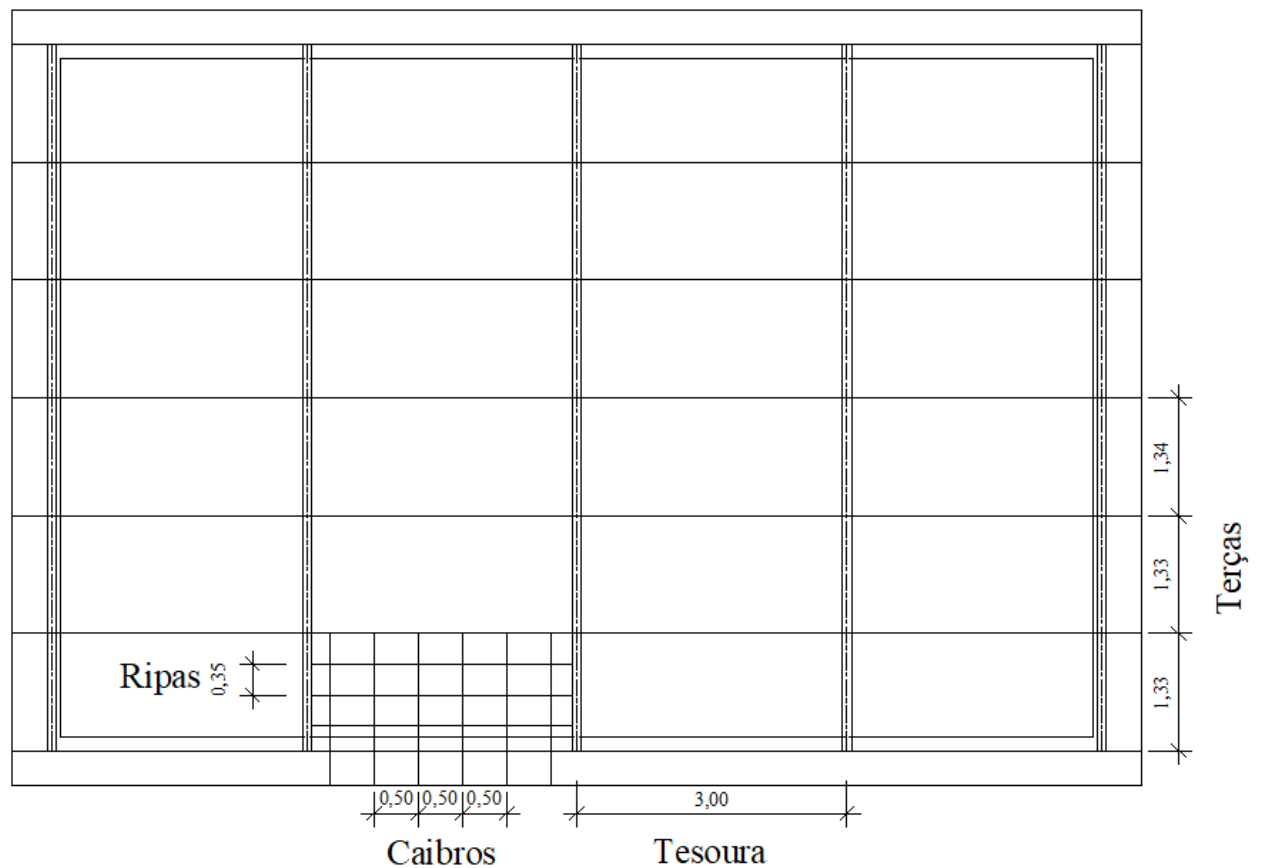
- Tipo de telha: cerâmica colonial.

Figura 8 - Treliça tipo Howe com dimensões determinadas para projeto.



Fonte: A autora (2020).

Figura 9 - Planta de locação.



Fonte: A autora (2020).

4.4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Estruturada a treliça, foram levantados os custos que envolvem todas as etapas de produção da mesma, incluindo o volume de material a ser utilizado, adquirindo dados

sobre: insumos, mão de obra, etapas de produção e equipamentos necessários. Para os custos foram considerados o tempo e quantidade tanto de funcionários como de equipamentos, gerando uma planilha de custos de produção da treliça de acordo com o padrão de dimensões estabelecido.

Os dados foram adquiridos com base nas pesquisas em empresas do mercado local, principalmente as dos setores de construção civil que utilizam a madeira como principal produto na fabricação de coberturas de casas e entre outros usos. A pesquisa foi realizada por meio de contatos telefônicos para obtenção dos preços das peças, com elaboração das planilhas de composição do orçamento e descrição das etapas de produção produzidas com auxílio da ferramenta Microsoft Excel. Para o orçamento foram utilizados valores de três madeiras localizadas na Região Metropolitana do Recife, sendo as mesmas oferecendo os menores valores com base na pesquisa de mercado.

Visto as informações obtidas, foi analisado e desenvolvido um levantamento técnico econômico demonstrando o uso da madeira no dimensionamento e confecção das treliças para uso estrutural em coberturas e elaboração de planilha contendo as etapas necessárias para a produção.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DENSIDADE APARENTE

Após determinado as densidades aparente e realizadas as devidas correções em relação à umidade das amostras, de acordo a NBR 7190 (1997), foram obtidas as médias das densidades (tabela 11) de cada grupo para os dois tipos de madeira.

Tabela 11 - Médias referentes às densidades aparente corrigidas devido a umidade.

DENSIDADE APARENTE (MÉDIAS)							
Grupo de amostras	Mista					Maçaranduba	
	A	B	C	D	E	F	G
Média do teor de umidade	20,49	16,21	17,2	15,66	13,87	16,87	18,94
Média da densidade aparente	688,01	865,61	614,32	824,05	945,47	1050,8	1091,64
Densidade aparente corrigida	863,09	974,99	710,11	912,61	998,43	1204,56	1320,39

Fonte: A autora (2020).

O valor mínimo referente às médias das densidades aparente da madeira denominada mista, de acordo com a NBR 7190 (1997), se enquadra na classe de resistência das dicotiledôneas C 20, porém mesmo utilizando as peças de maior dimensão disponíveis de madeira mista no mercado local não atenderam aos esforços de todos os componentes da treliça com esta classe. Sendo assim, para os cálculos foi adotada a classe de resistência C 30, correspondendo ao segundo valor mínimo das médias das densidades aparente, estando entre os valores de 800 e 950 kg/m³ ($800 \leq C\ 30 < 950$).

Para a madeira de maçaranduba coletada, de acordo com a NBR 7190 (1997), ambos os valores da densidade aparente estão acima do valor de 1000 kg/m³ ($C\ 60 > 1000$), se enquadrando na classe de resistência das dicotiledôneas C 60. Como os valores de densidade da maçaranduba informado na norma também se enquadram nesta classe, foram adotados os valores para cálculo referentes à NBR 7190 (1997).

Obtendo as médias de cada grupo, em relação à variação das densidades, foi realizada uma análise (tabela 12) contendo o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV%) para cada grupo e em relação ao total de grupos por tipo de madeira.

Tabela 12 - Análise estatística referente às densidades aparente corrigida devido à umidade.

DENSIDADE APARENTE CORRIGIDA									
Grupo de amostras	Mista						Maçaranduba		
	A	B	C	D	E	TOTAL	F	G	TOTAL
Média	863,09	974,99	710,11	912,61	998,43	891,95	1204,56	1320,39	1262,48
Desvio padrão	12,91	16,25	12,22	47,95	18,78	114,63	41,73	97,91	81,90
CV (%)	1,50	1,67	1,72	5,25	1,88	12,85	3,46	7,42	6,49

Fonte: A autora (2020).

Para os cálculos da madeira mista um dos grupos não se enquadra a classe de resistência adotada de C 30, devido à variação de madeiras denominadas como mista encontradas no mercado local. Após análise e ao comparar os valores obtidos de cada grupo em relação a madeira mista, o coeficiente de variação mostra que há proximidade dos valores obtidos, apesar do desvio padrão das médias do grupo D ser bastante diferente.

Em relação aos valores obtidos entre os grupos, representando o total de amostras de madeira mista, o desvio padrão se apresentou alto, entretanto, o coeficiente de variação mostra que há média variação entre os grupos. Ao comparar a madeira mista com a maçaranduba é possível observar uma diferença nos valores, visto que a maçaranduba apresenta baixa variação por ser uma madeira identificada.

5.2 DIMENSIONAMENTO DAS TRELIÇAS

A escolha das seções das peças para o dimensionamento da estrutura com ambos os tipos de madeira, maçaranduba e mista, foi baseada nas seções disponíveis no mercado local.

Foram utilizadas as mesmas cargas acidentais ($0,30 \text{ kN/m}^2$) e de telha ($0,5884 \text{ kN/m}^2$), além da obtenção dos mesmos esforços devido a ações permanentes e acidentais após cálculos. Após a verificação para dimensionar as peças, que compõem a estrutura da cobertura, realizou-se a determinação do volume de madeira necessário (tabela 13), obtendo os seguintes resultados:

Tabela 13 - Seções adotadas e volume de madeira de maçaranduba e mista (m³) necessárias para a estrutura da cobertura.

MADEIRA SERRADA				
Peças	Maçaranduba		Mista	
	Seção (m)	Volume (m ³)	Seção (m)	Volume (m ³)
Ripa	0,04 x 0,015	0,1843	0,04 x 0,015	0,1843
Caibro	0,05 x 0,06	0,6900	0,05 x 0,06	0,6900
Terça	0,06 x 0,15	0,8064	0,06 x 0,25	1,3440
Banzo superior	0,06 x 0,15	0,3762	0,06 x 0,25	0,6270
	0,025 x 0,095	0,0993	0,06 x 0,10	0,2508
Banzo inferior	0,06 x 0,10	0,2400	0,06 x 0,10	0,2400
Diagonais	0,06 x 0,10	0,1770	0,06 x 0,10	0,1770
Montante central	0,06 x 0,10	0,0360	0,06 x 0,10	0,0360
Montantes secundários	0,06 x 0,10	0,0720	0,06 x 0,10	0,0720
TOTAL (m ³)	2,6812		3,6211	

Fonte: A autora (2020).

A relação de consumo de madeira e a área a ser coberta para estrutura de maçaranduba foi de 0,0238 m³/m² e para a estrutura com madeira mista foi de 0,0321 m³/m². Por se enquadrar em classe de resistência menor que a de maçaranduba, para a estrutura dimensionada com madeira mista, há necessidade de utilizar maior volume de madeira, 34,87 % a mais.

Por se tratar de uma madeira não identificada, a densidade aparente da madeira mista pode variar em relação aos locais de venda, como observado com as amostras coletadas para desenvolvimento deste trabalho. Após determinação de suas propriedades é possível a realização do dimensionamento com madeira mista, o que não ocorre em muitos casos, sendo utilizada na confecção de estruturas por profissionais informais do setor da construção civil.

Ao se trabalhar com estruturas pré-fabricadas, que são devidamente dimensionadas de acordo com as necessidades da edificação que irá receber a cobertura, há uma determinação próxima ao real do volume de material necessário durante elaboração do projeto, reduzindo a quantidade de resíduos gerados durante a produção. Com isso, é possível evitar que no canteiro de obras ocorram desperdícios de material, o que chega a

ser uma das problemáticas no meio do setor da construção civil, visto que pode haver gastos a mais devido à geração de resíduos e necessidade de correto descarte.

Quando se trabalha diretamente com serraria é possível investir na produção de seções mais otimizadas, dependendo das estruturas projetadas, o que irá resultar em economia de material quando se trabalha com pré-fabricados, já que há casos em que se houvessem seções menores que as comerciais existentes poderiam ser suficientes para suportar as cargas a serem recebidas após instalação da estrutura. Sendo assim, tornando o setor da construção mais industrializado, é possível oferecer estruturas com preços atrativos ao consumidor, sem perder a qualidade do produto final.

5.3 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Após finalização do dimensionamento da estrutura foram obtidos os custos de produção da treliça (tabela 14), sendo os valores determinados com pesquisa no mercado local.

Tabela 14 - Custo da produção de treliça de madeira de maçaranduba e mista.

Produto	Unidade	Quant. (m)	Treliza			
			Maçaranduba		Mista	
			Valor unid.	Subtotal (R\$)	Valor unid.	Subtotal (R\$)
Banzo superior	m linear	8,36	R\$ 33,00	R\$ 275,88	R\$ 55,00	R\$ 459,80
Banzo superior	m linear	8,36	R\$ 30,00	R\$ 250,80	R\$ 15,00	R\$ 125,40
Banzo inferior	m linear	8	R\$ 22,00	R\$ 176,00	R\$ 15,00	R\$ 120,00
Diagonais	m linear	5,9	R\$ 22,00	R\$ 129,80	R\$ 15,00	R\$ 88,50
Montantes	m linear	1,2	R\$ 22,00	R\$ 26,40	R\$ 15,00	R\$ 18,00
Montantes secundários	m linear	2,4	R\$ 22,00	R\$ 52,80	R\$ 15,00	R\$ 36,00
TOTAL	---		---	R\$ 911,68	---	R\$ 847,70

Fonte: A autora (2020).

O valor unitário encontrado para a treliça com madeira de maçaranduba, sem considerar custo de conectores, chega ser menor ao encontrado no documento do Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI, 2019), onde o mesmo apresenta o custo da produção da tesoura completa de mesmo material e mesmo vão por R\$ 1217,29.

Obtido o valor unitário das treliças foi determinado o custo da estrutura da cobertura como um todo (tabela 15), considerando, além do volume de madeira serrada, a

quantidade de pinos metálicos necessários para a conexão das barras da treliça, utilizando valor médio de preço por unidade.

Tabela 15 - Custo de material para produção da cobertura.

COBERTURA					
Madeira serrada	Unid.	Maçaranduba		Mista	
		Valor unid. (R\$)	Subtotal (R\$)	Valor unid. (R\$)	Subtotal (R\$)
Ripa	metro linear	3,50	1.075,20	2,20	675,84
Caibro		11,00	2.530,00	7,50	1.725,00
Terça		33,00	2.956,80	55,00	4.928,00
Treliça		911,68	4.558,40	847,70	4.238,50
TOTAL			11.120,40		11.567,34
Conectores	Valor unit. (R\$)	Quantidade	Subtotal (R\$)	Quantidade	Subtotal (R\$)
Parafusos p/ treliça	4,00	335	1.340,00	420	1.680,00
TOTAL COBERTURA			12.460,40		13.247,34

Fonte: A autora (2020).

Considerando o custo unitário da treliça, a estrutura de maçaranduba apresenta um valor superior, porém não tão expressivo. Somando os valores de todas as treliças e demais componentes da trama as estruturas apresentam maior diferença nos custos, sendo a estrutura de madeira mista apresentando valor superior. Ao adicionar os custos dos fixadores da treliça é possível observar que houve diferença pouco mais expressiva nos custos, quando comparado apenas ao valor unitário da treliça, devido à necessidade de maior quantidade de parafusos para a estrutura de madeira mista.

Criada a planilha com o orçamento da estrutura seguiu-se para a conclusão do levantamento técnico-econômico, onde o mesmo será um resumo das etapas de produção (tabela 16) necessárias do produto/serviço a ser oferecido com seus determinados custos estimados. Os valores de tempo de produção informados são estimativas, que podem variar dependendo do tamanho do projeto a ser atendido. Na elaboração da planilha não são incluídas informações sobre custos fixos, como custos administrativos, por exemplo, pois o objetivo é detalhar as etapas referentes à produção dos pré-fabricados, dando melhor entendimento das ações a serem envolvidas.

Tabela 16 - Custo por etapa de produção da cobertura.

CUSTO MÃO DE OBRA							
Etapas de produção (treliça)	Equipamentos	Funcionários				Custo (R\$)	
		Função	h/h (R\$)	nº	Tempo (h)		
Análise do projeto	software	engenheiro	30,48	1	4	121,92	
Dimensionamento e detalhamento das peças	software	engenheiro	30,48	1	20	609,60	
Planejamento e locação das peças	---	engenheiro	30,48	1	4	121,92	
Orçamento	---	engenheiro	30,48	1	3	91,44	
Corte das peças	serra circular	carpinteiro	7,21	3	20	432,60	
Encaixe e fixação das peças	---	carpinteiro	7,21	2	16	230,72	
Verificações finais	---	carpinteiro	7,21	2	4	57,68	
Transporte	caminhão munck	motorista	8,90	1	2	17,80	
Colocação e nivelção das tesouras	caminhão munck	motorista	8,90	1	1	8,90	
Instalação	Ligação das tesouras às seus apoios	---	carpinteiro	7,21	2	2	28,84
	Colocação e nivelção da trama	---	carpinteiro	7,21	3	5	108,15
TOTAL (R\$)			145,29	17	77	1.829,57	

Fonte: A autora (2020).

Após detalhamento dos processos foi possível finalizar o orçamento total da cobertura (tabela 17), incluindo além da madeira os conectores e custos por etapa de produção, sendo os valores citados abaixo:

Tabela 17 - Custo de produção da cobertura com madeira de maçaranduba.

CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO						
	Madeira serrada	Conectores	Mão de obra	TOTAL	Total (m³)	Total (m²)
Maçaranduba	R\$ 11.120,40	R\$ 1.340,00	R\$ 1.829,57	R\$ 14.289,97	R\$ 5.329,70	R\$ 126,86
Mista	R\$ 11.567,34	R\$ 1.680,00	R\$ 1.829,57	R\$ 15.076,91	R\$ 4.163,60	R\$ 133,85

Fonte: A autora (2020).

O custo total de produção da cobertura em madeira mista obteve um valor mais alto em relação ao de maçaranduba, isso é devido ao maior volume de madeira necessário, por se tratar de uma madeira de classe de resistência menor, além de necessitar de maior quantidade de conectores. Em relação ao custo por metro cúbico, a estrutura de madeira mista apresentou menor valor, devido a maior quantidade de volume necessário para

suportar os esforços, entretanto, para o custo por metro quadrado a estrutura de madeira mista apresentou maior valor.

Por se tratar de uma madeira que apresenta custo unitário menor que as demais, a madeira mista é a escolha de muitos consumidores, porém seu uso sem conhecimento de suas propriedades mecânicas e sem devido dimensionamento pode resultar em riscos de colapso da estrutura, além de gastos maiores, visto que por se tratar de uma madeira não identificada a seção escolhida pode não ser suficiente para suportar as cargas a serem suportadas pela estrutura.

Devido à grande busca por moradia própria, o mercado da construção civil tende a ser um setor importante para investir no próprio negócio, e ao incluir a inovação e tecnologia é possível se destacar pela eficiência de produtos e serviços oferecidos.

Como já citado, com pesquisas realizadas por Shigue (2018), na região ao qual se direciona este trabalho, Região Metropolitana do Recife, e até mesmo incluindo a Região Nordeste, não é comum encontrar empresas que trabalham com a madeira como componentes estruturais, muito menos em relação a telhado pré-fabricado. Com isso, é possível que o mercado de pré-fabricados seja uma oportunidade para empreendedores do ramo de serraria ou madeireiras da região crescerem, oferecendo, além das peças serradas, serviços de produção de treliças e dimensionamento das demais peças que irão compor a cobertura.

É possível atuar com inovações ao entrar nesse mercado que irão suprir problemáticas, além do desperdício, no setor da construção civil, como o excesso de prazo no desenvolvimento das obras. Dedicando mais tempo no desenvolvimento do dimensionamento e planejamento da logística na finalização da montagem das peças no local se perde menos tempo na execução, resultando em mais agilidade no canteiro de obra, o que provavelmente resultará em menor custo de mão de obra.

Com base nas informações apresentadas, a adoção desse mercado de pré-fabricados na Região Metropolitana do Recife tem seu potencial quando adotado por empreendedores do setor de serrarias e madeireiras, visto que no cenário atual ainda são poucos os que atuam neste mercado, sendo uma possibilidade de alcançar um grande desempenho operacional e financeiro no setor da construção civil da região.

Em relação ao tipo de madeira disponível no mercado local, sabe-se que nem sempre a madeira serrada apresentará condições de umidade padrão, além das variações apresentadas nas propriedades de resistência, o que pode ser observado com as madeiras do tipo mista. O desconhecimento em relação às propriedades pode interferir na escolha do

produto que irá compor a estrutura, sendo necessário para a mesma ter devido dimensionamento para um bom desempenho do produto final. No caso de escolha de uso da madeira mista, se faz necessário, além de estimar a densidade aparente, um estudo anatômico para identificação, para melhor conhecer o comportamento das peças em relação às propriedades mecânicas e físicas.

Ao se optar pela aquisição de estruturas pré-fabricadas, há vantagens devido à utilização de peças sob medida, evitando desperdícios por trabalhar apenas com o volume necessário para montar a estrutura, o que pode não ocorrer quando não há o devido dimensionamento e planejamento da montagem da peça final. Com isso, é possível utilizar peças de madeira mais nobres para a produção da estrutura com custo final menor quando comparado a estruturas com madeira de resistência menor, garantindo o melhor desempenho do produto final.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que é possível otimizar estruturas quando inserido no mercado de pré-fabricados, oferecendo serviços inovadores a realidade atual da região Metropolitana do Recife, minimizando problemáticas do setor construtivo. O levantamento técnico econômico mostra que o produto/serviço pode ser ofertado com garantia de eficiência e agilidade na entrega do produto final, com custo atrativo aos clientes.

Dimensionar a estrutura apenas utilizando a densidade aparente não se mostra suficiente por não ser bastante representativo, podendo as demais propriedades, quando determinadas, dar maior segurança ao uso da estrutura.

Ao finalizar o orçamento, utilizando valores encontrados no mercado local, observou-se que a melhor opção seria utilizar a madeira de maçaranduba por apresentar custos menores para a confecção da estrutura, com custo unitário da treliça menor ao apresentando nos dados do SINAPI (2019). Além dos custos, a estrutura em maçaranduba oferece menos riscos de colapso por ser uma madeira identificada e ser dimensionada corretamente, já que a madeira mista apresenta variação em suas propriedades dependendo dos locais que são comercializadas.

A escolha certa do material, neste caso sendo a madeira, tem sua importância na apresentação do produto final, sendo indispensável o conhecimento da matéria-prima do mercado local. No caso de uso da madeira mista, bastante comercializada no mercado local e com preço mais acessível, seria indicado um maior estudo, pois como é denominada mista por não ser especificada a espécie pode apresentar resistência alta ou baixa dependendo do local que for adquirida como foi observado nas amostras utilizadas neste trabalho, sendo possível a sua utilização de forma correta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:** Ações para o Cálculo de Estruturas de Edificações. Rio de Janeiro, ABNT, 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:** Forças Devido ao Vento em Edificações. Rio de Janeiro, ABNT, 1988.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:** Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.

ALMEIDA, F. A. L. **A madeira como material estrutural:** Projeto da estrutura da cobertura de um edifício. 2012. 310 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2012.

ANDRADE, J. R.; ALMEIDA, D. H.; ALMEIDA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; STAMATO, G. C.; LAHR, F. A. R. **Avaliação das estruturas de cobertura em madeira de um galpão de estoque de produtos químicos.** Ambiente Construído, Porto Alegre, 2014. v. 14, n. 3, p. 75-85. ISSN 1678-8621.

CALIL JÚNIOR, C.; DIAS, A. A. **Utilização da madeira em construções rurais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, v. I, p.71-77, 1997.

CALIL JUNIOR, C.; MOLINA, J. C. **Coberturas em estruturas de madeira:** exemplos de cálculo. São Paulo: Pini, 2010. 207p.

COUTINHO, J. D. **Apontamentos das aulas teóricas de Materiais de Construção I.** Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1999.

CORREIA, E. A. S. **Análise e dimensionamento de estruturas de madeira.** 2009. 163 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2009.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Déficit habitacional no Brasil**. CBIC dados, 2018. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/deficit-habitacional/deficit-habitacional-no-brasil>> Acesso em: 15 outubro 2020.

FEDERAL, Caixa Econômica. **SINAPI: Cadernos Técnicos de composição para estrutura e trama para cobertura**. Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-lote1-habitacao-fundacoesestruturas/SINAPI_CT_MT1_TELHAMENTO ESTRUTURA TRAMA_v001.pdf>. Acesso em: 02 outubro 2020.

GESUALDO, F. A. R. **Estruturas de madeira**: Notas de aula. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2003. 98p

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual 2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2019-final.pdf>> Acesso em: 15 outubro 2020.

LOGSDON, N. B. **Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997**. Cuiabá: Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso. 2002.

MARTINS, T. F. R. M. **Dimensionamento de estruturas em madeira**: coberturas e pavimentos. 2010. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2010.

MARTHA, L. F. **Ftool**: Programa de análise estrutural bidimensional. Versão 4.00.00, 2017. Disponível em: <<http://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/ftool/>>. Acesso em: 11 agosto 2020.

MELO, J. E. **Sistemas estruturais em madeira**. Brasília: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Publicação Interna, 2013.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 4. Ed. São Paulo: Blucher, 2010. 268 p. ISBN 978-85-212-0554-8.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Notas de aula, 4ª ed. Paraná: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná. 2012.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis LVL de *Eucalyptus grandis***. Ciência Florestal, Santa Maria, 2011. v. 21, n. 3, p. 559-566. ISSN 0103-9954.

PAROLIN, B. **Projeto estrutural de uma treliça de madeira maciça de acordo com diferentes sistemas construtivos**. 2017. 66f. Trabalho de conclusão de curso de graduação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC. 2003.

PRAVIA, Z. M. C. **Visual Ventos**: Programa para cálculo de esforço devido ao vento de edificações com planta retangular e telhado a duas águas, segundo NBR 6123/1988. Versão 2.0.2, 2008. Disponível em: <http://www.etools.upf.br/>. Acesso em: 18 setembro 2020.

RODRIGUES, A. G. K. **Dimensionamento de Estruturas de Madeira Tropical Utilizando a Densidade Básica-LRFD**. 2018. 236 p. Monografia de Projeto Final (Departamento de Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Brasília. Brasília, 2018.

Sem autor. **Profissões e cargos**. Salário, 2020. Disponível em: <https://www.salario.com.br/>. Acesso em: 02 outubro 2020.

SHIGUE, E. K. **Difusão da construção em madeira no Brasil**: Agentes, ações e produtos. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2018.

SOUZA, M. F. S. M.; RODRIGUES, R. B.; MASCIA, N. T. **Sistemas estruturais de edificações e exemplos**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas. 2008.

SOUZA JUNIOR, D. A.; GESUALDO, F. A. R.; RIBEIRO, L. M. P. **Avaliação do comportamento mecânico de treliças de madeira do tipo Howe, Pratt e Belga otimizadas pelo método dos algoritmos genéticos**. Uberlândia, n.38, p.5-16, 2010.

SZUCS, C. A.; TEREZO, R. F.; VALLE, A.; MORAES, P. D. **Estruturas de madeira**. Apostila. Santa Catarina: Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 2016.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. **Comparação de métodos de determinação da densidade básica em Madeira**. Manaus: INPA. ACTA AMAZÔNICA, 20 (único): 307-319. 1990.

VALLE, I. M. R. **A pré-fabricação de dois sistemas de cobertura com madeira de florestas plantadas. Estudos de casos: os assentamentos rurais Pirituba II e Sepé Tiaraju**. 2011. 350 f. (Doutorado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

VALLE, I. M. R.; INO, A.; FOLZ, R. R.; CALLIL, J. **Construção: Pré-fabricação na construção em madeira**. Revista da Madeira, ed. 133. 2012.

APÊNDICE A

DENSIDADE APARENTE

Tabela 1 - Dados obtidos de amostras de madeira mista, coletadas em marcenarias e madeireiras de Recife-PE.

Amostras	Peso (g)	Massa (g)	Densidade aparente	Massa seca (estufa 105±2 °C)	Teor de umidade
A1	34,06	49,32	0,69	28,27	20,48
A2	36,37	54	0,67	30,18	20,51
A3	9,92	14,6	0,68	8,21	20,83
A4	23,13	33,21	0,70	19,14	20,85
A5	9,94	14,2	0,70	8,3	19,76
B1	18,49	21,05	0,88	15,9	16,29
B2	15,9	18,3	0,87	13,7	16,06
B3	20,56	24,2	0,85	17,68	16,29
C1	23,15	37,2	0,62	19,74	17,27
C2	22,8	37,7	0,60	19,54	16,68
C3	24,87	40,8	0,61	21,17	17,48
C4	23,08	37,4	0,62	19,65	17,46
C5	16,99	27,5	0,62	14,51	17,09
D1	77,82	92,5	0,84	67,89	14,63
D2	79,63	92,7	0,86	69,15	15,16
D3	77,21	88,7	0,87	67,11	15,05
D4	91,66	100,1	0,92	80,39	14,02
D5	87,4	119,2	0,73	73,85	18,35
D6	78,88	94	0,84	67,77	16,39
D7	82,47	101,2	0,81	71,57	15,23
D8	79,97	92,3	0,87	69,59	14,92
D9	104,99	141,4	0,74	88,62	18,47
D10	70,93	93,6	0,76	62,02	14,37
E1	66,31	70,3	0,94	58,65	13,06
E2	42,16	45,3	0,93	37,17	13,42
E3	78,49	82,4	0,95	69,12	13,56
E4	41,8	44,7	0,94	36,59	14,24
E5	91,17	96,2	0,95	79,91	14,09
E6	95,91	100,2	0,96	84,45	13,57
E7	69,43	74,3	0,93	61,1	13,63
E8	89,03	94	0,95	77,75	14,51
E9	78,1	81,51	0,96	68,29	14,37
E10	78,91	83,2	0,95	69,09	14,21

Fonte: A autora (2020).

Tabela 2 - Dados obtidos de amostras de madeira de maçaranduba, coletadas em marcenarias e madeireiras de Recife-PE.

Amostras	Peso (g)	Massa (g)	Densidade aparente	Massa seca (105±2 °C)	Teor de umidade
F1	56,32	54,5	1,03	48,6	15,88
F2	51,75	50,3	1,03	44,49	16,32
F3	53,45	49,8	1,07	45,78	16,75
F4	43,28	41,6	1,04	37,16	16,47
F5	23,61	23,58	1,00	20,08	17,58
F6	52,44	50	1,05	45,01	16,51
F7	46,6	43,4	1,07	39,88	16,85
F8	29,85	27,2	1,10	25,32	17,89
F9	28,93	27,6	1,05	24,63	17,46
F10	29,01	27,3	1,06	24,79	17,02
G1	88,36	82,4	1,07	76,23	15,91
G2	85,12	81,9	1,04	72,95	16,68
G3	123,29	110,6	1,11	102,23	20,60
G4	118,88	107,5	1,11	100,39	18,42
G5	88,58	82,9	1,07	75,31	17,62
G6	91,22	84,6	1,08	77,21	18,15
G7	101,15	94,1	1,07	85,52	18,28
G8	154,11	138,6	1,11	126,77	21,57
G9	146,77	131	1,12	121,2	21,10
G10	149,75	132,5	1,13	123,65	21,11

Fonte: A autora (2020).

Tabela 3 – Médias referentes à densidades aparente corrigida devido a umidade.

DENSIDADE APARENTE (MÉDIAS)							
	Mista					Maçaranduba	
	A	B	C	D	E	F	G
Média do teor de umidade	20,49	16,21	17,2	15,66	13,87	16,87	18,94
Média da densidade aparente	688,01	865,61	614,32	824,05	945,47	1050,8	1091,64
Densidade aparente corrigida	863,14	975	710,09	914,47	998,4	1204,43	1319,01
Média total da Densidade corrigida	892,22					1261,72	

Fonte: A autora (2020).

APÊNDICE B

MEMÓRIA DE CÁLCULOS - MAÇARANDUBA (NBR 7190, 1997; Moliterno, 2010; Calil e Molina, 2010)

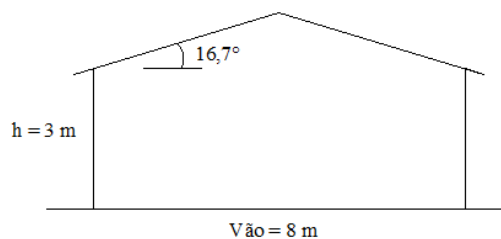
1. Dados

1.2. Esquema estrutural e especificações

a) Esquema estrutural

- 1) Dimensões da residência: 8 m x 12 m;
- 2) Estrutura de apoio do telhado: treliça tipo Howe;
- 3) Vão teórico das tesouras: 8 m;
- 4) Estrutura da cobertura: ripas, caibros, terças e tesouras;
- 5) Inclinação: $16,7^\circ$ (30%);
- 6) Espaçamento máximo entre terças: $a = 3$ m;
- 7) Madeira: Maçaranduba (classe C 60);
- 8) Telhado: duas águas;
- 9) Telhas: cerâmica colonial;
- 10) Beiral: 0,40 m.

Figura 1 - Esquema estrutural da casa.



Fonte: A autora (2020).

b) Especificações

- 1) Telhas: $Peso = 60 \text{ kg/m}^2 = 0,5884 \text{ kN/m}^2$
 $Quantidade = 24 \text{ unidades/m}^2$
- 2) Madeira: Maçaranduba $\rightarrow$ Dicotiledônea, classe C60 (NBR 7190/97)
 - 2.1. Peso específico aparente $= 1143 \text{ kg/m}^3 = 11,2090 \text{ kN/m}^3$
 - 2.2. Resistência

$$f_{c0k} = 60 \text{ MPa} ; k_{mod} = 0,7 * 1,0 * 0,8 = 0,56 ; \gamma_{wc} = 1,4 ; f_{v0k} = 8 \text{ MPa}$$

$$f_{c0d} = k_{mod} * f_{c0k} / \gamma_{wc} = 60 * 0,56 / 1,4 = 24 \text{ MPa (compressão paralela às fibras)}$$

$$f_{t0d} = k_{mod} * (f_{c0k} / 0,77) / \gamma_{wt} = 0,56 * (60 / 0,77) / 1,8 = 24 \text{ MPa (tração paralela às fibras)}$$

$$f_{v0d} = k_{mod} * f_{v0k} / \gamma_{wv} = 0,56 * 8 / 1,8 = 2,49 \text{ MPa (cisalhamento paralela às fibras)}$$

$$E_{c0,ef} = k_{mod} * E_{c0,m} = 0,56 * 22733 = 12730,5 \text{ MPa (módulo de elasticidade)}$$

c) Determinação da sollicitação:

$$\text{Peso próprio} / (\text{peso p-róprio} + \text{total perm.}) = 0,0892 / (0,0892 + 0,8524) = 0,0947 \leq 0,75$$

- Coeficiente de Ponderação das Ações

→ Estados Limites Últimos

- a) Ações permanentes

efeito favorável: $\gamma_g = 0,9$

efeito desfavorável: $\gamma_g = 1,4$

- b) Ações variáveis

efeito favorável e desfavorável: $\gamma_q = 1,4$

→ Estados Limites de Utilização

- a) Item 5.6.3: $\gamma_f = 1,0$

- Fator de combinação e de utilização

→ Estados Limites Últimos / Estados Limites de Utilização

Considerando cargas acidentais dos edifícios (Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas).

$$\psi_0 = 0,4$$

$$\psi_1 = 0,3; \psi_2 = 0,2$$

- Coeficientes de ponderação das resistências

$\gamma_{wc} = 1,4$ (compressão paralela às fibras);

$\gamma_{wt} = 1,8$ (tração paralela às fibras);

$\gamma_{wv} = 1,8$ (cisalhamento paralelo às fibras);

$$F_d = \sum \gamma_{gi} F_{gi,k} + \gamma_q (F_{q1,k} + \sum \psi_{0j} F_{qj,k})$$

1º carregamento (ação permanente)

2º carregamento (ação permanente + ação variável acidental)

$F_{G,k}$ (ação permanente); $F_{Q,k}$ (ação variável acidental)

Favorável:

$$\rightarrow F_d = 0,9 * (0,89) = 0,8010$$

Desfavorável:

$$\rightarrow F_d = (1,4 * (0,89)) + 1,4 * (0,4 * (0,3)) = 1,4140$$

$$\rightarrow F_d = (1,4 * (0,89)) + (1,4 * (0,3)) = 1,6660$$

d) Cargas

1) Carga permanente - fórmula de Howe

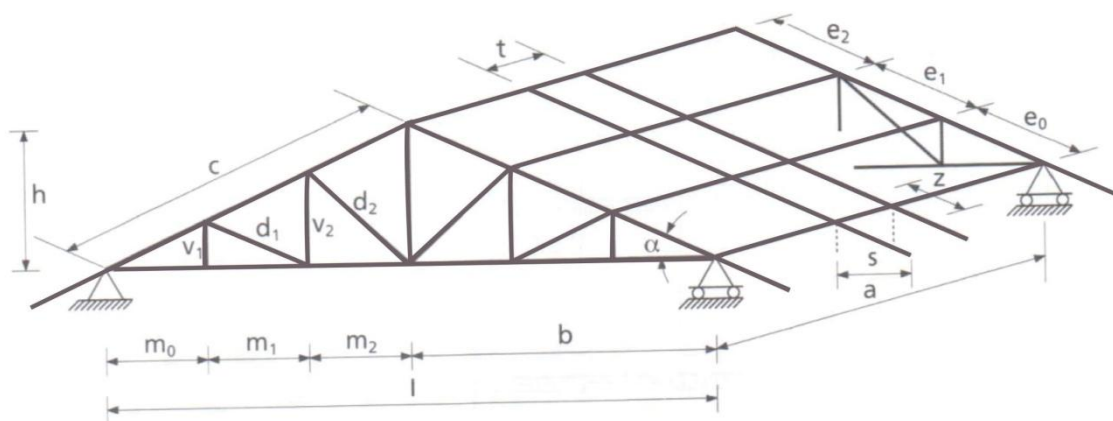
2) Carga acidental de vento - NBR 6123/88 e NBR 6120/80

Localização: Região Metropolitana do Recife - PE

1.3. Projeto da armação

1.3.1. Cálculos preliminares

Figura 2 - Esquema disposição das peças, apoiadas.



Fonte: Moliterno (2010).

a) Elementos geométricos

$$l = 8 \text{ m}$$

$$m = m_0 = m_1 = m_2 = 1,33 \text{ m}$$

$$h = 0,3 * b = 0,3 * 4 = 1,2 \text{ m}$$

$$c = \sqrt{b^2 + h^2} = \sqrt{4^2 + 1,2^2} = 4,1761 \text{ m}$$

$$e = e_0 = e_1 = e_2 = c/3 = 4,1761/3 = 1,3920 \text{ m}$$

$$\text{sen } \alpha = h/c = 1,2/4,1761 = 0,2873 \rightarrow \alpha = 16,7^\circ$$

$$\text{cos } \alpha = b/c = 4/4,1761 = 0,9578 \rightarrow \alpha = 16,7^\circ$$

$$a = 3,0 \text{ m (esp. treliça)}$$

$$t = 0,50 \text{ m (esp. caibros)}$$

$$s = 0,40 \text{ m (beiral)}$$

$$v_1 = 1/3 * h = 1/3 * 1,2 = 0,4 \text{ m}$$

$$v_2 = 2/3 * h = 2/3 * 1,2 = 0,8 \text{ m}$$

$$d_1 = \sqrt{m^2 + v_1^2} = \sqrt{1,33^2 + 0,4^2} = 1,3889 \text{ m}$$

$$d_2 = \sqrt{m^2 + v_2^2} = \sqrt{1,33^2 + 0,8^2} = 1,5521 \text{ m}$$

1.3.2. Cálculo das cargas unitárias

a) Carga permanente

1) Peso próprio da tesoura e contraventamento

$$\text{Fórmula de Howe: } g_T = 0,0245 (1 + 0,33 * l) \rightarrow \text{kN/m}^2$$

$$g_T = 0,0245 (1 + 0,33 * 8) = 0,0892 \sim 0,1 \text{ kN/m}^2$$

2) Cobertura, composição

$$\text{Telhas } 0,5884 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ripas } 0,015 \times 0,04 \times 11,21 \times 3 \text{ } 0,0202 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Caibros } 0,05 \times 0,06 \times 11,21 \times 2 \text{ } 0,0673 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Absorção de água pluvial (30\% do peso das telhas) } 0,1765 \text{ kN/m}^2$$

$$g = 0,8524 \text{ kN/m}^2$$

de superfície inclinada

Carga equivalente em projeção horizontal

$$g_c = g / \text{cos } \alpha = 0,8524 / 0,9578 = \sim 0,89 \text{ kN/m}^2$$

b) Cálculo da ação do vento - NBR 6123/88 (VisualVentos)

- Velocidade Básica do Vento: 30 m/s

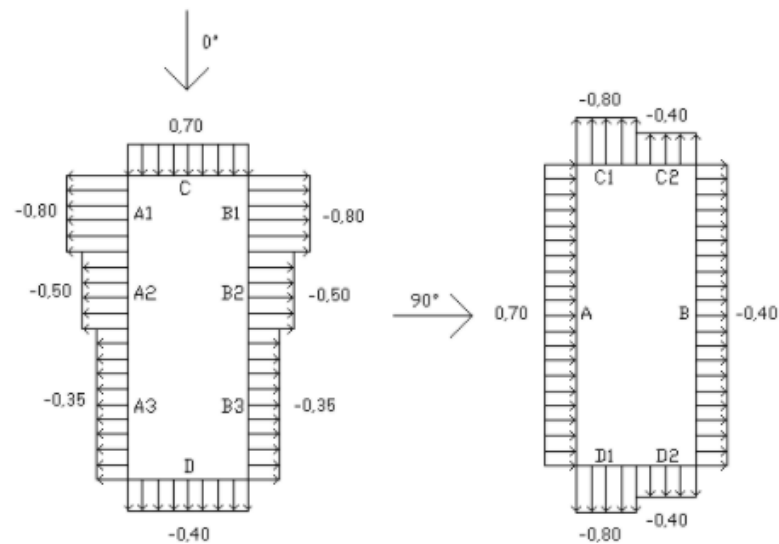
- Fator Topográfico: 1,0

- Fator rugosidade do terreno (vento 0° e 90°): 0,775

- Fator estatístico: 1,0

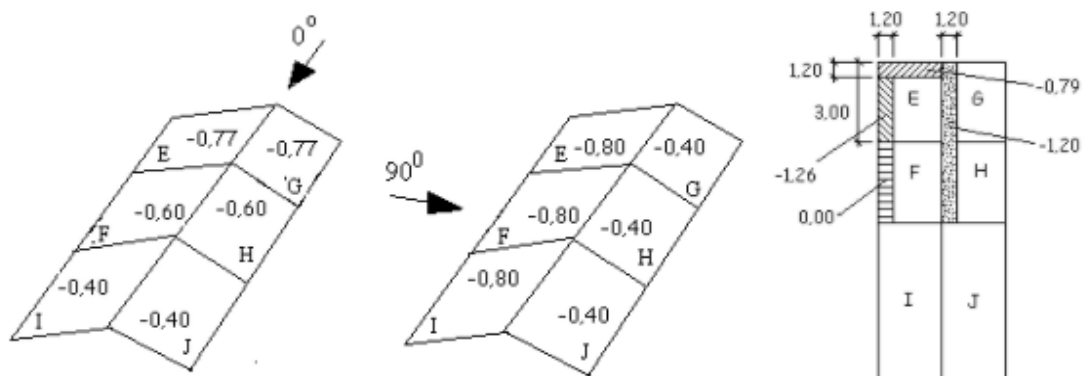
- Pressão dinâmica do vento (vento 0° e 90°): 0,331 kN/m²

Figura 3 - Coeficientes de pressão e forma externos - paredes q_{ce} (VisualVentos).



Fonte: A autora (2020).

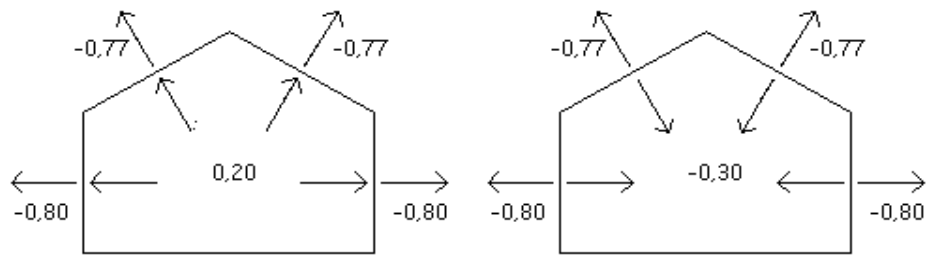
Figura 4 - Coeficientes de pressão externos - telhado (VisualVentos)



Fonte: A autora (2020).

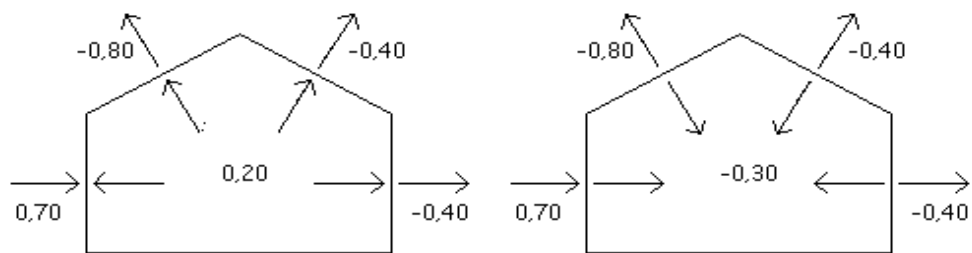
No caso de coeficiente de pressão interna foi adotado como a edificação de duas faces opostas igualmente permeáveis e as outras faces impermeáveis, sendo para vento perpendicular a uma face permeável o coeficiente (C_{pi}) igual a $+0,2$ e para o vento perpendicular a uma face impermeável o coeficiente (C_{pi}) $-0,3$.

Figura 5 - Combinações dos coeficientes de pressão - vento a 0° (VisualVentos).



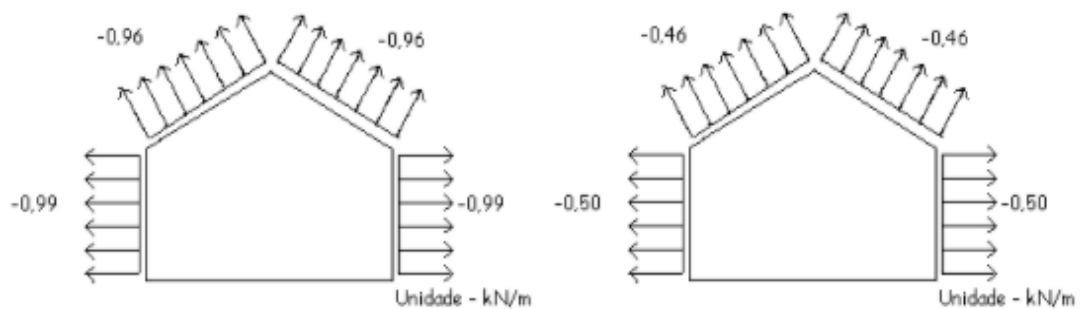
Fonte: A autora (2020).

Figura 6 - Combinações dos coeficientes de pressão - vento a 90° (VisualVentos).



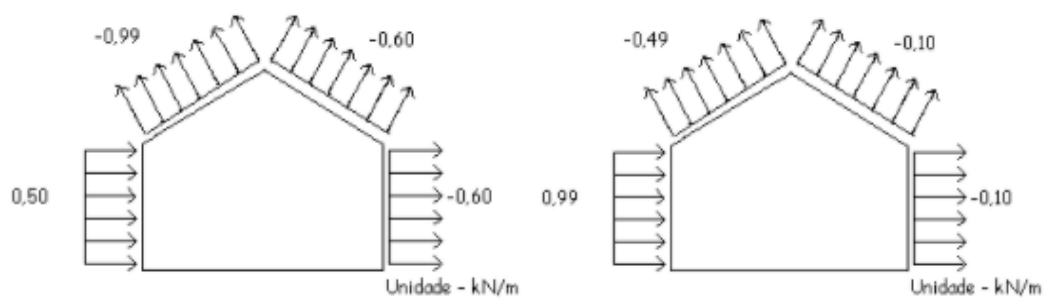
Fonte: A autora (2020).

Figura 7 - Esforços resultantes - ventos a 0° (cpi 0,20 e -0,30) (VisualVentos).



Fonte: A autora (2020).

Figura 8 - Esforços resultantes - ventos a 90° (cpi 0,20 e -0,30) (VisualVentos).



Fonte: A autora (2020).

c) Considerações sobre o efeito do vento

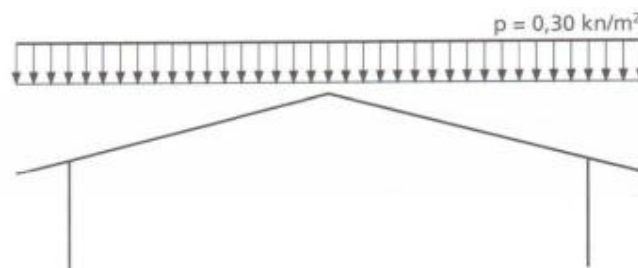
Segundo Moliterno (2010), a ação da sucção em coberturas de telha cerâmica não tem significado, já que nas coberturas com inclinações inferiores a 75% a amarração é dispensada, o que poderá resultar em destelhamento no caso de ventania forte, não afetando a estrutura.

Moliterno (2010) justifica a adoção de $0,30 \text{ kN/m}^2$ de acordo com o item 2.2.1.4 da NBR 6120/19 - “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 1 kN , além da carga permanente” (ABNT, 2019).

$$p = P/\text{área de influência (kN/m}^2)$$

$$p = 1 / (1,33 \cdot 3) = 0,25 \text{ kN/m}^2 \sim 0,30 \text{ kN/m}^2$$

Figura 9 - Carga acidental - sobrecarga - em substituição ao efeito do vento.



Fonte: Moliterno (2010).

1.3.3. Verificação das ripas

a) Dados

- 1) Seção adotada: retangular ($b \times h$), $4 \times 1,5 \text{ cm}$

$$A = b \cdot h; W = (b \cdot h^2)/6; I = (b \cdot h^3)/12; i = \sqrt{I/W}; \lambda = e/i$$

$$A = 6 \text{ cm}^2; W_x = (4 \cdot 1,5^2)/6 = 1,5 \text{ cm}^4; I_x = (4 \cdot 1,5^3)/12 = 1,125 \text{ cm}^4$$

$$W_y = (1,5 \cdot 4^2)/6 = 4 \text{ cm}^3; I_y = (1,5 \cdot 4^3)/12 = 8 \text{ cm}^4;$$

$$i = \sqrt{(1,125/1,5)} = 0,87; \lambda = 50/0,87 = 57,47 < 80 \rightarrow \text{Peça semi esbelta}$$

- 2) Distância entre ripas = $0,35 \text{ m}$,
- 3) Vão entre caibros, $L = 0,5 \text{ m}$
- 4) Telhas: $0,5884 \text{ kN/m}^2$
- 5) Carga acidental: $0,3 \text{ kN/m}^2$

b) Carga por metro linear de ripa

1) Carga permanente $g = g_0 + g_c$

Peso próprio $g_0 = 0,015 \times 0,04 \times 11,21 \dots\dots\dots 0,0067 \text{ kN/m linear}$

Telhas $g_c = 0,40 \times 0,5884 \text{ kN/m}^2 \dots\dots\dots 0,2354 \text{ kN/m linear}$

$g = g_0 + g_c \dots\dots\dots 0,2421 \text{ kN/m linear}$

2) Carga acidental ... $p = 0,3 \text{ kN/m}^2 \times 0,4 = 0,12 \text{ kN/m linear}$

3) Componentes:

$$g_x = g \cos \alpha = 0,2421 * 0,9578 = 0,2319$$

$$g_y = g \sin \alpha = 0,2421 * 0,2873 = 0,0696$$

$$p_x = p \cos \alpha = 0,12 * 0,9578 = 0,1149$$

$$p_y = p \sin \alpha = 0,12 * 0,2873 = 0,0345$$

$$M_{x,d} = 1,4 * (((0,2319 + 0,1149) * 3^2) / 8) = 0,5462 \text{ kN/m}$$

$$M_{y,d} = 1,4 * (((0,0696 + 0,0345) * 3^2) / 8) = 0,1640 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{M_{x,d}} = (M_{x,d} / W_x) = 0,5462 / 1,5 = 0,3641$$

$$\sigma_{M_{y,d}} = (M_{y,d} / W_y) = 0,1640 / 4 = 0,0410$$

$k_M = 0,5$; (coeficiente de correção para seções transversais retangulares)

$$(k_M * (\sigma_{M_{x,d}} / f_{wd})) + (\sigma_{M_{y,d}} / f_{wd}) \leq 1$$

$$(0,5 * (0,3641 / 2,4)) + (0,0410 / 2,4) \leq 1 \rightarrow 0,0929 \text{ kN/m} \leq 1$$

c) Verificação da flecha (estado limite de utilização) - Pela NBR 7190/97

$$f_{adm} = (l/200) = 50/200 = 0,25 \text{ cm}$$

$$f_x = (5g_x * l^4) / (384 * E * I_x) = (5 * 0,2319 * 50^4) / (384 * 12730,5 * 1,125) = 1,32$$

$$f_y = (5g_y * l^4) / (384 * E * I_y) = (5 * 0,0696 * 50^4) / (384 * 12730,5 * 8) = 0,0556$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{1,32^2 + 0,0556^2} = 0,0734 \leq f_{adm}$$

1.3.4. Verificação dos caibros

a) Dados

1) Distância entre caibros ... $t = 0,5 \text{ m}$ 2) Distância entre terças $e = 1,3920 \text{ m}$ 3) Cargas $g_c = 0,89 \text{ kN/m}^2$ (peso próprio)

$$p = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

4) $\sin \alpha = 0,2873$; $\cos \alpha = 0,9578$

5) Seção escolhida: retangular (b x h), 5 x 6 cm

$$A = b * h; W = (b * h^2)/6; I = (b * h^3)/12; i = \sqrt{I/W}; \lambda = e/i$$

$$A = 30 \text{ cm}^2; W_x = 30 \text{ cm}^3; I_x = (5 * 6^3)/12 = 90 \text{ cm}^4; W_y = 25 \text{ cm}^3; I_y = (6 * 5^3)/12 = 62,5 \text{ cm}^4; i = \sqrt{(90/30)} = 1,73 \text{ cm};$$

$$\lambda = e/i = 139,2/1,73 = 80,46 > 80 \rightarrow \text{Peça Esbelta}$$

b) Carga por metro linear de caibro

1) $q = (p + g_c) * t = (0,3 + 0,89) * 0,5 = 0,5950 \text{ kN/m linear de caibro}$

(foi adotado o mesmo coeficiente de ponderação de ações 1,4 para carga permanente e a acidental, por isso são tratadas juntas)

2) Componentes:

$$q_N = q \cos \alpha = 0,5950 * 0,9578 = 0,5699 \text{ kN/m linear}$$

$$q_T = q \sin \alpha = 0,5950 * 0,2873 = 0,1709 \text{ kN/m linear}$$

c) Esforços solicitantes

1) Momento fletor

$$M = (q_N * (e^2/8)) * 100 = (0,5699 * (1,3920^2/8)) * 100 = 13,80 \text{ kN/m}$$

$$M_{1d} = 13,8 * 1,4 = 19,32 \text{ kN/m}$$

2) Força cortante

$$Q = q_N * (e/2) = 0,5699 * (1,3920/2) = 0,3966 \text{ kN}$$

3) Esforço normal

$$N_{\max} = q_T * e = q_T * (e/2) = 0,1709 * (1,3920/2) = 0,1189 \text{ kN}$$

$$N_d = 0,1189 * 1,4 = 0,1665 \text{ kN}$$

d) Verificação

1) Flexão compressão

$$e_a = L_0/300 = 139,2/300 = 0,464 \text{ cm}$$

$$e_i = M_{1d}/N_d = 19,32/0,1665 = 116,04 \text{ cm}$$

$$e_l = e_i + e_a = 116,04 + 0,464 = 116,504 \text{ cm}$$

$$M_d = N_d * e_{1.ef} (F_E / (F_E - N_d)) = 0,1665 * 116,5108 (58,36 / (58,36 - 0,1665)) =$$

$$M_d = 0,1665 * 116,5108 (1,0029) = 0,1665 * 116,8487 = 19,4553$$

$$e_{1.ef} = e_i + e_a + e_c = 116,504 + 0,0068 = 116,5108$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \{ \exp[\Phi [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}] / F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]] - 1 \}$$

$$e_c = (0,464) \{ \exp[0,8 [0,89 + (0,5)*0,3] / 58,36 - [0,89 + (0,5)*0,3]] - 1 \}$$

$$e_c = 0,464 * 0,0146 = 0,0068$$

$$F_E = (\pi^2 * E_{c0,ef} * I) / L_0^2 = (\pi^2 * 1273,05 * 90) / 139,2^2 = 58,36 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Mx,d} = (M_d / I) * y = (19,4553 / 90) * 6/2 = 0,6485$$

$$\sigma_{My,d} = (M_d / I) * y = (19,4553 / 62,5) * 5/2 = 0,7782$$

$$\sigma_{Nd} = N_d / 30 = 0,1665 / 30 = 0,0055$$

$$k_M = 0,5$$

$$(\sigma_{Nd} / f_{c0,d})^2 + (\sigma_{Mxd} / f_{c0,d}) + k_M (\sigma_{Myd} / f_{c0,d}) \leq 1$$

$$(0,0055 / 2,4)^2 + (1,2970 / 2,4) + 0,5 (1,5564 / 2,4) = 0,4323 \leq 1 \text{ OK}$$

$$(\sigma_{Nd} / f_{c0,d})^2 + k_M (\sigma_{Mxd} / f_{c0,d}) + (\sigma_{Myd} / f_{c0,d}) \leq 1$$

$$(0,0055 / 2,4)^2 + 0,5 (1,2970 / 2,4) + (1,5564 / 2,4) = 0,4594 \leq 1 \text{ OK}$$

2) Cisalhamento

$$\tau_d = 3/2 * ((1,4*Q)/A) < f_{v0,d} = 3/2 * ((1,4*0,3966)/30) < 0,2490 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_d = 0,0278 \text{ kN/cm}^2 < 0,2490 \text{ kN/cm}^2$$

3) Flecha

$$f_{adm} = 139,2/200 = 0,696 \text{ cm}$$

$$g_x = g \cos \alpha = 0,89 * 0,9578 = 0,8524$$

$$g_y = g \sin \alpha = 0,89 * 0,2873 = 0,2557$$

$$f_x = (5g_x * l^4) / (384 * E * I_x) = (5 * 0,8524 * 50^4) / (384 * 1273,05 * 62,5) = 0,8718$$

$$f_y = (5g_y * l^4) / (384 * E * I_y) = (5 * 0,2557 * 50^4) / (384 * 1273,05 * 90) = 0,1816$$

$$f = \sqrt{f_x^2 * f_y^2} = \sqrt{0,8718^2 * 0,1816^2} = 0,1583 \leq f_{adm}$$

1.3.5. Verificação das terças

a) Dados

- 1) Seção escolhida: retangular (b x h), 6 cm x 15 cm

$$A = b * h; W = (b * h^2)/6; I = (b * h^3)/12; i = \sqrt{(I/W)}; \lambda = e/i$$

$$A = 90 \text{ cm}^2, W_x = (6 * 15^2)/6 = 225 \text{ cm}^3; I_x = (6 * 15^3)/12 = 1687,5 \text{ cm}^4;$$

$$W_y = (15 * 6^2)/6 = 90 \text{ cm}^3; I_y = (15 * 6^3)/12 = 270 \text{ cm}^4; i = \sqrt{(1687,5/225)} = 2,74;$$

$$\lambda = e/i = 139,2 / 2,74 = 50,8 < 80 \rightarrow \text{Peça semi esbelta}$$

2) Distância entre as terças: $e = 1,392 \text{ m}; m = 1,33 \text{ m}$

3) Distância entre tesouras: $a = 3,0 \text{ m}$

4) Carga permanente (cobertura + ripas + caibros) - $g_c = 0,89 \text{ kN/m}^2$

5) Sobrecarga accidental - $p = 0,30 \text{ kN/m}^2$

6) $\sin \alpha = 0,2873; \cos \alpha = 0,9578$

b) Carga por metro linear de terça

1) Peso próprio da terça ... $g_0 = 0,06 \times 0,15 \times 11,21 \dots\dots 0,1009 \text{ kN/m linear}$

2) Cobertura $g_c m = 0,89 \times 1,33 \dots\dots\dots 1,1837 \text{ kN/m linear}$

$$g = g_0 + g_c m \dots\dots\dots 1,2846 \text{ kN/m linear}$$

3) Sobrecarga: $w = p * m = 0,30 * 1,33 = 0,399 \text{ kN/m linear}$

4) Resultantes das cargas: $q = g + w = 1,6836 \text{ kN/m linear}$

5) Componentes:

$$g_x = g \cos \alpha = 1,2846 * 0,9578 = 1,2304 \text{ kN/m linear}$$

$$g_y = g \sin \alpha = 1,2846 * 0,2873 = 0,3691 \text{ kN/m linear}$$

$$q_N = q \cos \alpha = 1,6836 * 0,9578 = 1,6126 \text{ kN/m linear}$$

$$q_T = q \sin \alpha = 1,6836 * 0,2873 = 0,4837 \text{ kN/m linear}$$

c) Esforços solicitantes

1) Momento fletor

$$M_{gx} = (g_x * (a^2/8)) = (1,2304 * (3^2/8)) = 1,3842 \text{ kN/m}$$

$$M_{qx} = (q_N * (a/4)) = (1,6126 * (3/4)) = 1,2095 \text{ kN/m}$$

$$M_{gy} = (g_y * (a^2/8)) = (0,3691 * (3^2/8)) = 0,4152 \text{ kN/m}$$

$$M_{qy} = (q_T * (a/4)) = (0,4837 * (3/4)) = 0,3628 \text{ kN/m}$$

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_q$$

$$M_{xd} = 1,4 * 1,3842 + 1,4 * 1,2095 = 3,6312 \text{ kN/m}$$

$$M_{yd} = 1,4 * 0,4152 + 1,4 * 0,3628 = 1,0892 \text{ kN/m}$$

2) Forças cortantes

$$V_{gx} = (g_x * (a/2)) = (1,2304 * (3/2)) = 1,8456$$

$$V_{qx} = (q_N / 2) = (1,6126/2) = 0,8063$$

$$V_{gy} = (g_y * (a/2)) = (0,3691 * (3/2)) = 0,5537$$

$$V_{qy} = (q_T / 2) = (0,4837/2) = 0,2419$$

$$V_d = 1,4 * V_g + 1,4 * V_q$$

$$V_{xd} = 1,4 * 1,8456 + 1,4 * 0,8063 = 3,7127$$

$$V_{yd} = 1,4 * 0,5537 + 1,4 * 0,2419 = 1,1138$$

d) Verificação

1) Flexão oblíqua

$$\sigma_{Md} = (M_d / I) * y$$

$$\sigma_{Mx,d} = (363,12 / 1687,5) * 15/2 = 1,61 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{My,d} = (108,92 / 270) * 6/2 = 1,21 \text{ kN/cm}^2$$

$k_M = 0,5$ (coeficiente de correção para seções transversais retangulares)

$$(\sigma_{Mx,d} / f_{wd}) + (k_M * (\sigma_{My,d} / f_{wd})) \leq 1$$

$$(1,61/2,4) + (0,5*(1,2/2,4)) = 0,92 \leq 1 \text{ OK}$$

$$(k_M * (\sigma_{Mx,d} / f_{wd})) + (\sigma_{My,d} / f_{wd}) \leq 1$$

$$(0,5 * (1,61 / 2,4)) + (1,2 / 2,4) = 0,84 \leq 1 \text{ OK}$$

2) Cisalhamento

$$\tau_d \leq f_{v0,d} \text{ OK}$$

$$\tau_{xd} = 1,5 * (V_{xd} / (b * h)) = 1,5 * (3,7127 / (90)) = 0,0619 \text{ kN/cm}^2 < 0,2490 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{yd} = 1,5 * (V_{yd} / (b * h)) = 1,5 * (1,1138 / (90)) = 0,0186 \text{ kN/cm}^2 < 0,2490 \text{ kN/cm}^2$$

3) Flexa

$$f_{adm} = 300/200 = 1,5 \text{ cm}$$

$$U_X = ((5 * g_x * L^4) / (384 * E_{c0,ef} * I_x)) + \psi_2 * ((q_N * L^3) / (48 * E_{c0,ef} * I_x))$$

$$U_X = ((5 * 0,0123 * 300^4) / (384 * 1273,05 * 1687,5)) + 0,2 * ((0,0161 * 300^3) / (48 * 1273,05 * 1687,5)) = 0,6039 + 0,0008 = 0,6047 \text{ cm} < f_{adm} \text{ OK}$$

$$U_y = ((5 * g_y * L^4) / (384 * E_{c0,ef} * I_y)) + \psi_2 * ((q_T * L^3) / (48 * E_{c0,ef} * I_y)) =$$

$$U_y = ((5 * 0,0037 * 300^4) / (384 * 1273,05 * 270)) + 0,2 * ((0,0048 * 300^3) / (48 * 1273,05 * 270)) = 1,1353 + 0,0016 = 1,1369 \text{ cm} < f_{adm} \text{ OK}$$

1.3.6. Cálculo da tesoura

a) Resumo das cargas unitárias

- 1) Peso próprio da tesoura $g_T = 0,0892 \sim 0,1 \text{ kN/m}^2$
- 2) Cobertura (telhas + ripas + caibros) ... $g_c = 0,89 \text{ kN/m}^2$
- 3) Terças $g_0 = 0,1009 \sim 0,1 \text{ kN/m linear}$
- 4) Carga acidental - sobrecarga $p = 0,3 \text{ kN/m}^2$

b) Cálculo das concentrações

- 1) Concentrações devidas à carga permanente no banzo superior: (cobertura + terças + tesoura)

$$g_T = 0,0892 \sim 0,1 \text{ kN/m}^2$$

$$g_c = 0,89 \text{ kN/m}^2$$

$$g_0 = 0,1009 \sim 0,1 \text{ kN/m}$$

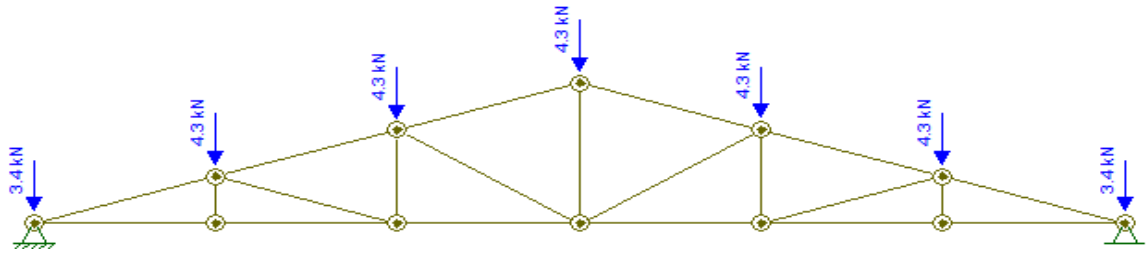
$$G_1 = G_2 = G_3 = G_4 = G'_3 = G'_2 = G_1 = G_i \dots G_i \dots \text{concentração nos nós intermediários}$$

$$G_0 = G'_0 = G_e \dots G_e \dots \text{concentração nos nós extremos}$$

$$G_i = [(g_T + g_c)m + g_0] * a = [(0,1 + 0,89) * 1,33 + 0,1] * 3 = 4,2501 \sim 4,3 \text{ kN}$$

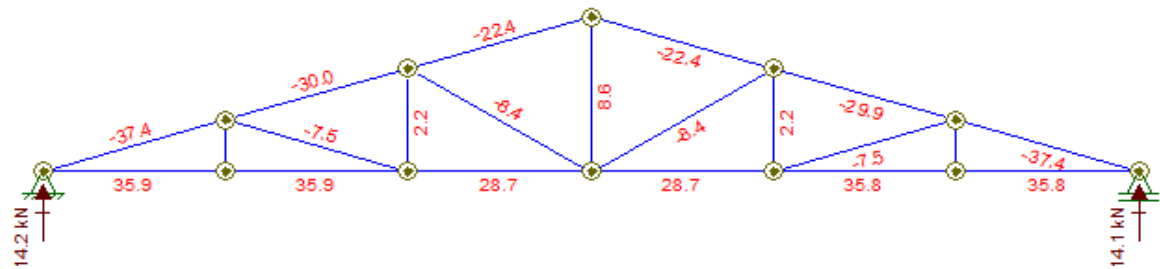
$$G_e = [(g_T + g_c) * m / 2 + g_0] * a + \text{beiral} = [(0,1 + 0,89) * 1,33 / 2 + 0,1] * 3 + (0,89 * 0,4 * 3) = 3,3431 \sim 3,4 \text{ kN}$$

Figura 10 - Concentração de cargas permanentes nos nós extremos e intermediários.



Fonte: A autora (2020).

Figura 11 - Esforços atuantes devido cargas permanentes nas barras da treliça.



Fonte: A autora (2020).

2) Concentrações devidas à carga acidental

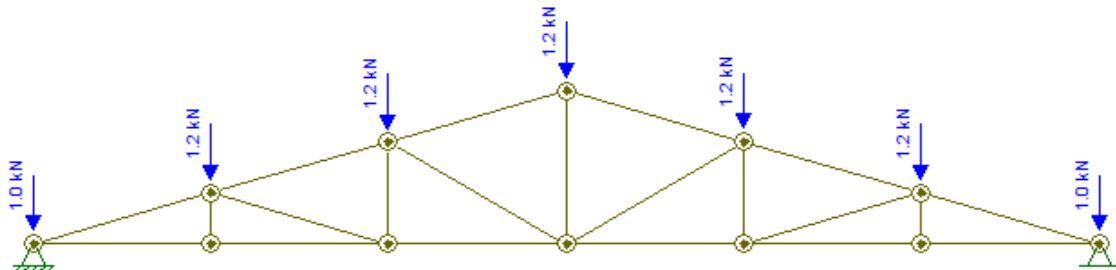
$$P_i = P_1 = P_2 = P_3 = P'_2 = P'_1 \dots \text{pela simetria}$$

$$P_e = P_0 = P'_0$$

$$P_i = p \cdot m \cdot a = 0,3 \cdot 1,33 \cdot 3 = 1,197 \sim 1,2 \text{ kN}$$

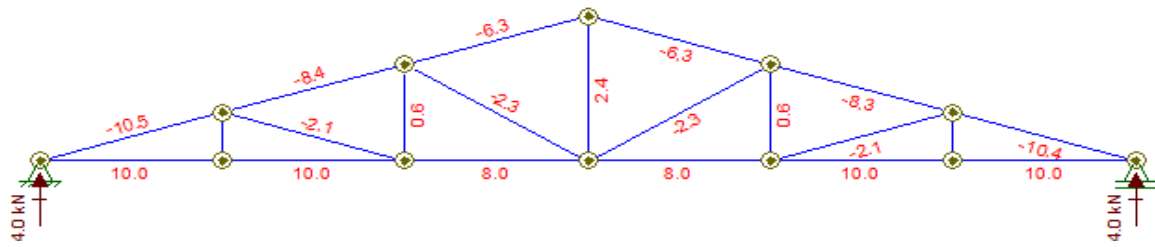
$$P_e = (p \cdot m \cdot a)2 + \text{beiral} = (0,3 \cdot 1,33 \cdot 3)2 + (0,3 \cdot 0,4 \cdot 3) = 0,9585 \sim 1,0 \text{ kN}$$

Figura 12 - Concentração de cargas acidentais nos nós extremos e intermediários.



Fonte: A autora (2020).

Figura 13 - Esforços atuantes devido cargas acidentais nas barras da treliça.



Fonte: A autora (2020).

c) Tabela geral dos esforços

Tabela 1 - Esforços devido cargas permanentes e acidentais, obtidas pelo *software Ftool*.

Barras		COMPRIMENTO (m)	Esforços (kN)		
			Carga permanente	Carga acidental	Carga permanente + acidental
BANZO SUPERIOR	1-2	1,392	-37,4	-10,5	-47,9
	2-4	1,392	-30	-8,4	-38,4
	4-6	1,392	-22,4	-6,3	-28,7
	6-8	1,392	-22,4	-6,3	-28,7
	8-10	1,392	-29,9	-8,4	-38,3
	10-12	1,392	-37,4	-10,4	-47,8
BANZO INFERIOR	1-3	1,33	35,9	10	45,9
	3-5	1,33	35,9	10	45,9
	5-7	1,33	28,7	8	36,7
	7-9	1,33	28,7	8	36,7
	9-11	1,33	35,8	10	45,8
	11-13	1,33	35,8	10	45,8
MONTANTES	2-3	0,40	0	0	0
	4-5	0,8	2,2	0,6	2,8
	6-7	1,20	8,6	2,4	11
	8-9	0,8	2,2	0,6	2,8
	10-11	0,40	0	0	0
DIAGONAIS	2-5	1,3889	-7,5	-2,1	-9,6
	4-7	1,5521	-8,4	-2,3	-10,7
	6-9	1,5521	-8,4	-2,3	-10,7
	9-10	1,3889	-7,5	-2,1	-9,6

Fonte: A autora (2020).

d) Verificação das dimensões (tensões da NBR 7190/97)

1) Banzo superior

$$N_{\text{máx}} = - 47,9 \text{ kN (compressão)}$$

Seção escolhida: retangular (b x h), 6 x 15 cm

$$A = b * h; W = (b * h^2)/6; I = (b * h^3)/12; i = \sqrt{I/W}; \lambda = e/i$$

$$A = 90 \text{ cm}^2, W_y = (15*6^2)/6 = 90 \text{ cm}^3; I_y = (15*6^3)/12 = 270 \text{ cm}^4;$$

$$i = \sqrt{(270/90)} = 1,73; \lambda = e/i = 139,2/1,73 = 80,46 > 80 \rightarrow \text{Peça esbelta}$$

$$\text{Distância entre as terças: } L_0 = 1,392 \text{ m}$$

A excentricidade acidental mínima é de

$$e_a = L_0 / 300 = 139,2/300 = 0,4640 \text{ cm}$$

De acordo com Calil e Molina (2010), os momentos na extremidade da barra sendo $M_{1d,x}$ e $M_{1d,y} = 0$, tem-se e_{ix} e $e_{iy} = 0$. Serão admitidos as excentricidades e_a e e_i para a direção perpendicular ao eixo de menor inércia (eixo x), com isso tem-se: $e_{ix} = 0,4640$; $e_{iy} = 0$

$$e_1 = e_i + e_a = 0,9280$$

Devido a esbeltez, Moliterno (2010) diz ser necessário aumentar o raio de giração mínimo justapondo uma tábua pregada. Para o cálculo foi adicionado uma tábua de 9,5 x 2,5 cm.

$$A = 113,75 \text{ cm}^2, W_y = 127,6 \text{ cm}^3; I_y = 448,62 \text{ cm}^4;$$

$$i = 1,88; \lambda = e/i = 74,04 < 80 \rightarrow \text{Semi esbelta}$$

$$M_d = N_d * e_d = 67,06 * 1,2060 = 80,8744$$

$$e_d = 0,9280 * (290,9/(290,9 - 67,06)) = 1,2060$$

$$F_E = (\pi^2 * 1273,05 * 448,62) / 139,2^2 = 290,9 \text{ kN}$$

$$\sigma_{Nd} = 67,06/113,75 = 0,5895; \sigma_{Md} = (80,8744/448,62)*15/2 = 1,3521$$

$$(\sigma_{Nd} / f_{c0,d}) + (\sigma_{Md} / f_{c0,d}) \leq 1 \rightarrow (0,5895/2,4) + (1,3521/2,4) = 0,8090 \leq 1 \text{ OK}$$

2) Banzo inferior

$$N_{m\acute{a}x} = 45,9 \text{ (tração)}$$

Seção escolhida: retangular (b x h), 6 x 10 cm

$$A = 60 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{Td} = 45,9/60 = 0,7650 \text{ kN/cm}^2 < 2,4 \text{ kN/cm}^2$$

3) Diagonal mais solicitada

$$N_{\text{máx}} = -10,7 \text{ (compressão)}$$

Seção escolhida: retangular (b x h), 6 x 10 cm

$$A = b * h; W = (b * h^2)/6; I = (b * h^3)/12; i = \sqrt{I/W}; \lambda = e/i$$

$$A = 60 \text{ cm}^2, W_y = (10 * 6^2)/6 = 60 \text{ cm}^3; I_y = (10 * 6^3)/12 = 180 \text{ cm}^4;$$

$$i = \sqrt{(180/60)} = 1,73; \lambda = e/i = 155,21/1,73 = 89,72 > 80 \rightarrow \text{Peça esbelta}$$

$$\text{Distância entre as terças: } L_0 = 1,5521 \text{ m}$$

A excentricidade acidental mínima é de

$$e_a = L_0/300 = 155,21/300 = 0,5174 \text{ cm}$$

De acordo com Calil e Molina (2010), sendo os momentos na extremidade da barra $M_{Id,x}$ e $M_{Id,y} = 0$, tem-se e_{ix} e $e_{iy} = 0$. Serão admitidos as excentricidades e_a e e_i para a direção perpendicular ao eixo de menor inércia (eixo x), com isso tem-se: $e_{ix} = 0,5174$; $e_{iy} = 0$

$$e_1 = e_i + e_a = 1,0348$$

$$M_d = 14,98 * 1,0395 (93,88 / 93,88 - 14,98) = 18,5288$$

$$e_{1,ef} = 1,0348 + 0,0047 = 1,0395$$

$$F_E = (\pi^2 * 1273,05 * 180) / 155,21^2 = 93,88 \text{ kN}$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \{ \exp[\Phi / N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) N_{qk}] / F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) N_{qk}]] - 1 \}$$

$$e_c = (0,5174) \{ \exp[0,8 [0,89 + (0,5) * 0,3] / 93,88 - [0,89 + (0,5) * 0,3]] - 1 \}$$

$$e_c = 0,5174 * 0,0090 = 0,0047$$

$$\sigma_{Nd} = 14,98/60 = 0,2497;$$

$$\sigma_{Mx,d} = (18,5288/500) * 10/2 = 0,1853$$

$$\sigma_{My,d} = (18,5288/180) * 6/2 = 0,3088$$

$k_M = 0,5$ (coeficiente de correção para seções transversais retangulares)

$$(\sigma_{Nd} / f_{c0,d})^2 + (\sigma_{Mx,d} / f_{c0,d}) + k_M (\sigma_{My,d} / f_{c0,d}) \leq 1$$

$$(0,2497 / 2,4)^2 + (0,1853 / 2,4) + 0,5 (0,3088 / 2,4) = 0,1524 \leq 1 \text{ OK}$$

$$(\sigma_{Nd} / f_{c0,d})^2 + k_M (\sigma_{Mxd} / f_{c0,d}) + (\sigma_{Myd} / f_{c0,d}) \leq 1$$

$$(0,2497 / 2,4)^2 + 0,5 (0,1853 / 2,4) + (0,3088 / 2,4) = 0,1781 \leq 1 \text{ OK}$$

4) Montantes secundários

$$N_{m\acute{a}x} = 2,8 \text{ (tração)}$$

Seção escolhida: retangular (b x h), 6 x 10 cm

$$A = 60 \text{ cm}^2,$$

$$\sigma_{Nd} = 2,8 / 60 = 0,0467 \text{ kN/cm}^2 < 2,4 \text{ kN/cm}^2 \text{ OK}$$

5) Montante central

$$N_{m\acute{a}x} = 11 \text{ (tração)}$$

Seção escolhida: retangular (b x h), 6 x 10 cm

$$A = 60 \text{ cm}^2,$$

$$\sigma_{Nd} = 11 / 60 = 0,1833 \text{ kN/cm}^2 < 2,4 \text{ kN/cm}^2 \text{ OK}$$

1.3.7. Cálculo dos detalhes

Resistência de cálculo de um pino (Calil e Molina, 2010)

Embutimento da madeira (NBR 7190/97, tab. 12 e 14)

Embutimento paralelo às fibras da madeira

$$f_{e0,d} = f_{c0,d}; \quad f_{e0,d} = 2,4 \text{ k N/cm}^2$$

Embutimento normal às fibras da madeira

$$f_{e90,d} = 0,25 * f_{c0,d} * \alpha_e; \quad \alpha_e = 1,95 \text{ (parafuso com diâmetro de 0,95)}$$

$$f_{e90,d} = 0,25 * 2,4 * 1,95 = 1,17 \text{ kN/cm}^2$$

Embutimento inclinado às fibras da madeira

$$f_{\alpha} = (f_0 * f_{90}) / (f_0 \sin^2 \alpha + f_{90} \cos^2 \alpha)$$

1.3.7.1. Dimensionamento

a) Ligação - banzo superior e inferior (nó 1)

$$N_d = -47,9 \text{ kN}$$

$$f_{e0,d} = 2,21 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 16,7^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{f_{y,d} / f_{ed}} = 1,25 * \sqrt{(21,8/2,21)} = 3,93$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 10,6 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 47,9 / 10,6 = 4,52 = 5 \text{ parafusos (10 mm)}$$

A ligação terá 6 parafusos (10 mm) para haver simetria na disposição geométrica dos parafusos.

b) Ligação - nó do banzo inferior (nó 5)

1) Referente ao montante (montante unido ao banzo inferior)

$$N_d = 2,8 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 1,17 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 90^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 2,5/2 = 1,25 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,25$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{f_{y,d} / f_{ed}} = 1,25 * \sqrt{(21,8/1,17)} = 5,4$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 2,34 \text{ kN, para duas seções de corte.}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 2,8/1,17 = 2,39 = 3 \text{ parafuso (10 mm)}$$

2) Referente a diagonal (diagonal unido ao banzo inferior)

$$N_d = -9,6 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 2,21 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 16,82^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{f_{y,d} / f_{ed}} = 1,25 * \sqrt{(21,8/ 2,21)} = 3,93$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 10,6 \text{ kN, para duas seções de corte.}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 9,6/5,3 = 1,81 = 2 \text{ parafuso (10 mm)}$$

Esta ligação terá 4 parafusos (10 mm), para melhor distribuição geométrica.

c) Ligação - nó do banzo superior (nó 4)

1) Referente ao montante (montante unido ao banzo superior)

$$N_d = 2,8 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 1,22 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 73,30^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 2,5/2 = 1,25 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,25$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 1,22)} = 5,28$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 2,44 \text{ kN, para duas seções de corte.}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 2,8/1,22 = 2,3 = 3 \text{ parafuso (10 mm)}$$

2) Referente a diagonal (diagonal unida ao banzo superior)

$$N_d = -10,7 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 1,52 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 47,76^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 1,52)} = 4,73$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 7,3 \text{ kN, para duas seções de corte.}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 10,7/3,65 = 2,93 = 3 \text{ parafusos (10 mm)}$$

Essa ligação terá 4 parafusos (10 mm).

d) Ligação - nó central do banzo superior (nó 6)

1) Referente ao banzo superior (elementos do banzo superior unidos entre si através de um par de cobrejuntas)

$$N_d = -28,7 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 1,82 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 146,6^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 1,82)} = 4,33$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 8,7 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 28,7/8,7 = 3,3 = 3 \text{ parafusos (10 mm)}$$

2) Referente ao montante (montante unido ao banzo superior)

$$N_d = 11 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 1,22 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 73,3^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 1,22)} = 5,28$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 5,9 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 11/5,9 = 1,86 = 2 \text{ parafusos (10 mm)}$$

Esta ligação terá 3 parafusos (10mm) para cada barra do banzo superior e 3 parafusos (10mm) para o montante, para melhor distribuição dos parafusos, utilizando 3 par de barra chata em meia lua.

e) Ligação - nó central do banzo inferior (nó 7)

1) Referente às diagonais (diagonais unidas ao banzo inferior)

$$N_d = -10,7 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 1,88 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 31,06^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 1,88)} = 4,26$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 9,02 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 10,7 / 9,02 = 1,19 = 2 \text{ parafusos (10 mm)}$$

2) Referente ao montante (montante unido ao banzo inferior)

$$N_d = 11 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 1,17 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 90^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 1,17)} = 5,4$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 5,6 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 11 / 5,6 = 1,96 = 2 \text{ parafusos (10 mm)}$$

Em resumo, essa ligação terá 2 parafusos (10mm) para cada barra diagonal e 2 parafusos (10mm) para a barra do montante.

1.3.7.2. Emendas

Referente ao banzo inferior (montante unido ao banzo inferior)

$$N_d = 36,7 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 2,4 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 0^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 2,4)} = 3,01$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 11,52 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 36,7 / 11,52 = 3,19 = 4 \text{ parafusos (10 mm)}$$

Em resumo, essa ligação terá 4 parafusos (10 mm) para cada barra do banzo inferior.

1.4. Resultados finais

1.4.1. Quantitativo das peças de madeira

(b x h x c)

a) Banzo superior

$$0,06 \times 0,15 \times 8,36 \rightarrow (x5)$$

$$0,095 \times 0,025 \times 8,36 \rightarrow (x5)$$

b) Banzo inferior

$$0,06 \times 0,10 \times 8 \rightarrow (x5)$$

c) Diagonais

$$0,06 \times 0,10 \times 5,9 \rightarrow (x5)$$

d) Montante central

$$0,06 \times 0,10 \times 1,2 \rightarrow (x5)$$

e) Montantes secundários

$$0,06 \times 0,10 \times 2,4 \rightarrow (x5)$$

f) Terças

$$0,06 \times 0,15 \times 12,8 \rightarrow (x7)$$

g) Caibros

$$0,05 \times 0,06 \times 4,6 \rightarrow (x54)$$

h) ripas

$$0,04 \times 0,015 \times 12,8 \rightarrow (x26)$$

TOTAL = 2,6812 m³ de madeira serrada.

1.4.2. Pinos metálicos

- Ligação - banzo superior e inferior (nó 1) 2x - 6 parafusos (10mm).
- Ligação - nó do banzo inferior (nó 5) 4x - 4 parafusos (10 mm).
- Ligação - nó do banzo superior (nó 4) 4x - 4 parafusos (10 mm)
- Ligação - nó central do banzo superior (nó 6) 1x - 9 parafusos (10mm)
- Ligação - nó central do banzo inferior (nó 7) 1x - 6 parafusos (10mm)
- Emenda banzo inferior (nó 7) 1x - 8 parafusos (10 mm)

TOTAL = (12+16+16+9+6+8)*5 = 335 parafusos (10 mm).

1.4.3. Consumo de madeira

Com os valores obtidos neste trabalho, é possível calcular a relação entre o consumo de madeira (C) e a área coberta pela estrutura (A), expressa pela equação abaixo:

$$C/A = \text{m}^3/\text{m}^2 \rightarrow 2,6812 / 112,64 = 0,0238 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Sendo: Consumo de madeira (C) - m³ e Área coberta (A) - m²

APÊNDICE C

MEMÓRIA DE CÁLCULOS - MISTA

(NBR 7190, 1997; Moliterno, 2010; Calil e Molina, 2010)

1. Dados

1.2. Esquema estrutural e especificações

a) Esquema estrutural (mesmo adotado para os cálculos com maçaranduba)

b) Especificações

1) Telhas: Peso = 60 kg/m² = 0,5884 kN/m²

Quantidade = 24 unidades/m²

2) Madeira: Mista → Dicotiledônea, classe C30 (NBR 7190/97)

2.1. Peso específico aparente = 863,09 kg/m³ = 8,46 kN/m³

2.2. Resistência

$f_{c0k} = 30 \text{ MPa}$; $k_{mod} = 0,7 * 1,0 * 0,8 = 0,56$; $\gamma_{wc} = 1,4$; $f_{v0k} = 5 \text{ MPa}$

$f_{c0d} = k_{mod} * f_{c0k} / \gamma_{wc} = 30 * 0,56 / 1,4 = 12 \text{ MPa}$ (compressão paralela às fibras)

$f_{t0d} = k_{mod} * (f_{c0k} / 0,77) / \gamma_{wt} = 0,56 * (30 / 0,77) / 1,8 = 12 \text{ MPa}$ (tração paralela às fibras)

$f_{v0d} = k_{mod} * f_{v0k} / \gamma_{wv} = 0,56 * 5 / 1,8 = 1,56 \text{ MPa}$ (cisalhamento paralela às fibras)

$E_{c0,ef} = k_{mod} * E_{c0,m} = 0,56 * 14500 = 8120 \text{ MPa}$ (módulo de elasticidade)

c) Determinação da solicitação:

Peso próprio/(peso próprio+total perm.) = $0,0892 / (0,0892 + 0,8332) = 0,0967 \leq 0,75$

- Coeficiente de Ponderação das Ações

→ Estados Limites Últimos

a) Ações permanentes

efeito favorável: $\gamma_g = 0,9$

efeito desfavorável: $\gamma_g = 1,4$

b) Ações variáveis

efeito favorável e desfavorável: $\gamma_q = 1,4$

→ Estados Limites de Utilização

a) Item 5.6.3: $\gamma_f = 1,0$

- Fator de combinação e de utilização

→ Estados Limites Últimos / Estados Limites de Utilização

Considerando cargas acidentais dos edifícios (Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas)

$$\psi_0 = 0,4$$

$$\psi_1 = 0,3; \psi_2 = 0,2$$

- Coeficientes de ponderação das resistências

$$\gamma_{wc} = 1,4 \text{ (compressão paralela às fibras);}$$

$$\gamma_{wt} = 1,8 \text{ (tração paralela às fibras);}$$

$$\gamma_{wv} = 1,8 \text{ (cisalhamento paralelo às fibras);}$$

$$F_d = \sum \gamma_{gi} F_{gi,k} + \gamma_q (F_{q1,k} + \sum \psi_{0j} F_{qj,k})$$

1º carregamento (ação permanente)

2º carregamento (ação permanente + ação variável acidental)

$F_{G,k}$ (ação permanente); $F_{Q,k}$ (ação variável acidental)

Favorável:

$$\rightarrow F_d = 0,9 * (0,87) = 0,7830$$

Desfavorável:

$$\rightarrow F_d = (1,4 * (0,87)) + 1,4 * (0,4 * (0,3)) = 1,3860$$

$$\rightarrow F_d = (1,4 * (0,87)) + (1,4 * (0,3)) = 1,6380$$

d) Cargas

1) Carga permanente - fórmula de Howe

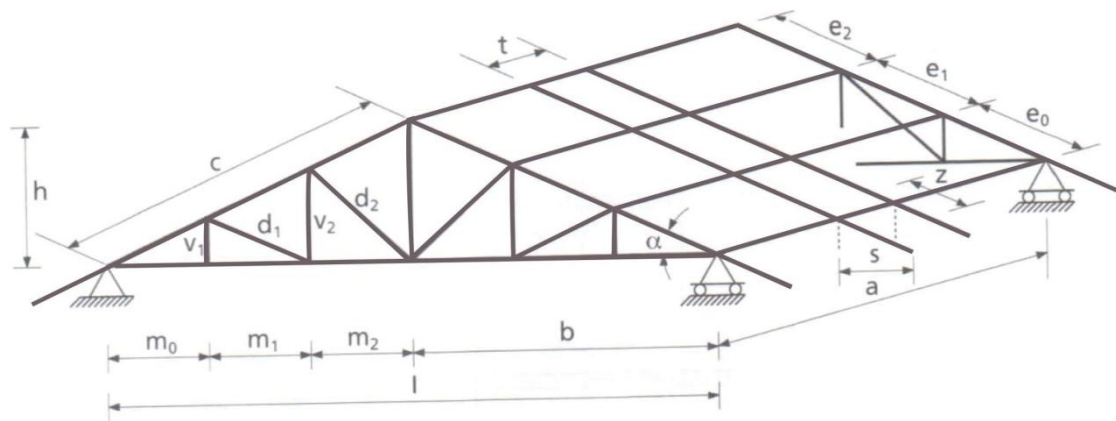
2) Carga acidental de vento - NBR 6123/88 e NBR 6120/80

Localização: Região Metropolitana do Recife - PE

1.3. Projeto da armação

1.3.1. Cálculos preliminares

Figura 1 - Esquema disposição das peças, apoiadas.



Fonte: Moliterno (2010).

a) Elementos geométricos

$$l = 8 \text{ m}$$

$$m = m_0 = m_1 = m_2 = 1,33 \text{ m}$$

$$h = 0,3 \cdot b = 0,3 \cdot 4 = 1,2 \text{ m}$$

$$c = \sqrt{b^2 + h^2} = \sqrt{4^2 + 1,2^2} = 4,1761 \text{ m}$$

$$e = e_0 = e_1 = e_2 = c/3 = 4,1761/3 = 1,3920 \text{ m}$$

$$\sin \alpha = h/c = 1,2/4,1761 = 0,2873 \rightarrow \alpha = 16,7^\circ$$

$$\cos \alpha = b/c = 4/4,1761 = 0,9578 \rightarrow \alpha = 16,7^\circ$$

$$a = 3,0 \text{ m (esp. treliça)}$$

$$t = 0,50 \text{ m (esp. caibros)}$$

$$s = 0,40 \text{ m (beiral)}$$

$$v_1 = 1/3 \cdot h = 1/3 \cdot 1,2 = 0,4 \text{ m}$$

$$v_2 = 2/3 \cdot h = 2/3 \cdot 1,2 = 0,8 \text{ m}$$

$$d_1 = \sqrt{m^2 + v_1^2} = \sqrt{1,33^2 + 0,4^2} = 1,3889 \text{ m}$$

$$d_2 = \sqrt{m^2 + v_2^2} = \sqrt{1,33^2 + 0,8^2} = 1,5521 \text{ m}$$

1.3.2. Cálculo das cargas unitárias

a) Carga permanente

1) Peso próprio da tesoura e contraventamento

$$\text{Fórmula de Howe: } g_T = 0,0245 (1 + 0,33 \cdot l) \rightarrow \text{kN/m}^2$$

$$g_T = 0,0245 (1 + 0,33 \cdot 8) = 0,0892 \sim 0,1 \text{ kN/m}^2$$

2) Cobertura, composição

Telhas 0,5884 kN/m²Ripas 0,015 x 0,04 x 8,46 x 3 0,0152 kN/m²Caibros 0,05 x 0,06 x 8,46 x 2 0,0508 kN/m²Absorção de água pluvial (30% do peso das telhas) ... 0,1765 kN/m²

$$g = 0,8309 \text{ kN/m}^2 \text{ de superfície inclinada}$$

Carga equivalente em projeção horizontal

$$g_c = g / \cos \alpha = 0,8309 / 0,9578 = \sim 0,87 \text{ kN/m}^2$$

b) Cálculo da ação do vento e considerações

Será o mesmo aplicado no cálculo com maçaranduba, por se tratar das mesmas dimensões da residência e mesmo tipo de telha.

$$p = P / \text{área de influência (kN/m}^2)$$

$$p = 1 / (1,33 \times 3) = 0,25 \text{ kN/m}^2 \sim 0,30 \text{ kN/m}^2$$

1.3.3. Verificação das ripas

a) Dados

1) Seção adotada: retangular (b x h), 4 x 1,5 cm

$$A = b * h; W = (b * h^2) / 6; I = (b * h^3) / 12; i = \sqrt{I / W}; \lambda = e / i$$

$$A = 6 \text{ cm}^2; W_x = (4 * 1,5^2) / 6 = 1,5 \text{ cm}^4; I_x = (4 * 1,5^3) / 12 = 1,125 \text{ cm}^4$$

$$W_y = (1,5 * 4^2) / 6 = 4 \text{ cm}^4; I_y = (1,5 * 4^3) / 12 = 8 \text{ cm}^4;$$

$$i = \sqrt{(1,125 / 1,5)} = 0,87; \lambda = 50 / 0,87 = 57,47 < 80 \rightarrow \text{Peça semi}$$

esbelta

2) Distância entre ripas = 0,35 m,

3) Vão entre caibros, L = 0,5 m

4) Telhas: 0,5884 kN/m²5) Carga accidental: 0,3 kN/m²

b) Carga por metro linear de ripa

1) Carga permanente $g = g_0 + g_c$

$$\text{Peso próprio } g_0 = 0,015 \times 0,04 \times 8,46 \dots\dots\dots 0,0051 \text{ kN/m linear}$$

$$\text{Telhas } g_c = 0,40 \times 0,5884 \text{ kN/m}^2 \dots\dots\dots 0,2354 \text{ kN/m linear}$$

$$g = g_0 + g_c \dots\dots\dots 0,2405 \text{ kN/m linear}$$

2) Carga accidental ... $p = 0,3 \text{ kN/m}^2 \times 0,4 = 0,12 \text{ kN/m linear}$

3) Componentes:

$$g_x = g \cos \alpha = 0,2405 * 0,9578 = 0,2304$$

$$g_y = g \sin \alpha = 0,2405 * 0,2873 = 0,0691$$

$$p_x = p \cos \alpha = 0,12 * 0,9578 = 0,1149$$

$$p_y = p \sin \alpha = 0,12 * 0,2873 = 0,0345$$

$$M_{x,d} = 1,4 * (((0,2304 + 0,1149) * 3^2) / 8) = 0,5438 \text{ kN/m}$$

$$M_{y,d} = 1,4 * (((0,0691 + 0,0345) * 3^2) / 8) = 0,1632 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{M_{x,d}} = (M_{x,d} / W_x) = 0,5438 / 1,5 = 0,3625$$

$$\sigma_{M_{y,d}} = (M_{y,d} / W_y) = 0,1632 / 4 = 0,0408$$

$k_M = 0,5$; (coeficiente de correção para seções transversais retangulares)

$$(k_M * (\sigma_{M_{x,d}} / f_{wd})) + (\sigma_{M_{y,d}} / f_{wd}) \leq 1$$

$$(0,5 * (0,3625 / 1,2)) + (0,0408 / 1,2) \leq 1 \rightarrow 0,1850 \text{ kN/m} \leq 1$$

c) Verificação da flecha (estado limite de utilização) - Pela NBR 7190/97

$$f_{adm} = (l/200) = 50/200 = 0,25 \text{ cm}$$

$$f_x = (5g_x * l^4) / (384 * E * I_x) = (5 * 0,2304 * 50^4) / (384 * 8120 * 1,125) = 2,0525$$

$$f_y = (5g_y * l^4) / (384 * E * I_y) = (5 * 0,0691 * 50^4) / (384 * 8120 * 8) = 0,0866$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{2,0525^2 + 0,0866^2} = 0,1777 \leq f_{adm}$$

1.3.4. Verificação dos caibros

a) Dados

1) Distância entre caibros ... $t = 0,5 \text{ m}$

2) Distância entre terças $e = 1,3920 \text{ m}$

3) Cargas $g_c = 0,87 \text{ kN/m}^2$ (peso próprio)

$$p = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

4) $\sin \alpha = 0,2873$; $\cos \alpha = 0,9578$

5) Seção escolhida: retangular (b x h), 5 x 6 cm

$$A = b * h; W = (b * h^2) / 6; I = (b * h^3) / 12; i = \sqrt{(I/W)}; \lambda = e/i$$

$$A = 30 \text{ cm}^2; W_x = 30 \text{ cm}^3; I_x = (5 * 6^3) / 12 = 90 \text{ cm}^4; W_y = 25 \text{ cm}^3; I_y =$$

$$(6 * 5^3) / 12 = 62,5 \text{ cm}^4; i = \sqrt{(90/30)} = 1,73 \text{ cm};$$

$$\lambda = e/i = 139,2/1,73 = 80,46 > 80 \rightarrow \text{Peça Esbelta}$$

b) Carga por metro linear de caibro

$$1) \quad q = (p + g_c) * t = (0,3 + 0,87) * 0,5 = 0,5850 \text{ kN/m linear de caibro}$$

(foi adotado o mesmo coeficiente de ponderação de ações 1,4 para carga permanente e a acidental, por isso são tratadas juntas)

2) Componentes:

$$q_N = q \cos \alpha = 0,5850 * 0,9578 = 0,5603 \text{ kN/m linear}$$

$$q_T = q \sin \alpha = 0,5850 * 0,2873 = 0,1681 \text{ kN/m linear}$$

c) Esforços solicitantes

1) Momento fletor

$$M = (q_N * (e^2/8)) * 100 = (0,5603 * (1,3920^2/8)) * 100 = 13,57 \text{ kN/m}$$

$$M_{1d} = 13,57 * 1,4 = 18,9980 \text{ kN/m}$$

2) Força cortante

$$Q = q_N * (e/2) = 0,5603 * (1,3920/2) = 0,39 \text{ kN}$$

3) Esforço normal

$$N_{\max} = q_T * e = q_T * (e/2) = 0,1681 * (1,3920/2) = 0,1170 \text{ kN}$$

$$N_d = 0,1170 * 1,4 = 0,1638 \text{ kN}$$

d) Verificação

1) Flexão compressão

$$e_a = L_0/300 = 139,2/300 = 0,464 \text{ cm}$$

$$e_i = M_{1d}/N_d = 18,9980/0,1638 = 115,9830 \text{ cm}$$

$$e_1 = e_i + e_a = 115,9830 + 0,464 = 116,447 \text{ cm}$$

$$M_d = N_d * e_{1,ef} (F_E / (F_E - N_d))$$

$$M_d = 0,1638 * 116,448 (372,24 / (372,24 - 0,1638)) = 19,0818$$

$$e_{1,ef} = e_i + e_a + e_c = 116,447 + 0,0010 = 116,448$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \{ \exp[\Phi [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) N_{qk}] / F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) N_{qk}]] - 1 \}$$

$$e_c = (0,464) \{ \exp[0,8 [0,87 + (0,5) * 0,3] / 372,24 - [0,87 + (0,5) * 0,3]] - 1 \}$$

$$e_c = 0,464 * 0,0022 = 0,0010$$

$$F_E = (\pi^2 * E_{c0,ef} * I) / L_0^2 = (\pi^2 * 8120 * 90) / 139,2^2 = 372,24 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Mx,d} = (M_d / I) * y = (19,0818 / 90) * 6/2 = 0,6361$$

$$\sigma_{My,d} = (M_d / I) * y = (19,0818 / 62,5) * 5/2 = 0,7633$$

$$\sigma_{Nd} = N_d / 30 = 0,1638 / 30 = 0,0055$$

$$k_M = 0,5$$

$$(\sigma_{Nd} / f_{c0,d})^2 + (\sigma_{Mxd} / f_{c0,d}) + k_M (\sigma_{Myd} / f_{c0,d}) \leq 1$$

$$(0,0055 / 1,2)^2 + (0,6361 / 1,2) + 0,5 (0,7633 / 1,2) = 0,8481 \leq 1 \text{ OK}$$

$$(\sigma_{Nd} / f_{c0,d})^2 + k_M (\sigma_{Mxd} / f_{c0,d}) + (\sigma_{Myd} / f_{c0,d}) \leq 1$$

$$(0,0055 / 1,2)^2 + 0,5 (0,6361 / 1,2) + (0,7633 / 1,2) = 0,9011 \leq 1 \text{ OK}$$

2) Cisalhamento

$$\tau_d = 3/2 * ((1,4*Q)/A) < f_{v0,d} = 3/2 * ((1,4*0,39)/30) < 0,2490 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_d = 0,0273 \text{ kN/cm}^2 < 0,2490 \text{ kN/cm}^2$$

3) Flecha

$$f_{adm} = 139,2/200 = 0,696 \text{ cm}$$

$$g_x = g \cos \alpha = 0,87 * 0,9578 = 0,8333$$

$$g_y = g \sin \alpha = 0,87 * 0,2873 = 0,25$$

$$f_x = (5g_x * l^4) / (384 * E * I_x) = (5 * 0,8333 * 50^4) / (384 * 812 * 62,5) = 1,3362$$

$$f_y = (5g_y * l^4) / (384 * E * I_y) = (5 * 0,25 * 50^4) / (384 * 812 * 90) = 0,2784$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{1,3362^2 + 0,2784^2} = 0,3720 \leq f_{adm}$$

1.3.5. Verificação das terças

a) Dados

1) Seção escolhida: retangular (b x h), 6 cm x 25 cm

$$A = b * h; W = (b * h^2)/6; I = (b * h^3)/12; i = \sqrt{I/W}; \lambda = e/i$$

$$A = 150 \text{ cm}^2, W_x = (6 * 25^2)/6 = 625 \text{ cm}^3; I_x = (6 * 25^3)/12 = 7812,5 \text{ cm}^4;$$

$$W_y = (25 * 6^2)/6 = 150 \text{ cm}^3; I_y = (25 * 6^3)/12 = 450 \text{ cm}^4;$$

$$i = \sqrt{(7812,5/625)} = 3,54;$$

$$\lambda = e/i = 139,2 / 3,54 = 39,32 < 40 \rightarrow \text{Peça curta}$$

2) Distância entre as terças: $e = 1,392 \text{ m}; m = 1,33 \text{ m}$

3) Distância entre tesouras: $a = 3,0 \text{ m}$

- 4) Carga permanente (cobertura + ripas + caibros) - $g_c = 0,87 \text{ kN/m}^2$
- 5) Sobrecarga accidental - $p = 0,30 \text{ kN/m}^2$
- 6) $\sin \alpha = 0,2873$; $\cos \alpha = 0,9578$

b) Carga por metro linear de terça

- 1) Peso próprio da terça ... $g_0 = 0,06 \times 0,25 \times 8,46 \dots\dots\dots 0,1269 \text{ kN/m linear}$
- 2) Cobertura $g_c m = 0,87 \times 1,33 \dots\dots\dots 1,1571 \text{ kN/m linear}$
 $g = g_0 + g_c m \dots\dots\dots 1,2840 \text{ kN/m linear}$
- 3) Sobrecarga: $w = p * m = 0,30 * 1,33 = 0,399 \text{ kN/m linear}$
- 4) Resultantes das cargas: $q = g + w = 1,6830 \text{ kN/m linear}$
- 5) Componentes:
 $g_x = g \cos \alpha = 1,2840 * 0,9578 = 1,2298 \text{ kN/m linear}$
 $g_y = g \sin \alpha = 1,2840 * 0,2873 = 0,3689 \text{ kN/m linear}$
 $q_N = q \cos \alpha = 1,6830 * 0,9578 = 1,6120 \text{ kN/m linear}$
 $q_T = q \sin \alpha = 1,6830 * 0,2873 = 0,4835 \text{ kN/m linear}$

c) Esforços solicitantes

1) Momento fletor

$$M_{gx} = (g_x * (a^2/8)) = (1,2298 * (3^2/8)) = 1,3835 \text{ kN/m}$$

$$M_{qx} = (q_N * (a/4)) = (1,6120 * (3/4)) = 1,2090 \text{ kN/m}$$

$$M_{gy} = (g_y * (a^2/8)) = (0,3689 * (3^2/8)) = 0,4150 \text{ kN/m}$$

$$M_{qy} = (q_T * (a/4)) = (0,4835 * (3/4)) = 0,3626 \text{ kN/m}$$

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_q$$

$$M_{xd} = 1,4 * 1,3835 + 1,4 * 1,2090 = 3,6295 \text{ kN/m}$$

$$M_{yd} = 1,4 * 0,4150 + 1,4 * 0,3626 = 1,0886 \text{ kN/m}$$

2) Forças cortantes

$$V_{gx} = (g_x * (a/2)) = (1,2298 * (3/2)) = 1,8447$$

$$V_{qx} = (q_N / 2) = (1,6120 / 2) = 0,8060$$

$$V_{gy} = (g_y * (a/2)) = (0,3689 * (3/2)) = 0,5534$$

$$V_{qy} = (q_T / 2) = (0,4835 / 2) = 0,2418$$

$$V_d = 1,4 * V_g + 1,4 * V_q$$

$$V_{xd} = 1,4 * 1,8447 + 1,4 * 0,8060 = 3,7110$$

$$V_{yd} = 1,4 * 0,5534 + 1,4 * 0,2418 = 1,1133$$

d) Verificação

1) Flexão oblíqua

$$\sigma_{Md} = (M_d / I) * y$$

$$\sigma_{Mx,d} = (362,95 / 7812,5) * 25/2 = 0,5807 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{My,d} = (108,86 / 450) * 6/2 = 0,7257 \text{ kN/cm}^2$$

$k_M = 0,5$ (coeficiente de correção para seções transversais retangulares)

$$(\sigma_{Mx,d} / f_{wd}) + (k_M * (\sigma_{My,d} / f_{wd})) \leq 1$$

$$(0,5807/1,2) + (0,5*(0,7257/1,2)) = 0,7863 \leq 1 \text{ OK}$$

$$(k_M * (\sigma_{Mx,d} / f_{wd})) + (\sigma_{My,d} / f_{wd}) \leq 1$$

$$(0,5 * (0,5807 / 1,2)) + (0,7257 / 1,2) = 0,8467 \leq 1 \text{ OK}$$

2) Cisalhamento

$$\tau_d \leq f_{v0,d} \text{ OK}$$

$$\tau_{xd} = 1,5*(V_{xd} / (b*h)) = 1,5*(3,7110/150) = 0,0371 \text{ kN/cm}^2 < 0,156 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{yd} = 1,5*(V_{yd} / (b*h)) = 1,5*(1,1133/150) = 0,0111 \text{ kN/cm}^2 < 0,156 \text{ kN/cm}^2$$

3) Flexa

$$f_{adm} = 300/200 = 1,5 \text{ cm}$$

$$U_X = ((5*g_x * L^4)/(384*E_{c0,ef}*I_x)) + \psi_2 * ((q_N * L^3)/(48*E_{c0,ef}*I_x))$$

$$U_X = ((5*0,0123*300^4)/(384*812*7812,5)) + 0,2 * ((0,0161 * 300^3)/$$

$$(48*812*7812,5)) = 0,2045 + 0,0003 = 0,2048 \text{ cm} < f_{adm} \text{ OK}$$

$$U_y = ((5*g_y * L^4)/(384*E_{c0,ef}*I_y)) + \psi_2 * ((q_T * L^3)/(48*E_{c0,ef}*I_y)) =$$

$$U_y = ((5*0,0037*300^4)/(384*812*450)) + 0,2 * ((0,0048$$

$$* 300^3)/(48*812*450)) = 1,0680 + 0,0015 = 1,0695 \text{ cm} < f_{adm} \text{ OK}$$

1.3.6. Cálculo da tesoura

a) Resumo das cargas unitárias

- 1) Peso próprio da tesoura $g_T = 0,0892 \sim 0,1 \text{ kN/m}^2$
- 2) Cobertura (telhas + ripas + caibros) ... $g_c = 0,87 \text{ kN/m}^2$
- 3) Terças $g_0 = 0,1313 \sim 0,13 \text{ kN/m linear}$
- 4) Carga acidental - sobrecarga $p = 0,3 \text{ kN/m}^2$

b) Cálculo das concentrações

- 1) Concentrações devidas à carga permanente no banzo superior: (cobertura + terças + tesoura)

$$g_T = \sim 0,1 \text{ kN/m}^2$$

$$g_c = 0,87 \text{ kN/m}^2$$

$$g_0 = \sim 0,13 \text{ kN/m}$$

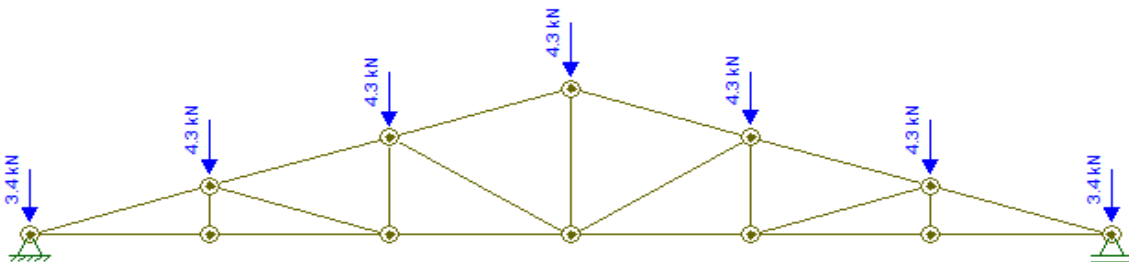
$$G_1 = G_2 = G_3 = G_4 = G'_3 = G'_2 = G_1 = G_i \dots G_i \dots \text{concentração nos nós intermediários}$$

$$G_0 = G'_0 = G_e \dots G_e \dots \text{concentração nos nós extremos}$$

$$G_i = [(g_T + g_c) m + g_0] * a = [(0,1 + 0,87) * 1,33 + 0,13] * 3 = 4,2603 \sim 4,3 \text{ kN}$$

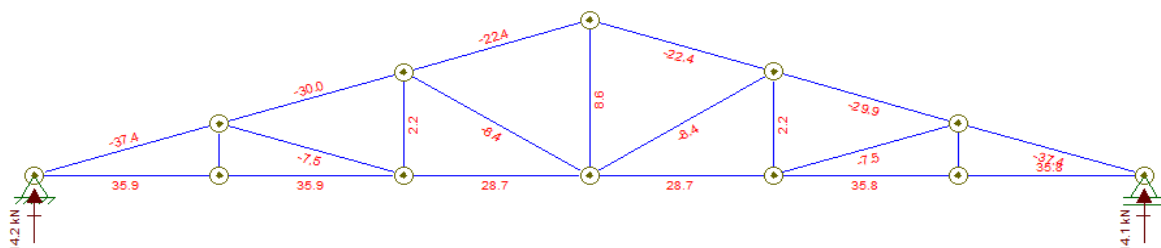
$$G_e = [(g_T + g_c) * m/2 + g_0] * a + \text{beiral} = [(0,1 + 0,87) * 1,33/2 + 0,13] * 3 + (0,87 * 0,4 * 3) = 3,3692 \sim 3,4 \text{ kN}$$

Figura 2 - Concentração de cargas permanentes nos nós extremos e intermediários.



Fonte: A autora (2020).

Figura 3 - Esforços atuantes devido cargas permanentes nas barras da treliça.



Fonte: A autora (2020).

2) Concentrações devidas à carga acidental

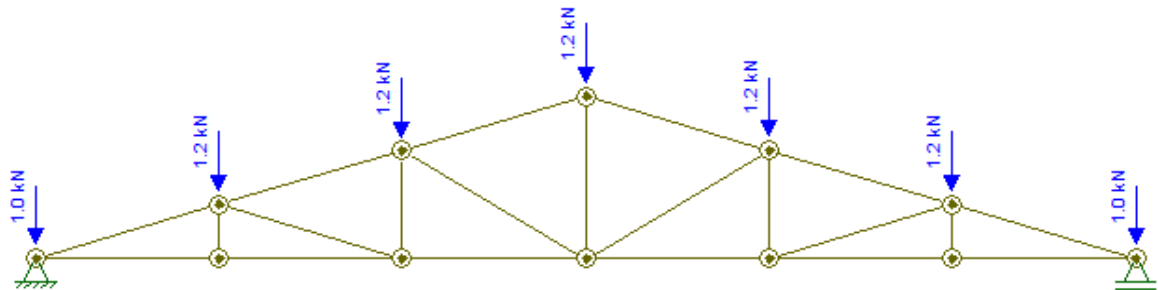
$P_i = P_1 = P_2 = P_3 = P'_2 = P'_1 \dots$ pela simetria

$P_e = P_0 = P'_0$

$P_i = p \cdot m \cdot a = 0,3 \cdot 1,33 \cdot 3 = 1,197 \sim 1,2 \text{ kN}$

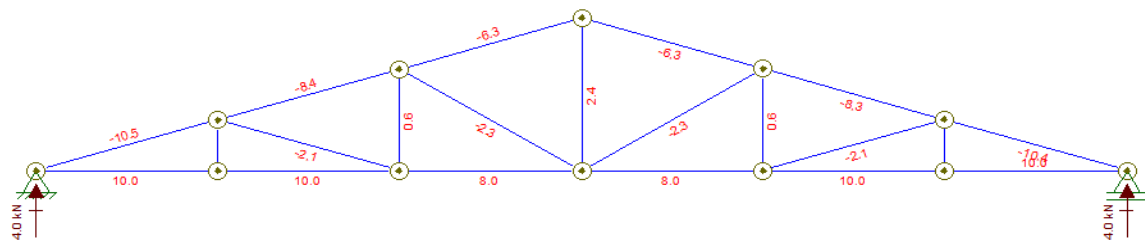
$P_e = (p \cdot m \cdot a)2 + \text{beiral} = (0,3 \cdot 1,33 \cdot 3)/2 + (0,3 \cdot 0,4 \cdot 3) = 0,9585 \sim 1,0 \text{ kN}$

Figura 4 - Concentração de cargas acidentais nos nós extremos e intermediários.



Fonte: A autora (2020).

Figura 5 - Esforços atuantes devido cargas acidentais nas barras da treliça.



Fonte: A autora (2020).

c) Tabela geral dos esforços

Tabela 1: Esforços devido cargas permanentes e acidentais, obtidas pelo *software Ftool*.

Barras	COMPRIMENTO (m)	Esforços (kN)			
		Carga permanente	Carga acidental	Carga permanente + acidental	
BANZO SUPERIOR	1-2	1,392	-37,4	-10,5	-47,9
	2-4	1,392	-30	-8,4	-38,4
	4-6	1,392	-22,4	-6,3	-28,7
	6-8	1,392	-22,4	-6,3	-28,7
	8-10	1,392	-29,9	-8,3	-38,2
	10-12	1,392	-37,4	-10,4	-47,8
BANZO	1-3	1,33	35,9	10	45,9

INFERIOR	3-5	1,33	35,9	10	45,9
	5-7	1,33	28,7	8	36,7
	7-9	1,33	28,7	8	36,7
	9-11	1,33	35,8	10	45,8
	11-13	1,33	35,8	10	45,8
MONTANTES	2-3	0,40	0	0	0
	4-5	0,8	2,2	0,6	2,8
	6-7	1,20	8,6	2,4	11
	8-9	0,8	2,2	0,6	2,8
	10-11	0,40	0	0	0
DIAGONAIS	2-5	1,3889	-7,5	-2,1	-9,6
	4-7	1,5521	-8,4	-2,3	-10,7
	6-9	1,5521	-8,4	-2,3	-10,7
	9-10	1,3889	-7,5	-2,1	-9,6

Fonte: A autora (2020).

d) Verificação das dimensões (tensões da NBR 7190/97)

1) Banzo superior

$$N_{m\acute{a}x} = - 47,9 \text{ kN (compress\~ao)}$$

Seção escolhida: retangular (b x h), 6 x 25 cm

$$A = b * h; W = (b * h^2)/6; I = (b * h^3)/12; i = \sqrt{I/W}; \lambda = e/i$$

$$A = 150 \text{ cm}^2, W_y = (25*6^2)/6 = 150 \text{ cm}^3; I_y = (25*6^3)/12 = 450 \text{ cm}^4;$$

$$i = \sqrt{(450/150)} = 1,73; \lambda = e/i = 139,2/1,73 = 80,46 > 80 \rightarrow \textbf{Peça esbelta}$$

$$\text{Dist\~ancia entre as ter\~cas: } L_0 = 1,392 \text{ m}$$

A excentricidade acidental m\~inima \~e de

$$e_a = L_0 / 300 = 139,2/300 = 0,4640 \text{ cm}$$

De acordo com Calil e Molina (2010), sendo os momentos na extremidade da barra $M_{1d,x}$ e $M_{1d,y} = 0$, tem-se e_{ix} e $e_{iy} = 0$. Ser\~ao admitidos as excentricidades e_a e e_i para a dire\~cao perpendicular ao eixo de menor in\~ercia (eixo x), com isso tem-se: $e_{ix} = 0,4640$; $e_{iy} = 0$

$$e_1 = e_i + e_a = 0,9280$$

Devido a esbeltez, Moliterno (2010) diz ser necessário aumentar o raio de giração mínimo justapondo uma tábua pregada. Para o cálculo foi adicionado uma tábua de 10 x 6 cm.

$$A = 210 \text{ cm}^2, \quad W_y = 250 \text{ cm}^3; \quad I_y = 950 \text{ cm}^4;$$

$$i = 1,95; \quad \lambda = e/i = 71,38 < 80 \rightarrow \text{Semi esbelta}$$

$$M_d = N_d * e_d = 67,06 * 1,12 = 75,1072$$

$$e_d = 0,9280 * (392,92 / (392,92 - 67,06)) = 1,12$$

$$F_E = (\pi^2 * 812 * 950) / 139,2^2 = 392,92 \text{ kN}$$

$$\sigma_{Nd} = 67,06 / 210 = 0,3193; \quad \sigma_{Md} = (75,1072 / 950) * 25 / 2 = 0,9883$$

$$(\sigma_{Nd} / f_{c0,d}) + 0,5 * (\sigma_{Md} / f_{c0,d}) \leq 1 \rightarrow (0,3193 / 1,2) + 0,5 * (0,9883 / 1,2) = 0,68 \leq 1$$

OK

$$0,5 * (\sigma_{Nd} / f_{c0,d}) + (\sigma_{Md} / f_{c0,d}) \leq 1 \rightarrow 0,5 * (0,3193 / 1,2) + (0,9883 / 1,2) = 0,96 \leq 1$$

OK

2) Banzo inferior

$$N_{\text{máx}} = 45,9 \text{ (tração)}$$

Seção escolhida: retangular (b x h), 6 x 10 cm

$$A = 60 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{Td} = 45,9 / 60 = 0,7650 \text{ kN/cm}^2 < 1,2 \text{ kN/cm}^2$$

3) Diagonal mais solicitada

$$N_{\text{máx}} = - 10,7 \text{ (compressão)}$$

Seção escolhida: retangular (b x h), 6 x 10 cm

$$A = b * h; \quad W = (b * h^2) / 6; \quad I = (b * h^3) / 12; \quad i = \sqrt{(I / W)}; \quad \lambda = e / i$$

$$A = 60 \text{ cm}^2, \quad W_y = (10 * 6^2 / 6) = 60 \text{ cm}^3; \quad I_y = (10 * 6^3 / 12) = 180 \text{ cm}^4;$$

$$i = \sqrt{(180 / 60)} = 1,73; \quad \lambda = e / i = 155,21 / 1,73 = 89,72 > 80 \rightarrow \text{Peça esbelta}$$

$$\text{Distância entre as terças: } L_0 = 1,5521 \text{ m}$$

A excentricidade acidental mínima é de

$$e_a = L_0 / 300 = 155,21 / 300 = 0,5174 \text{ cm}$$

De acordo com Calil e Molina (2010), sendo os momentos na extremidade da barra $M_{1d,x}$ e $M_{1d,y} = 0$, tem-se e_{ix} e $e_{iy} = 0$. Serão admitidos as excentricidades e_a e e_i para a direção perpendicular ao eixo de menor inércia (eixo x), com isso tem-se: $e_{ix} = 0,5174$; $e_{iy} = 0$

$$e_1 = e_i + e_a = 1,0348$$

$$M_d = 14,98 * 1,0420 (59,8810 / 59,8810 - 14,98) = 20,8162$$

$$e_{1,ef} = 1,0348 + 0,0072 = 1,0420$$

$$F_E = (\pi^2 * 812 * 180) / 155,21^2 = 59,8810 \text{ kN}$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \{ \exp[\Phi [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) N_{qk}] / F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) N_{qk}]] - 1 \}$$

$$e_c = (0,5174) \{ \exp[0,8 [0,87 + (0,5) * 0,3] / 59,8810 - [0,87 + (0,5) * 0,3]] - 1 \}$$

$$e_c = 0,5174 * 0,0140 = 0,0072$$

$$\sigma_{Nd} = 14,98/60 = 0,2497;$$

$$\sigma_{Mx,d} = (20,8162/500) * 10/2 = 0,2082$$

$$\sigma_{My,d} = (20,8162/180) * 6/2 = 0,3469$$

$k_M = 0,5$ (coeficiente de correção para seções transversais retangulares)

$$(\sigma_{Nd} / f_{c0,d})^2 + (\sigma_{Mxd} / f_{c0,d}) + k_M (\sigma_{Myd} / f_{c0,d}) \leq 1$$

$$(0,2497 / 1,2)^2 + (0,2082 / 1,2) + 0,5 (0,3469 / 1,2) = 0,3613 \leq 1 \text{ OK}$$

$$(\sigma_{Nd} / f_{c0,d})^2 + k_M (\sigma_{Mxd} / f_{c0,d}) + (\sigma_{Myd} / f_{c0,d}) \leq 1$$

$$(0,2497 / 1,2)^2 + 0,5 (0,2082 / 1,2) + (0,3469 / 1,2) = 0,4191 \leq 1 \text{ OK}$$

4) Montantes secundários

$$N_{\text{máx}} = 2,8 \text{ (tração)}$$

Seção escolhida: retangular (b x h), 6 x 10 cm

$$A = 60 \text{ cm}^2,$$

$$\sigma_{Nd} = 2,8 / 60 = 0,0467 \text{ kN/cm}^2 < 1,2 \text{ kN/cm}^2 \text{ OK}$$

5) Montante central

$$N_{\text{máx}} = 11 \text{ (tração)}$$

Seção escolhida: retangular (b x h), 6 x 10 cm

$$A = 60 \text{ cm}^2,$$

$$\sigma_{Nd} = 11 / 60 = 0,1833 \text{ kN/cm}^2 < 1,2 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{OK}$$

1.3.7. Cálculo dos detalhes

Resistência de cálculo de um pino (Calil e Molina, 2010)

Embutimento da madeira (NBR 7190/97, tab. 12 e 14)

Embutimento paralelo às fibras da madeira

$$f_{e0,d} = f_{c0,d}; \quad f_{e0,d} = 1,2 \text{ kN/cm}^2$$

Embutimento normal às fibras da madeira

$$f_{e90,d} = 0,25 * f_{c0,d} * \alpha_e; \quad \alpha_e = 1,95 \text{ (parafuso com diâmetro de 0,95)}$$

$$f_{e90,d} = 0,25 * 1,2 * 1,95 = 0,585 \text{ kN/cm}^2$$

Embutimento inclinado às fibras da madeira

$$f_{\alpha} = (f_0 * f_{90}) / (f_0 \sin^2 \alpha + f_{90} \cos^2 \alpha)$$

1.3.7.1. Dimensionamento

a) Ligação - banzo superior e inferior (nó 1)

$$N_d = -47,9 \text{ kN}$$

$$f_{e0,d} = 1,10 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 16,7^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8/1,10)} = 5,56$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 5,28 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 47,9 / 5,28 = 9,07 = 10 \text{ parafusos (10 mm)}$$

Esta ligação terá 10 parafusos (10 mm).

b) Ligação - nó do banzo inferior (nó 5)

1) Referente ao montante (montante unido ao banzo inferior)

$$N_d = 2,8 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 0,585 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 90^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 6/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8/0,585)} = 7,63$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 2,808 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 2,8/2,808 = 0,9971 = 1 \text{ parafuso (10 mm)}$$

2) Referente a diagonal (diagonal unido ao banzo inferior)

$$N_d = -9,6 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 1,10 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 16,82^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8/ 1,10)} = 5,5647$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 5,28 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 9,6/5,28 = 1,82 = 2 \text{ parafuso (10 mm)}$$

Esta ligação terá 2 parafusos (10 mm).

c) Ligação - nó do banzo superior (nó 4)

1) Referente ao montante (montante unido ao banzo superior)

$$N_d = 2,8 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 0,61 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 73,30^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 6/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8/ 0,61)} = 7,47$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 2,93 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 2,8/2,93 = 0,96 = 1 \text{ parafuso (10 mm)}$$

2) Referente a diagonal (diagonal unida ao banzo superior)

$$N_d = -10,7 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 0,76 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 47,76^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 0,76)} = 6,69$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 3,65 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 10,7/3,65 = 2,93 = 3 \text{ parafusos (10 mm)}$$

Essa ligação terá 3 parafusos (10 mm).

d) Ligação - nó central do banzo superior (nó 6)

1) Referente ao banzo superior (elementos do banzo superior unidos entre si através)

$$N_d = -28,7 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 0,91 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 146,6^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 0,91)} = 6,12$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 4,37 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 28,7/4,37 = 6,57 = 7 \text{ parafusos (10 mm)}$$

2) Referente ao montante (montante unido ao banzo superior)

$$N_d = 11 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 0,61 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 73,3^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 0,61)} = 7,47$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 2,93 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 11/2,93 = 3,75 = 4 \text{ parafusos (10 mm)}$$

Esta ligação terá 7 parafusos (10mm) para cada barra do banzo superior, e 4 parafusos (10mm) para o montante.

e) Ligação - nó central do banzo inferior (nó 7)

1) Referente às diagonais (diagonais unidas ao banzo inferior)

$$N_d = -10,7 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 0,94 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 31,06^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 0,94)} = 6,02$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 4,51 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 10,7 / 4,51 = 2,37 = 3 \text{ parafusos (10 mm)}$$

2) Referente ao montante (montante unido ao banzo inferior)

$$N_d = 11 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 0,585 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 90^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 0,585)} = 7,63$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 2,81 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 11 / 2,81 = 3,91 = 4 \text{ parafusos (10 mm)}$$

Essa ligação terá 3 parafusos (10mm) para cada barra diagonal e 4 parafusos (10mm) para a barra do montante.

1.3.7.2. Emendas

Referente ao banzo inferior (montante unido ao banzo inferior)

$$N_d = 36,7 \text{ kN}$$

$$f_{e90,d} = 1,2 \text{ kN/cm}^2, \text{ para } \theta = 0^\circ$$

$$f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$t' = t/2 = 3 \text{ cm e } d = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = 3$$

$$\beta_m = 1,25 \sqrt{(f_{y,d} / f_{ed})} = 1,25 * \sqrt{(21,8 / 1,2)} = 5,33$$

$$\beta < \beta_m \rightarrow \text{embutimento na madeira}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 * (t^2/\beta) * f_{ed} = 5,76 \text{ kN}$$

$$N_p = N_d / R_{vd,1} = 36,7 / 5,76 = 6,37 = 7 \text{ parafusos (10 mm)}$$

Essa ligação terá 8 parafusos (10mm) para cada barra do banzo inferior, para melhor simetria dos parafusos.

1.4. Resultados finais

1.4.1. Quantitativo das peças de madeira

(b x h x c)

a) Banzo superior

$$0,06 \times 0,25 \times 8,36 \rightarrow (x5)$$

$$0,06 \times 0,10 \times 8,36 \rightarrow (x5)$$

b) Banzo inferior

$$0,06 \times 0,10 \times 8 \rightarrow (x5)$$

c) Diagonais

$$0,06 \times 0,10 \times 5,9 \rightarrow (x5)$$

- d) Montantes central
 $0,06 \times 0,10 \times 1,2 \rightarrow (x5)$
- e) Montantes secundários
 $0,06 \times 0,10 \times 2,4 \rightarrow (x5)$
- f) Terças
 $0,06 \times 0,25 \times 12,8 \rightarrow (x7)$
- g) Caibros
 $0,05 \times 0,06 \times 4,6 \rightarrow (x54)$
- h) ripas
 $0,04 \times 0,015 \times 12,8 \rightarrow (x26)$

TOTAL = 3,6211 m³ de madeira serrada.

1.4.2. Pinos metálicos

- Ligação - banzo superior e inferior (nó 1) 2x - 10 parafusos (10mm).
- Ligação - nó do banzo inferior (nó 5) 4x - 2 parafusos (10 mm).
- Ligação - nó do banzo superior (nó 4) 4x - 3 parafusos (10 mm)
- Ligação - nó central do banzo superior (nó 6) 1x - 18 parafusos (10mm)
- Ligação - nó central do banzo inferior (nó 7) 1x - 10 parafusos (10mm)
- Emenda banzo inferior (nó 7) 1x - 16 parafusos (10 mm)

TOTAL = (20+8+12+18+10+16)*5 = 420 parafusos (10 mm).

1.4.3. Consumo de madeira

Com os valores obtidos neste trabalho, é possível calcular a relação entre o consumo de madeira (C) e a área coberta pela estrutura (A), expressa pela equação abaixo:

$$C/A = \text{m}^3/\text{m}^2 \rightarrow 3,6211 / 112,64 = 0,0321 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Sendo: Consumo de madeira (C) - m³ e Área coberta (A) - m²