

DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA PARA TELHADOS: ESTUDO DE CASO

FRANCIELE ALINE PERSCH¹
LETÍCIA R. BATISTA ROSAS²

RESUMO: Ao longo do tempo o homem vem aprimorando a maneira de construir. Na construção civil, o uso da madeira é tradição na construção de estruturas de telhados, sendo a forma construtiva mais convencional, além de possuir um grande contingente de mão de obra especializada. Dado este fato, os sistemas de cobertura possuem função de proteção da edificação às intempéries, além de proporcionar conforto acústico e térmico. Da perspectiva arquitetônica, os telhados contribuem com a aparência estética da edificação, onde as estruturas de coberturas hoje em dia são verdadeiras obras de arte, devido aos seus formatos cada vez mais exuberantes, que exigem ao máximo da estrutura. Além do mais, novas espécies vêm sendo empregados para produção de madeiras, bem como seus os componentes vêm sendo produzidos em laboratórios. Neste contexto, este estudo busca dimensionar uma estrutura de madeira para a execução de elemento estrutural de cobertura de uma edificação. Para tal, foi utilizada uma madeira de resistência de 40 MPa, sendo dimensionada segundo os critérios das ABNT NBR 7190/1997 e ABNT NBR 6123/2013. A residência possui uma cobertura com área de 73,13 m², duas quedas de água inclinadas em 10%. Para o dimensionamento, foram utilizados os softwares AutoCAD, Ftool e Visual Ventos. Pode-se concluir que, através dos cálculos a terça de seção 7,5 x 10 cm atende a todas as solicitações de dimensionamento da norma e para a treliça, as seções de 7,5 x 10 cm e 7,5 x 7,5 cm atenderam satisfatoriamente os requisitos da ABNT NBR 7190/1997.

PALAVRAS-CHAVE: Construção; Estrutura de Cobertura; Sessões.

SIZING WOODEN STRUCTURES FOR ROOFS: CASE STUDY –

ABSTRACT: Over time, man has been improving the way to build. In civil construction, the use of wood is a tradition in the construction of roof structures, being the most conventional constructive form, in addition to having a large contingent of specialized labor. Given this fact, roofing systems have the function of protecting the building from the weather, in addition to providing acoustic and thermal comfort. From an architectural perspective, the roofs contribute to the aesthetic appearance of the building, where roof structures today are true works of art, due to their increasingly exuberant formats, which demand the maximum from the structure. Furthermore, new species have been used for wood production, as well as their components have been produced in laboratories. In this context, this study seeks to dimension a wooden structure for the execution of a structural element covering a building. For this, a wood with a strength of 40 MPa was used, being dimensioned according to the criteria of ABNT NBR 7190/1997 and ABNT NBR 6123/2013. The residence has a penthouse with an area of 73.13 m², two waterfalls inclined at 10%. For the dimensioning, AutoCAD, Ftool and Visual Ventos software were used. It can be concluded that, through the calculations, the purlin of section 7.5 x 10 cm meets all the sizing requests of the standard and for the truss, the sections of 7.5 x 10 cm and 7.5 x 7.5 cm satisfactorily met the requirements of ABNT NBR 7190/1997.

KEYWORDS: Construction; Cover Structure; Sessions.

¹ Acadêmica de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Unifasipe, Avenida Magda de Castro Pissinatti, número 69, Residencial Florença, Sinop/MT, CEP: 78.550-000.

² Professora Mestre, Curso Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Unifasipe, Avenida Magda de Castro Pissinatti, número 69, Residencial Florença, Sinop/MT, CEP: 78.550-000.

1. INTRODUÇÃO

A estrutura do telhado de um espaço fechado é um dos componentes mais importantes na construção civil para que se atinja a qualidade final do produto desejado em uma edificação. Em virtude disto, a engenharia civil sempre buscou por inovações a fim de atender os objetivos demandados pelo mercado da construção civil (DINIZ, 2018).

O telhado em madeira é muito empregado em obras corriqueiras da construção civil devido a ser um material de fácil obtenção, naturalmente resistente e leve. A sua preferência como matéria-prima estrutural se dá principalmente pelas suas propriedades físicas e mecânicas. Juntas, estas propriedades proporcionam conforto térmico e grande aptidão estética num produto final, associadas ao baixo consumo de energia utilizado para sua transformação (DE BORTOLI, 2016).

Além do mais, a madeira é um elemento estrutural esteticamente agradável, permitindo o desenvolvimento de soluções robustas, criativas, inovadoras e de alta qualidade frente a diversos desafios estruturais e arquitetônicos. Devido a isto e também a sua disponibilidade na natureza, por muito tempo a madeira vem sendo a principal escolha para elementos de coberturas de edificações (COGO; TONON, 2012).

Atualmente, a madeira é bastante utilizada em estruturas de telhados, e sua utilização vem sendo bastante discutida. A madeira é passível de fácil manutenção, poucos erros, bem como baixo desperdício de materiais. Porém, para que um menor custo seja alcançado, é necessário realizar uma análise do material a ser empregado em cada situação, o local e a região a ser executado (FLACH, 2012).

Assim, uma análise da estrutura de cobertura, possibilita o dimensionamento adequado de acordo com as características e necessidades especiais da edificação. Contudo, na atualidade, diversos profissionais da arquitetura e da engenharia projetam estruturas de cobertura, porém, não a dimensionam, aplicando somente o conhecimento empírico de seções para os diferentes elementos da cobertura, sem efetuar as verificações de segurança (ALVES, 2019). Neste sentido, há questionamentos, se há fundamentos consolidados para o dimensionamento, por quais razões, os profissionais continuam a projetar sem dimensionar as estruturas de telhado nas edificações, estando propícios a erros de projeto.

Diante disto, este trabalho visa dimensionar uma estrutura de cobertura para uma edificação unifamiliar segundo os critérios da ABNT NBR 7190/1997 e da ABNT NBR 6123/2013. A residência conta com uma cobertura, com área de 73,13 m², com duas águas com inclinação de 10%, utilizando para o dimensionamento os softwares AutoCAD, Ftool e Visual Ventos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Estrutura de madeira

As peças de madeira possuem resistências que diferem entre as espécies. Assim, quanto maior o número de defeitos em uma madeira, menor será a sua resistência (MOLITERNO, 2010). Desta maneira, as madeiras são classificadas em primeira, segunda e terceira categorias. A primeira categoria possui a melhor qualidade, é composta por árvores que não apresentam nós ou algum tipo de ataque biológico (CALIL JR e MOLINA, 2010). Já a segunda categoria possui uma menor qualidade, possuindo alguns nós e defeitos. Por fim, a

terceira categoria possui uma qualidade muito inferior à demais, com muitos nós e defeitos, diminuindo consideravelmente a sua resistência (DE BORTOLI, 2016).

Assim, as madeiras empregadas na estrutura do telhado devem possuir algumas características, como ser naturalmente resistentes ao ataque de insetos e ao apodrecimento, podendo ser previamente tratadas para que adquiriram esta resistência. Quando as madeiras são expostas as intempéries, elas necessitam ser tratadas com pintura impermeabilizante (FLACH, 2012).

Além demais, peças que sofreram esmagamentos ou outros danos não devem ser empregadas na estrutura pois, podem comprometer a sua segurança. Também não devem ser empregadas as madeiras verdes, devido ao alto teor de umidade; as madeiras que possuem defeitos como nós, que abrangem grande parte da peça, fendas exageradas, arqueamento acentuado e afins; as que não se adaptam corretamente nas ligações; e, aquelas que apresentam sinais de deterioração por ataque de insetos ou fungos (FLACH, 2012).

Ao se construir uma cobertura, o primeiro ponto a ser analisado é a parte estrutural e o desempenho, porém, os aspectos visual e estético possuem suma importância. Utilizando ABNT NBR 7190/1997, é possível dimensionar qualquer tipo de estrutura de madeira para qualquer edificação. Assim sendo, as características da madeira utilizada em estruturas de telhado, bem como as soluções técnicas utilizando este material estão descritas abaixo. A estrutura de madeira serrada é constituída pela estrutura principal e pela estrutura secundária. A estrutura principal por vez, é composta pelas tesouras, e a secundária, pelas ripas, caibros e terças (MOLITERNO, 2010).

2.2.1. Estrutura principal de apoio a estrutura: tesoura

A estrutura principal ou de apoio recebe e distribui as cargas da trama ao restante da edificação, podendo ser uma estrutura treliçada, maciça ou lamelar (DE BORTOLI, 2016). A carga da estrutura é composta pelo peso dos elementos estruturais da edificação, dos elementos construtivos fixos e das instalações permanentes (ABNT, 2019). Os valores de peso próprio são dados pela estrutura e a massa específica, que permitem avaliar as propriedades físicas e tecnológicas do material empregado e as suas dimensões, sendo definidos pela norma e pelo projeto (ALVES, 2019).

Dito isto, as tesouras são compostas pelo banzo superior e inferior, barras verticais ou montantes, diagonais e nós. Os banzos superiores e as diagonais são comprimidas e os montantes e banzos inferiores são tracionados (CALIL JR; MOLINA, 2010; MOLITERNO, 2010). A tesoura tipo Howe é a mais empregada na construção de telhados de madeira devido a proporcionar facilidade na execução e permitir realizar ligações das diagonais com os banzos, que são comumente pregadas e confere estabilidade a estrutura (MOLITERNO, 2010).

A maior parte das coberturas é construída em treliças ou tesouras com banzos inclinados, pois, elas se comportam bem quanto aos carregamentos impostos, podendo transferir cargas com pouca dificuldade. Contudo, há uma restrição quanto ao vão que pode ser aplicado. Em telhados de uma água é recomendado que o vão possua no máximo nove metros, enquanto em telhados de duas águas este vão pode variar de 12 a 15 metros (CALIL JR e MOLINA, 2010).

2.2.2. Estrutura secundária de apoio à estrutura

As cargas acidentais são o efeito do vento e as sobrecargas de manutenção (REBELLO, 2005). A força do vento é uma força variável e de curta duração (LUZ; SILVA, 2019). Segundo Moliterno (2010), é necessária uma estrutura de sustentação denominada contraventamento, para a ação das forças que atuam na estrutura. O contraventamento é formado por barras cruzadas que travam as tesouras ou treliças e impedem a sua rotação e deslocamento, resultando num conjunto estrutural rígido (FLACH, 2012).

Segundo a ABNT NBR 6123/2013, a ação do vento produz efeitos dinâmicos na estrutura. Para o seu cálculo, são usados coeficientes de pressão que consideram a topografia, a velocidade do vento na região e a ocupação da edificação (ABNT, 2013).

Os contraventamentos são necessários quando o comprimento teórico de referência exceda quarenta vezes a dimensão transversal correspondente (ABNT, 1997). Para que esta condição seja atendida e que se evite a instabilidade, podem ser necessários mais de um contraventamento por peça (DE BORTOLI, 2016). Os contraventamentos consideram uma construção sólida sob o telhado, que são dispostos sob um sistema de pilares e vigas engastados na fundação, comum às paredes de alvenaria em concreto armado (LOGSDON, 2002). Dito isto, a estrutura principal do telhado deve ser ancorada no corpo da edificação, através do emprego de peças metálicas fixadas em concreto, sendo que também podem ser empregadas vigas de madeira ou cintas de amarração de concreto (FLACH, 2012).

A estrutura secundária ou trama, é uma armação constituída de diferentes peças, posicionadas em direções perpendiculares para assentamento e acomodação das telhas. Estas, são formadas pelas ripas, caibros e terças. As telhas se apoiam sobre as ripas, que se apoia sobre os caibros, que se apoiam sobre vigas, denominadas terças, que descarregam as ações sobre as tesouras (MOLITERNO, 2010). Ainda, para receber a trama podem ser utilizados vários tipos de estruturas, dependendo do formato desejado para a cobertura.

2.2.3. Estrutura secundária de apoio as telhas

A estrutura secundária também é conhecida como trama, é constituído pelos elementos que recebem as telhas cerâmicas, de alumínio, de fibrocimento, madeira, ferro galvanizado, dentre outros materiais. O trama se apoia sobre as tesouras visando manter a estabilidade do conjunto. O trama de um telhado com telhas como as de fibrocimento, é constituído pelas terças que recebem as telhas (LOGSDON, 2002).

A terça é uma viga horizontal paralela ao beiral, dimensionadas à flexão oblíqua, apoiadas nas tesouras ou sobre paredes (MOLITERNO, 2010; CALIL JR; MOLINA, 2010). Às terças devem ser apoiadas próximas dos nós das tesouras, para que ela atue como uma treliça. Elas devem ser fixadas às tesouras através de chapuzes de madeira, tarugos de madeira, parafusos passantes, cantoneiras metálicas, dentre outros (FLACH, 2012). Além do mais, as terças também atuam como travamentos, diminuindo o comprimento de flambagem do banzo superior da tesoura. Devido a isto, as ligações entre as terça e as tesouras devem ser suficientemente resistentes (LOGSDON, 2002).

O espaçamento entre terças depende do tipo de telha empregada e da resistência e dimensões dos caibros, geralmente sendo aplicado 1,50 metros entre elas para telhas cerâmicas (LOGSDON, 2002; DE BORTOLI, 2016). Desta maneira, o tamanho do vão das terças influencia a quantidade de tesouras que serão empregadas (CALIL JR; MOLINA, 2010).

A execução da estrutura de madeira é habitualmente feita por um carpinteiro ou equipe de carpinteiros de forma artesanal. Não é necessário nenhum tipo de pré-fabricação, para mais, muitas vezes há a inexistência de um projeto, sendo a construção da estrutura completamente dependente do entendimento do executor. Desta maneira, o método construtivo em madeira possibilita grande flexibilidade a modificações (FLACH, 2012).

2.2. Determinação das cargas nas estruturas

As cargas são constituídas por todos os elementos inerentes à estrutura. O sistema estrutural de uma edificação deve ser capaz de resistir às variadas ações que atuam sobre ela: ações verticais e ações horizontais. Essas cargas podem agir dentro de determinadas circunstâncias, que podem ser classificadas mediante a sua ocorrência durante a vida da construção em carregamentos normal, especial, excepcional e de construção.

A carga permanente é formada pelo peso próprio da estrutura de madeira, sobrecarga e de equipamentos fixos sobrepostos a estrutura. A carga permanente será constituída pelo peso próprio da estrutura de madeira e por todas as sobrecargas fixas. Para determinar no projeto o peso próprio dos elementos estruturais, o peso próprio do material a ser utilizado foi multiplicado pela área da seção transversal da peça. Desta forma, foi realizado o cálculo por peça da cobertura.

As ações variáveis nas coberturas são aquelas que resultam do uso ou ocupação da edificação, tais como: sobrecargas em escadas e passarelas de manutenção, sobrecargas de instalações não permanentes, sobrecargas de equipamentos industriais e pontes rolantes. São também consideradas ações variáveis o vento, a variação de temperatura e as sobrecargas devidas ao empoçamento de águas pluviais na cobertura.

A principal carga acidental, que incide sobre o telhado, é provocada pelo vento. As considerações para a determinação das ações, devido ao vento são calculadas segundo a ABNT NBR 6123/2013. A ação do vento atua na cobertura e na fachada do edifício, depende da forma, das dimensões do edifício, da zona territorial e de onde o edifício se encontra inserido.

Segundo esta norma, a velocidade básica do vento, V_0 , é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano.

A velocidade V_0 , foi encontrada através do mapa de isopleias, que demonstra as velocidades básicas de todo o Brasil. Essas velocidades foram processadas estatisticamente, com base nos valores de velocidades máximas anuais medidas em cerca de 49 cidades brasileiras. ABNT NBR 6123/2013 desprezou velocidades inferiores a 30 m/s.

Um carregamento será especificado pelas ações em conjunto que não seja desprezível a possibilidade de atuação simultânea. Essas combinações devem ser feitas de variadas maneiras, para que sua situação menos favorável em cada carregamento seja determinada para a estrutura. Deve ser feita tantas combinações quanto necessárias para a definição da segurança para todos os estados limites, seja última ou de construção, da edificação (MOLITERNO, 2010).

2.3. Dimensionamento da estrutura

Segundo o EURODE 5, a norma brasileira introduziu o sistema de Classes de Resistência para simplificar a especificação do material na fase do projeto. Não é preciso adotar a madeira, que varia muito em resistência com a espécie, disponibilidade de mercado e região de construção. O proprietário da obra e seu fornecedor de madeira deverão se adequar à classe definida em projeto. Assim, há classes de resistência para as coníferas e para as dicotiledôneas.

Todas as peças serão de madeira serrada de 2ª categoria dicotiledônea, classe de resistência C40, carregamentos de longa duração, classes de umidade de 3 à 4. Já os coeficientes K_{mod} limitam a peça de madeira de acordo com a suas propriedades, e defeitos que podem ser encontrados na sua utilização.

Segundo a ABNT NBR 7190/1997, as propriedades da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica. Desta forma, através do estudo prévio do material é possível adequar a suas características utilizando os valores determinados na norma.

Para uma utilização adequada da madeira, algumas propriedades mecânicas devem ser vistoriadas, tais, como, o teor de umidade, densidade, resistência e módulo de elasticidade. O teor de umidade está diretamente ligado à consistência mecânica da madeira, que resulta no grau de trabalhabilidade da madeira. Conforme a ABNT NBR 7190/1997, o teor de umidade padrão de cálculo estrutural de projetos de madeira é de 12%.

2.3.1. Tesoura Treliçada

As tesouras também denominadas treliças de cobertura, tem a função de suportar todo o conjunto de ripas, caibros e terças, juntamente com toda disposição das telhas, e depositar por meio do sistema treliçado essas cargas nos pilares de apoio.

As vigas em treliças são empregadas devido as vantagens práticas e econômicas em face aos vãos teóricos e cargas apresentadas. Dado este fato, uma cadeia de barras triangular isolada comporta-se como um sólido rijo. Toda vez que a treliça for composta por triângulos susceptíveis de serem formados pela lei da justaposição, há uma estrutura indeformável ou isostática.

A treliça mais utilizada no Brasil para estruturas de telhados residenciais de madeiras é a tipo Howe, que pode vencer vãos até 18 metros. Nela, as barras verticais trabalham a tração, com esforços menores que as diagonais, que trabalham à compressão. Para a determinação dos esforços nas barras das treliças planas, foi utilizado o software Ftool.

Normalmente, a simples amarração das tesouras e terças funciona como uma malha de várias rótulas estável para a atuação de cargas permanentes e para o vento quando atua no mesmo plano das tesouras. Contudo, o vento também atua em outras direções, desequilibrando o conjunto.

A ABNT NBR 7190/1997, recomenda um valor quantificado em 3% da maior força normal de compressão das barras adjacentes no nó (junta). Essas forças deverão ser suportadas pelos montantes, e vigas transversais. Desta maneira, o contraventamento, onde através de diagonais cruzadas que trabalham à tração, funciona de modo a equilibrar as reações horizontais nas extremidades.

2.3.2. Terças

As terças são vigas de madeira que tem a função de sustentar todo conjunto de caibros, ripas e tipo de telhado distribuindo todos os carregamentos decorrentes desses conjuntos em pilares ou em tesouras. A distância das terças depende dos vãos dos caibros, e essas distancias devem respeitar os limites exigidos pela a ABNT NBR 7190/1997. A terça deve suportar esforço de flexão oblíqua, ou seja, os carregamentos serão distintos devido à inclinação do telhado.

Os espaçamentos mais comuns das terças nas coberturas com chapas onduladas de cimento-amianto, variam conforme o comprimento da chapa. Embora, as telhas de fibrocimento sejam materiais leves, a pouca inclinação da estrutura provoca grandes solicitações nas barras das tesouras.

Para coberturas com telhas metálicas, fibrocimento com outros modelos o cálculo a sucção do vento será transferido direto para o sistema de terças, no entanto, é exigido uma boa fixação das telhas nas terças, do contrário o ataque proveniente dos ventos irá remover as terças e telhas da estrutura. Já as terças que servem de sustentação dos caibros são escoradas nas tesouras, onde as cargas decorrentes das terças são descarregadas nesse sistema.

Um fator de grande importância está na colocação das terças, de modo que as cargas sejam aplicadas diretamente sobre os nós das tesouras, para que todas as barras trabalhem, exclusivamente com esforços axiais de compressão ou tração. Desta forma, primeiramente foi definido os carregamentos, onde o carregamento permanente em um telhado é definido pelo peso próprio do madeiramento e das telhas, e o carregamento variável, por sua vez, pelo peso da água absorvida pelas telhas e pela ação do vento.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Dados do projeto

Este trabalho consiste em dimensionar uma estrutura de cobertura, de madeira de uma edificação unifamiliar de padrão médio, que será construída na cidade de Sinop, MT. A residência conta com uma cobertura, com área de 73,13 m², com duas quedas de água, todas inclinadas a 10%.

O projeto arquitetônico foi elaborado no software Revit®, sendo a edificação composta por um pavimento térreo em alvenaria de tijolo, pilares e vigas de concreto armado em todo perímetro. O pé direito possui 3 metros e ela possui uma laje e platibanda. A edificação possui platibanda, de 0,85 metros de altura acima do respaldo das paredes perimetrais e 1,85 metros no volume da caixa d'água.

3.2. Dimensionamento

Neste trabalho, foi utilizado o Método dos Estados Limites, que visa disciplinar as especificações das ações e promover a análise da segurança, atendendo aos critérios de ruína e às condições de utilização. Os estados limites de uma estrutura são estados ou circunstâncias a partir dos quais a estrutura passa a apresentar desempenho incompatível com as finalidades de projeto e construção. Além disso, eles se subdividem em Estados Limites Últimos e Estados Limites de Utilização.

Desta forma, nas estruturas convencionais de madeira, deve-se obrigatoriamente considerar as ações: carga permanente, cargas acidentais verticais e vento. As cargas permanentes foram determinadas através do somatório dos pesos próprios da tesoura, terças e cobertura. Assim, a estrutura de uma cobertura em madeira com telhas de fibrocimento é determinada através do cálculo dos elementos estruturais na projeção do telhado, trama e estrutura treliçada. Deste modo, foram dimensionadas as terças e as tesouras (treliça de cobertura).

Para o cálculo das ações permanentes, foram utilizados os seguintes dados dos elementos geométricos:

- Vão entre apoios: 7,35 m
- Vão entre as tesouras: 2,82 m
- Altura da tesoura: 0,53 m
- Comprimento do banzo superior: $S = 3,71$ m

Para a avaliação do peso da cobertura, foi utilizado os dados especificados da Brasilit sobre as telhas de fibrocimento. Vale ressaltar que quanto maior a inclinação do telhado, maior será a quantidade do material de cobertura, e conseqüentemente, maior o seu peso próprio. Para simplificar o cálculo, é usual considerar a carga permanente atuando em projeção horizontal (planta). Nestas condições, a carga unitária da cobertura é dividida pelo cosseno do ângulo de inclinação.

Para seleção da telha a ser utilizada, foi analisado o vão máximo tolerado. A cobertura é composta por telhas onduladas de fibrocimento, adotadas, visando vencer os vãos da edificação de largura 3,53 m em cada água a ser coberta. Diante disso, a telha escolhida vence um vão máximo de 1,69 metros, no mais, essas telhas possuem qualidade, técnica de produção e facilidade de instalação. Esta telha foi escolhida devido a ser comumente utilizada na região de estudo em edificações com laje, e platibanda devido a apresentar um menor custo. Assim, a telha ondulada selecionada possui as seguintes especificações, segundo o catálogo técnico da BRASILIT (2021):

- Largura da chapa ondulada: 1,10 m;
- Recobrimento longitudinal: 0,25 m;
- Recobrimento lateral: 0,05 m (1/4 de onda);
- Cumeeira normal de 5° (1,1 x 0,329 m): 0,36 kN/unidade;
- Espessura da chapa $e = 6$ mm;

- Peso unitário da chapa: 0,18 kN/m²;
- Consumo: 0,54 telhas/m²;
- Inclinação das águas: 10%.

Quanto ao número de apoios ou terças para as telhas onduladas, variam em função do máximo vão livre, conforme a espessura e o comprimento da telha, onde para a telha escolhida, serão necessários pelo menos três apoios. As telhas onduladas Brasilit devem ser aplicadas nas coberturas com inclinação a partir de 5° (8,7%). Além disso, para coberturas com telhas de fibrocimento, dispensam-se ripas e caibros.

Os parafusos para fixação do telhado na estrutura foram selecionados de acordo com a especificação técnica da Brasilit, a fabricante das telhas. Para fixação na estrutura de madeira, indica-se o uso de parafusos com diâmetros de 8 mm x 230 mm ou 250 mm, e para a fixação em estrutura metálica, utiliza-se ganchos com rosca com 8 mm de diâmetro. Para estes itens, foi considerado um montante de 3% do peso próprio da área da estrutura analisada.

Para determinar o peso do madeiramento da cobertura, a madeira utilizada neste estudo de caso, possui as características demonstradas na Tabela 1. Desta forma, é possível a utilização de várias espécies com propriedades similares em um mesmo projeto. A madeira utilizada para a estrutura é a dicotiledônea Angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum*) serrada, com classe de resistência C40, adquirindo os valores médios de seus esforços $f_{cm} = 59,8$ MPa; $f_{tm} = 75,5$ MPa; $f_{vm} = 8,8$ MPa e $E_{cm} = 12912$ MPa; e o peso específico de $\rho = 6,94$ kN/m³ para a espécie com classe de umidade 1, com carregando de longa duração e para efeito de segurança de 2ª categoria.

Dicotiledôneas					
(Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classe	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	E_{c0m} (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m ³)
C40	40	6	19500	750	950

Tabela 1: Classes de resistência das dicotiledôneas.
Fonte: Adaptado de NBR 7190 (1997).

Para o dimensionamento das terças, foi utilizada as informações da Tabela 2 para se dar o início, a fim de observar se as verificações dos critérios da ABNT NBR 7190/1997 são atendidas ou não. Caso não forem atendidas, as seções serão aumentadas.

Comprimento (m)	Vão entre tesouras (m)	Bitolas (cm)
2,5 a 5 m	< 2,5	7,5 x 7,5
	2,5 < x < 3,5	7,5 x 10
	3,5 < x < 5	7,5 x 12,5

Tabela 2: Seções para o dimensionamento das terças.

Para as verificações do dimensionamento, foi utilizado o software Jwood®, que é uma ferramenta de verificação e dimensionamento de estruturas de madeira segundo a ABNT NBR 7190/1997. O programa é baseado em um ciclo de etapas onde o usuário deve caracterizar as constantes, que serão empregadas nos campos da interface. Esses valores são didáticos, seguindo a ordem de estudo da referida norma, na qual exemplifica categoricamente cada análise, e verificação para o cálculo de uma estrutura em madeira. O diagnóstico é obtido pela escolha de dados como a classe de resistência da madeira, de geometria, coeficientes de modificação, dentre outros, e compete dos aspectos necessários para viabilidade do sistema estrutural.

Similarmente, através da Tabela 3, partiu-se para o dimensionamento dos elementos da tesoura treliçada.

Vão	Banzo Superior	Banzo inferior	Montante principal	Diagonal	Montantes
≤ 10 m	3" x 4"	3" x 4"	3" x 4"	3" x 3"	3" x 3"
$10 \leq L \leq 12,5$ m	3" x 6"	3" x 6"	3" x 6"	3" x 3"	3" x 3"
$12,5 \leq L \leq 17$ m	3" x 8"	3" x 8"	3" x 8"	3" x 4"	3" x 4"

Tabela 3: Seções para o dimensionamento das tesouras.

Além disso, para a determinação dos esforços de tração e compressão nos elementos da tesoura treliçada, foi utilizado o software Ftool®, que foi criado para análise de diversos tipos de estruturas planas. O programa tem como funcionalidade, analisar de forma simples, modelos de estruturas concedendo os resultados técnicos, diagramas e traçados de interferência. De posse de informações sobre o peso próprio de elementos como as terças,

tesouras, telhas e sobrecargas, o somatório destes itens foi submetido a combinação de ações, a fim de verificar o cenário mais crítico.

Para a determinação das cargas de vento, foi utilizado os programas Visualventos® que opera segundo a ABNT NBR 6193/2013. O programa realiza cálculos de esforços devido ao vento de projeções retangulares, e edificações com modelos de cobertura em duas águas, seguindo os conceitos técnicos presente na normatização. Desta forma, o software analisa os efeitos dinâmicos naturais do vento, que entram em contato com a edificação pela parte externa. O software é subdividido em etapas, onde o usuário deve estabelecer valores para cada campo, como as constantes geométricas da planta e os valores meteorológicos. Sendo assim, o programa analisa o comportamento da estrutura devido ao vento, e verifica se a ela está em conformidade com os padrões da ABNT NBR 6123/1988.

Para as cargas acidentais verticais, foi utilizada a ABNT NBR 6120/1980, que dispõe das cargas para o cálculo de estrutura de edificações. Além disso, vale ressaltar que estas cargas devem ser consideradas de longa duração, e que, devem ser dispostas nas posições mais desfavoráveis da estrutura. Devido as exigências da norma ABNT NBR 7190/1997, foi adicionado 1 kN de carga acidental na região mais desfavorável da peça, essa carga considera efeitos de impactos verticais e manutenção do telhado, bem como, dutos de renovação de ar, sprinklers, caixa d'água, dentre outros. Também, as cargas para dos passadiços para inspeção e manutenção dos equipamentos.

Assim, foi determinado o carregamento, que é especificado pelo conjunto das ações que têm probabilidade não desprezível de atuação simultânea. Assim, e cada tipo de carregamento as ações devem ser combinadas de diferentes maneiras, a fim de se determinar os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A madeira de classe C40, possui propriedades que possibilitam o seu uso favorável, no meio estrutural em determinadas construções isostáticas e hiperestáticas. Assim sendo, para o cálculo do coeficiente modificação, foi empregado valores dependentes das propriedades mecânicas da madeira, onde $K_{mod} = 0,448$.

4.1. Área de Influência

Para o cálculo das concentrações, foi escolhido a treliça mais solicitada no sistema, sendo ela a tesoura intermediária do telhado de menor água. Para fins de cálculo, a área de concentração invade o espaçamento da terça vezes o seu vão de cálculo.

A área de influência foi obtida pela multiplicação da distância entre as tesouras pelo comprimento do banzo. Assim, $A_{inf} = 10,46 \text{ m}^2$.

Por vez, o peso das telhas foi determinado pela multiplicação de elementos como a área de influência, o consumo de telha por metro quadrado, o peso das telhas e o número de lados do telhado. Desta forma, $P_{telhas} = 203,34 \text{ kg}$.

Já a sobrecarga é calculada através da multiplicação desta, pela área de influência e o número de lados. Logo, $P_{sobrecarga} = 2092 \text{ kg}$.

4.2. Peso Próprio das Terças

Para o dimensionamento inicial, foi adotado a seção de 7,5 x 10 cm. Assim, para a determinação do seu peso próprio, a área da seção transversal da peça foi multiplicada pelo comprimento da terça, pela densidade da madeira e pelo número de terças na estrutura de cobertura, obtendo $P_{terças} = 140,65 \text{ kg}$.

4.3. Peso Próprio da Tesoura

Todos os componentes da tesoura treliçada Howe devem ser verificados de acordo com a ABNT NBR 7190/1997, e assim, este estudo traz a estrutura, a segurança e viabilidade na utilização das seções, e itens necessários para construção da cobertura em madeira.

A treliça Howe é uma das mais utilizadas para construção de tesouras no Brasil, devido ao seu desenho geométrico. As ações descarregadas nesta treliça são as cargas decorrentes da gravidade, peso próprio das terças, e as forças devido ao vento. Nela, o montante e o banzo inferior recebem esforços de tração, e, as diagonais e banzo superior recebem esforços de compressão.

Para o emprego construtivo de qualquer material é indispensável a verificação de sua resistência mecânica. Esta verificação do comportamento da madeira empregada na base de cálculo, é fundamental para a estabilidade da estrutura, pois, o estudo da resistência de cálculo é obtido pelas possíveis ações atuantes na peça.

A tesoura treliçada é um sistema estrutural, responsável pela distribuição dos esforços da trama para os apoios. Neste estudo, todos os valores das cargas normais foram calculados utilizando o software Ftool®.

A Figura 1 demonstra a nomenclatura utilizada para o cálculo das forças atuantes nas barras da treliça. Essa numeração possibilita o estudo parcial de cada barra. Pela simetria da tesoura, convém somente a análise de um lado evitando assim cálculos desnecessários.

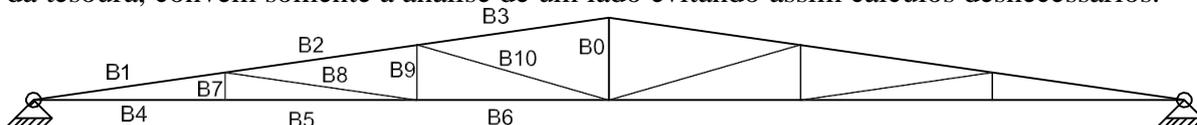


Figura 1: Numeração das barras da treliça.

Similarmente às terças é o que ocorre com os elementos da tesoura, quanto ao seu dimensionamento. Quanto as diagonais, suas dimensões foram obtidos através de trigonometria, e os montantes, através da semelhança entre triângulos. Desta forma, o peso próprio total da cobertura foi de $PP_{Total} = 2603,33$ kg.

Para a determinação da carga pontual devido as ações permanentes concentradas no banzo superior, pela treliça ser simétrica no espaçamento das peças, a carga tem valor constante em todos os nós. Desta forma, a concentração permanente foi obtida pelo peso próprio da terça e dos elementos da cobertura, multiplicado pelo vão.

4.4. Combinação de Ações

Para cálculo das cargas, foram consideradas cargas permanentes da estrutura e cargas acidentais, considerando valores de suas seções transversais, e pesos específicos de cada peça.

Para o emprego construtivo de qualquer material, é indispensável a verificação de sua resistência mecânica, essa averiguação do comportamento da madeira empregada na base de cálculo, é de suma importância para estabilidade da estrutura, uma vez que o estudo da resistência de cálculo se dá pelas possíveis ações atuantes na peça.

4.4.1 Carga acidental de vento

Para o cálculo das ações variáveis do vento foi utilizado o software VisualVentos®. Ao incidir sobre uma edificação, o vento, devido a sua natureza, provoca pressões ou sucções. Essas sobrepessões ou sucções dependem exclusivamente da forma, e da proporção da construção, e da localização das aberturas. Para a cidade de Sinop, a velocidade básica do vento é de 30 m/s, onde, considerando os fatores topográfico, de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e relevo, resultou em uma velocidade característica do vento de 23,94 m/s.

Para cálculo dos coeficientes de pressão, foram analisados casos frontais e laterais aedificação seguindo o procedimento da ABNT NBR 6123/2013, e levando em consideração as áreas das aberturas fixas.

Quanto aos coeficientes de pressão e forma externos, para as paredes laterais e frontais, e para a cobertura, os valores positivos indicam sobrepressão, e os valores negativos sucção, para estruturas com telhas fixadas, o cálculo da força do vento leva em montante a sobrepressão e sucção. Para ambos os C_{pi} , existe uma sobrepressão na parede esquerda da edificação quando o vento está a 90°, e para todas as outras situações, existe sucção. A maior zona de sucção do telhado pode ser observada no lado esquerdo, quando $C_{pi} = 0,20$ e o vento está a 90°.

A força devida ao vento através dos coeficientes de forma é de 1,44 tf e, além disso, o C_{pe} máximo é de -48,20 kgf/m², ou seja, as telhas devem resistir a esta força para não serem arrancadas pela força de sucção do vento. Por fim, a carga variável de vento (ou pressão dinâmica), que poderá incidir sobre a edificação é de 0,35 kN/m².

Para a determinação da concentração devido a carga variável, foram adotadas as cargas de vento mais críticas encontradas pela análise do programa VisualVentos®, para 0° e 90° nos telhados especificada pela norma, ambas, também multiplicadas pela área de influência.

$$V_1 = -2,90 * 2,82 = -8,18 \text{ kN}$$

$$V_2 = -2,81 * 2,82 = -7,92 \text{ kN}$$

4.4.2 Sobrecarga Acidental

Devido as exigências da norma ABNT NBR 7190/1997, foi adicionado 1 kN de carga acidental na região mais desfavorável da peça, essa carga considera efeitos de impactos verticais e manutenção do telhado, conforme calculado no item 4.1.3.

4.4.3 Carregamentos no Sistema

Devido ao programa solicitar a entrada dos carregamentos em kN/m, foi necessário a transformação da carga pontual em carga distribuída através da sua divisão pelo espaçamento dos vãos entre as terças de 1,23 m, chegando aos seguintes valores:

- Carga permanente $F_{gk} = 0,42 \text{ kN/m}$
- Carga acidental $F_{qk} = 1,70 \text{ kN/m}$
- Vento $F_{wk} = -8,18 \text{ kN/m}$
- Inclinação = $5,71^\circ$

4.4.4 Cálculo da Combinações de Ações

Feito o cálculo das concentrações na tesoura, procedeu-se para o cálculo das combinações de ações para estado de limite último. Assim, estão representadas como ação variável principal a sobrecarga acidental (N_{d1}) e o vento 90° (N_{d2}), que foi o mais crítico da situação.

Para determinar quais coeficientes da norma ABNT NBR 7190/1997 deveriam ser empregados, foi calculado a variabilidade do peso próprio. Assim, verificou-se que $Variab = \frac{2,60}{100} = 0,026$ representa ações de grande variabilidade, onde o peso próprio da estrutura não supera 75% da totalidade dos pesos permanentes.

Assim, para os efeitos desfavoráveis das combinações normais, adotou-se o coeficiente de majoração de 1,4. Já para as combinações de ações variáveis, foi adotado o coeficiente de 1,4 para combinações normais. Quanto aos fatores de combinação, adotou-se 0,5 para a pressão dinâmica do vento, e 0,4 para a sobrecarga devido a não haver predominância de pesos de equipamentos fixos, nem elevadas concentrações de pessoas.

$$N_{d1} = -2,09 \text{ kN}$$

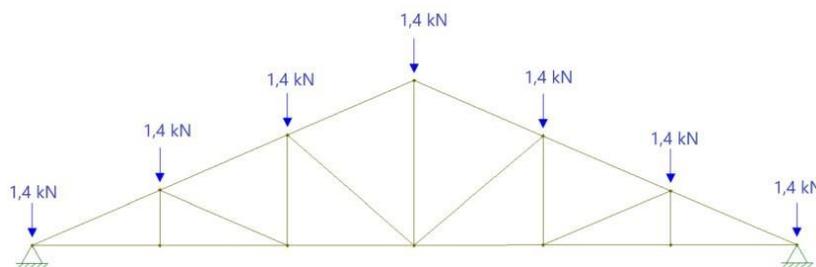
$$N_{d2} = -6,70 \text{ kN}$$

Após a combinação das ações, considerando o vento como variável principal e também a sobrecarga como variável principal, pode-se concluir que o cenário crítico é representado pelo vento como variável principal, resultando em uma carga pontual de -6,70 kN. Desta forma, este valor foi majorado em 40% resultando em -9,38 kN.

4.5. Carga Final

Obtido o cenário crítico majorado, ele foi multiplicado por 3% de peso de elementos de ligação, e dividido pelo número de nós (sete). Assim, foram definidos os esforços nos nós da treliça do telhado, resultando em -1,38 kN por nó. Desta forma, através do software Ftool® foi possível dimensionar o sistema estrutural isostático conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2: Modelo de cálculo da treliça.



Esse modelo de cálculo está de acordo com os fundamentos básicos da treliça Howe, onde para o estudo do comportamento da treliça, são admitidos apenas esforços de tração e compressão.

4.6. Verificações no JWood®

4.6.1. Terças

Para fins construtivos da terça, deve-se considerar a variação de comprimento das terças, onde terças com maiores dimensões acarretam maiores valores de cargas alienadas nas tesouras, e terças com menores vãos ocasionam menores esforços aumentando o número de tesouras para a edificação. Assim, quanto menor o comprimento das terças, menores vão ser as distâncias de flexão proporcionando menores valores transferidos nas tesouras. Assim, é mais viável aumentar as tesouras e diminuir o vão das terças.

A estabilidade das terças é garantida nas tesouras com apoios nas duas direções. Neste projeto, as terças vencem um vão de 1,23 m entre elas e 2,82 m na direção longitudinal da estrutura de cobertura, bem como seção 7,5 x 10 cm. Para verificação do trama, uma terça intermediária foi analisada devido a ser a peça mais solicitada deste sistema estrutural. Para efeito de estabilidade, foi avaliado a condição de flexão oblíqua pelo fato de a peça estar inclinada, através do software Jwood®.

Para a definição das exigências impostas ao dimensionamento, faz o cálculo da esbeltez, pois, a estabilidade das peças de madeira está relacionada basicamente aos efeitos de excentricidade provocado pelos os esforços de compressão exercidos. Desta forma, conforme a ABNT NBR 7190/1997, estas peças são consideradas esbeltas, sendo obtidos $\lambda_x = 0,977$ e $\lambda_y = 1,303$.

Por vez, a inércia de uma área retangular é a capacidade que o corpo tem de resistir a esforços permanentes e temporários. Ela é utilizada no cálculo do módulo de resistência, que é determinado para efeitos de segurança, quando os momentos fletores que atuam no plano de atuação tem um dos eixos centrais de inércia. Foram obtidos os valores de $W_x = 125 \text{ cm}^3$ e $W_y = 93,75 \text{ cm}^3$.

Para a verificação das solicitações, ou seja, da resistência mecânica a tração e compressão da madeira, foi utilizada a Equação 10. Desta forma, o coeficiente de ponderação da madeira no estado limite último (γ_w) minora a resistência da madeira empregada com o intuito de trazer mais segurança para base de cálculo, sendo obtidos $f_{td} = 74,67 \text{ kN/cm}^2$ e $f_{cd} = 1 \text{ kN/cm}^2$.

Para cálculo das tensões, foi considerado o maior valor resistente entre a tração e compressão. Para os cálculos de flexão, primeiramente foi determinado o módulo de elasticidade efetivo, resultando em $E_{ef} = 1365 \text{ kN/cm}^2$.

Já para o cálculo de peças estruturais é fundamental o estudo do maior momento fletor solicitante em todo o comprimento de aplicação da carga, por que é por meio dessa constante que se verifica a resistência da peça devido a essa ação. Quando uma peça é solicitada a qualquer carga que esteja perpendicular ao seu eixo axial gera-se momento fletor, essa solicitação proporciona ao elemento fenômeno de flexão, que deve ser verificado segundo as consoantes da norma técnica (MOLITERNO, 2010).

Para o cálculo dos esforços cortante foi utilizado as condições de carga distribuída e pontual, obtendo $V_{xd} = -0,11 \text{ kN.m}$ e $V_{yd} = 0 \text{ kN.m}$

A tensão normal máxima devido a flexão é oriunda de esforços internos que acontece na região da seção transversal, mas distanciada do eixo nulo da peça. Essa tensão é conhecida a partir da determinação da escolha das peças estruturais, e do cálculo do carregamento em cada parte, mediante a esses aspectos a tensão normal deve ser conceituada como menor que a tensão resistente da peça (HIBBELER, 2010). O cálculo da tensão oriunda de esforços internos acontece na região da seção transversal, mas distante do eixo nulo da peça. Pode-se verificar que nesta peça não foi verificado tensão máxima.

As flechas são ditas como deslocamentos nas seções das vigas, esses deslocamentos se outorgam devido a carga aplicada na seção transversal, por esse motivo os deslocamentos

são analisados para que não excedam o limite permitido pela norma, caso contrário o sistema estrutural deve ser modificado para atender essa exigência (MOLITERNO, 2010). Similarmente ao momento, não foram verificadas deformações na terça.

A resistência de projeto como visto anteriormente é de $f_{cd} = 1 \text{ kN/cm}^2$, onde a compressão foi o maior valor resistente entre os valores de cálculo entre a tração e compressão. Já o coeficiente de correção médio foi de $\beta_M = 6,68$.

Segundo a NBR 7190, é dispensado da comprovação da segurança ao estado limite último de instabilidade lateral quando forem satisfeitas as seguintes condições:

- Quando os apoios de extremidade da viga impedem a rotação de suas seções extremas em torno do eixo longitudinal de peça;
- Existem travamentos ao longo do comprimento L da viga, afastado entre si de uma distância não maior que L1. Desta forma, $0,38 \leq 102,20$.

Mediante a essa verificação da flambagem, a viga é classificada como estável a solicitações externas, onde as suas deformações não ultrapassam o limite máximo de estabilidade.

Moliterno (2010), considera que, na condição de o plano de atuação do momento fletor não conter nenhum dos eixos centrais de inércia, a exigência de segurança é dada pela condição mais pesada da norma, tanto para tensões de compressão ou tração, sendo expressada por

$$0 \leq 1,00.$$

Segundo a ABNT NBR 7190/1997, em vigas de esforços cortantes que geram o efeito de flexão, o critério de segurança a ser adotado em relação as tensões de cisalhamento (τ) para a sua verificação foi de $0 \leq 0,19$. Através do critério apresentado, pode-se observar que a tensão cisalhante solicitante é inferior a tensão resistente da madeira, sucedendo a um dimensionamento fundamentado.

Por fim, a verificação da flecha limite na situação biapoiada, deve atender a especificação da norma, onde, $0 \leq 0,01 \text{ cm}$.

O dimensionamento da terça também atende aos critérios da norma sobre a verificação da flecha. Com base no encaixe de todas as considerações exigidas pela a norma pode-se dar prosseguimento nos cálculos da tesoura, e estabelecer para terça todas as dimensões adotadas.

4.6.2. Cálculo da Tesoura

Após a análise estrutural do modelo de cálculo com o software Ftool®, foi obtido os esforços normais da treliça, como se pode observar na Tabela 4, seguindo a numeração de cada barra.

Elemento	Barras	Esforços Normais		Seções (cm)
		Compressão	Tração	
Montante principal	B0	-	2,75	7,5 x 10
	B1	-8,72	-	
Banzo superior	B2	-6,96	-	7,5 x 10
	B3	-5,21	-	
	B4	-	0,55	
Banzo inferior	B5	-	0,55	7,5 x 10
	B6	-1,06	-	
	B7	0	0	
Montante 1	B7	0	0	7,5 x 7,5
Montante 2	B9	-	0,68	7,5 x 7,5
Diagonal 1	B8	-1,75	-	7,5 x 7,5
Diagonal 2	B10	-2,11	-	7,5 x 7,5

Tabela 3: Tabela geral de esforços normais.

Com o êxito na verificação da peça principal da trama, o seguinte tópico do memorial define se as seções adotadas na treliça são satisfatórias segundo as especialidades da ABN NBR 7190/1997. Na sequência, procedeu-se com as verificações de dimensionamento.

4.7.1.1 Verificação do esforço máximo de compressão

Pode-se observar que a Tabela 4 demonstra os esforços solicitados nas barras pelo peso próprio e acidental, sendo solicitadas por cargas de compressão e de tração. Da mesma forma, para cada categoria de elemento da tesoura treliçada, foram calculados os esforços de tração onde o resultado do dimensionamento pode ser observado na Tabela 5.

A verificação é dita satisfeita por que a relação da tensão normal axial com a tensão do momento fletor sobre a tensão resistente da madeira é inferior a 1,00. No entanto, a adoção das referidas seções transversais de 7,5 x 10 cm e 7,5 x 7,5 cm para as peças comprimidas da treliça é aceitável conforme as exigências da norma ABNT NBR 7190/1997.

		Unidades	B1	B2	B3	B6	B8	B10
Geometria		cm	7,5 x 10	7,5 x 10	7,5 x 10	7,5 x 10	7,5 x 7,5	7,5 x 7,5
Comprimento		m	1,23	1,23	1,23	2,45	2,46	2,47
Resistência	ftd	kN	74.67	74.67	74.67	74.67	56.00	56.00
	fcd	kN/cm ²	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956
E0,05	Eef	kN/cm ²	1365.00	1365.00	1365.00	1365.00	1365.00	1365.00
	Mxd	kN.m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Solicitações Máximas	Myd	kN.m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Vxd	kN	-0,05	-0,05	-0,05	-0,10	-0,10	-0,01
	Vyd	kN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tensões Finais	x	kN/cm ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	y	kN/cm ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deformações	x	cm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	y	cm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Segurança à flexão oblíqua			Passou	Passou	Passou	Passou	Passou	Passou

Tabela 1: Dimensionamento dos elementos a compressão.

4.7.1.2 Verificação do esforço máximo de tração

Os ensaios de flexão são necessárias precauções para eliminar o atrito nos apoios, e para que as forças aplicadas não provoquem esmagamento por compressão normal. Desta forma, os resultados das verificações a tração são apresentados na Tabela 6.

		Unidades	B0	B4	B5	B9
Geometria		cm	7,5 x 10	7,5 x 10	7,5 x 10	7,5 x 7,5
Comprimento		m	0,53	2,45	2,45	0,35
Resistência	ftd	kN	74.67	74.67	74.67	56.00
	fgd	kN/cm ²	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956
E0,05	Eef	kN/cm ²	1365.00	1365.00	1365.00	1365.00
	Mxd	kN.m	0,00	0,00	0,00	0,00
Solicitações Máximas	Myd	kN.m	0,00	0,00	0,00	0,00
	Vxd	kN	-0,02	-0,10	-0,10	-0,01
	Vyd	kN	0,00	0,00	0,00	0,00
Tensões Finais	x	kN/cm ²	0,00	0,00	0,00	0,00
	y	kN/cm ²	0,00	0,00	0,00	0,00
Deformações	x	cm	0,00	0,00	0,00	0,00
	y	cm	0,00	0,00	0,00	0,00
Segurança à flexão oblíqua			Passou	Passou	Passou	Passou

Tabela 2: Dimensionamento dos elementos a tração.

A verificação das peças a tração é dita satisfeita pois, a relação da tensão normal axial com a tensão do momento fletor sobre a tensão resistente da madeira é inferior a 1,00. Em suma, é possível concluir que as seções de peça das terças e da treliça passaram no dimensionamento segundo os critérios da norma ABNT NBR 7190/1997.

5. CONCLUSÃO

As árvores para o corte serrado devem ser adquiridas na sua maturidade, onde o seu cerne está em maior quantidade no tronco, proporcionando uma matéria prima de maior qualidade e conseqüentemente de maior resistência para os esforços solicitados.

Conforme a norma ABNT NBR 7190/1997, para madeiras em relação de estado limites últimos, a segurança de suas peças estruturais não deve depender diretamente da resistência a tração normal as fibras do material. Quando essas tensões atingirem valores significativos de Tração Normal as Fibras, deve-se empregar dispositivos que impeçam a ruptura decorrente dessas tensões. Em vista dos argumentos apresentados, o memorial de cálculo supriu a expectativa da metodologia. O Angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum*) serrado foi definido em todas as peças da cobertura por ser uma madeira com alto nível de resistência, permitindo a adesão de seções transversais comerciais, e também por ser uma das madeiras mais usadas na construção civil ultimamente. Além disso, a sua dureza mecânica permite o emprego de ligações por entalhes, propriedade avaliada para o critério da escolha dessa madeira no projeto estudado.

Por fim, o projeto cumpre seus objetivos, apresentados de forma técnica as condicionantes para o emprego de uma cobertura em madeira. Utilizando de seções comerciais e atribui perante as verificações a confiabilidade de adotar esse sistema estrutural, dirigindo então, aos profissionais da área um método transparente com o uso da madeira na construção

de coberturas com telhas onduladas de fibrocimento.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT. **NBR 15575-5: Edificações habitacionais – Desempenho.** Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: 2013.

ABNT. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações,** Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2019.

ALVES, N. **Análise comparativa de estrutura de aço e madeira para telhado.** Iturama: 2019.

COGO, J.; TONON, P. **Análise comparativa entre coberturas de aço e de madeira: uma avaliação entre o tradicional e o inovador.** Araraquara: 2012.

DE BORTOLI, C. **Estudo comparativo de tesouras em madeira para coberturas variando-se o vão e o tipo de telha.** Pato Branco: 2016.

DINIZ, D. **Estruturas de madeira e de aço para telhados: vantagens e desvantagens do uso na engenharia civil.** Angicos: 2018.

FLACH, R. S. **Estruturas para telhados: análise técnica de soluções.** Porto Alegre: UFRS, 2012.

LOGSDON, N. **Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997.** Cuiabá: 2002.

LUZ, P.; SILVA, D. **Estudo da viabilidade econômica de telhados residenciais em estruturas de aço e de madeira.** 2019.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de.** São Paulo: v. 4, 2010. PFEIL, W. **Estruturas de madeira: dimensionamento segundo as normas brasileiras NB11 e os modernos critérios das normas alemãs e americanas.** Rio de Janeiro: 2003.

REBELLO, Y. **Estruturas de aço, concreto e madeira: atendimento da expectativa dimensional.** São Paulo: 2005.