

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
DOUGLAS MESQUITA DE PAULA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE QUANTITATIVO DE MATERIAL UTILIZADO
EM VIGAS DE AÇO E VIGAS DE MADEIRA PARA PÓRTICOS DE COBERTURA**

VARGINHA
2021

DOUGLAS MESQUITA DE PAULA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE QUANTITATIVO DE MATERIAL UTILIZADO
EM VIGAS DE AÇO E VIGAS DE MADEIRA PARA PÓRTICOS DE COBERTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS MG, como pre-requisito para obtenção de grau de bacharel com a orientação do Especialista Matheus Henrique Pereira.

**VARGINHA
2021**

DOUGLAS MESQUITA DE PAULA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE QUANTITATIVO DE MATERIAL UTILIZADO
EM VIGAS DE AÇO E VIGAS DE MADEIRA PARA PÓRTICOS DE COBERTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS MG, como pré requisito para obtenção de grau de bacharel com a orientação do Especialista Matheus Henrique Pereira.

Aprovado em:

Prof.

Prof.

Prof.

OBS:

Dedico este trabalho de conclusão de curso primeiramente à Deus, pois sem Ele não somos nada. Depois à minha esposa Luana Prado que sempre acreditou em meus sonhos e me deu força para que eles aconteçam. Também à minha mãe Rita de Cássia Mesquita que está sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento vai primeira à Deus por minha vida e por me inspirar para continuar sempre. À minha mãe que me apoia, me ensina, me direciona, me incentiva e principalmente me apoiou nestes cinco anos de estudos. À minha esposa que sempre carinhosa, compreensiva se fez paciente nas minhas horas de desânimo, sempre me incentivando e me amando. Aos meus amigos que conquistei nessa caminhada.

RESUMO

As estruturas metálicas vêm ganhando espaço na área civil, é comum encontrar estruturas desse modelo em projetos, por se tratar de um produto capaz de atender a demanda, elas se destacam por serem estruturas de rápida execução, são formadas por elementos de aço industrializado, podendo ser montadas no local da obra ou pré-montadas e transportadas até a obra, proporciona organização no canteiro de obra e quase não gera desperdício de material. As estruturas metálicas promovem maior precisão ao projeto, por serem produtos industrializados, adquirem maior conformidade em suas peças e o aço é um produto 100% reciclável. Possuindo essas qualidades pode ser viável o uso deste modelo de estrutura em telhados. O objetivo deste trabalho foi demonstrar as características de cada elemento estrutural de um telhado, observando as vantagens e desvantagens de cada tipo de estrutura para poder viabilizar o seu uso. Para isso foi realizado um estudo de caso e uma pesquisa bibliográfica, com relação à estrutura de um telhado de duas águas, composto por telhas coloniais, decorrendo cálculos das forças atuantes nesta estrutura e foi calculado o peso final da estrutura, seu tempo de execução e seu custo final.

Palavras-chaves: Viga de aço; Viga de madeira

ABSTRACT

Metal structures have been gaining space in the civil area, it is common to find structures of this model in projects, as it is a product capable of meeting the demand, they stand out for being structures of quick execution, they are formed by industrialized steel elements, and may be assembled at the job site or pre-assembled and transported to the job, it provides organization at the job site and generates almost no material waste. Metal structures provide greater precision to the project, as they are industrialized products, acquire greater conformity in their parts, and steel is a 100% recyclable product. Possessing these qualities it may be feasible to use this model of structure on roofs. The objective of this work was to demonstrate the characteristics of each structural element of a roof, observing the advantages and disadvantages of each type of structure in order to enable its use. For this, a case study and a bibliographical research was carried out, in relation to the structure of a gable roof, composed of colonial tiles, following calculations of the forces acting on this structure and the final weight of the structure, its execution time and your final cost.

Keyword: Steel Bean; Wooden bean

LISTAS DE EQUAÇÃO

| | |
|--|----|
| Equação 1 Velocidade característica do vento..... | 29 |
| Equação 2 Pressão dinâmica do vento..... | 29 |
| Equação 3 Determinação das forças atuantes do vento a 0°..... | 33 |
| Equação 4 Determinação das forças atuantes do vento a 90°..... | 33 |
| Equação 5 Peso próprio da ripa..... | 37 |
| Equação 6 Peso próprio do caibro..... | 37 |
| Equação 7 Carregamento da ripa e caibro por m ² | 37 |
| Equação 8 Carregamento da telha por m ² | 38 |
| Equação 9 Módulo de resistência solicitante de cálculo..... | 39 |
| Equação 10 Módulo de resistência resistente de cálculo..... | 40 |
| Equação 11 Carregamento devido ao peso próprio da telha, ripa, caibro e terça..... | 41 |
| Equação 12 Carregamento devido à sobrecarga..... | 42 |
| Equação 13 Força na horizontal devido ao vento à 0°..... | 43 |
| Equação 14 Força na vertical devido ao vento à 0°..... | 43 |
| Equação 15 Força na horizontal devido ao vento à 90°..... | 43 |
| Equação 16 Força na vertical devido ao vento à 90°..... | 43 |
| Equação 17 Força na horizontal devido ao vento à 90°..... | 44 |
| Equação 18 Força na vertical devido ao vento à 90°..... | 44 |
| Equação 19 Combinações últimas referente a ações permanentes e variáveis..... | 45 |
| Equação 20 Inércia em torno do eixo Y..... | 46 |
| Equação 21 Inércia em torno do eixo X..... | 46 |
| Equação 22 Verificação da esbeltez do perfil..... | 46 |
| Equação 23 Raio de geração em torno do eixo Y..... | 47 |
| Equação 24 Raio de geração em torno do eixo X..... | 47 |
| Equação 25 Força axial de compressão resistente de cálculo..... | 48 |
| Equação 26 Índice de esbeltez reduzido..... | 48 |
| Equação 27 Força axial de flambagem elástica..... | 48 |
| Equação 28 Parâmetro de esbeltez..... | 49 |
| Equação 29 Parâmetro de Esbeltez correspondente à plastificação..... | 49 |
| Equação 30 Momento fletor de plastificação..... | 49 |
| Equação 31 Módulo plástico de uma sessão tubular retangular..... | 50 |

| | |
|---|----|
| Equação 32 Constante de seção tubular retangular..... | 50 |
| Equação 33 Parâmetro de Esbeltez correspondente ao início do escoamento..... | 50 |
| Equação 34 Momento fletor correspondente ao início do escoamento..... | 50 |
| Equação 35 Módulo de resistência elástico..... | 50 |
| Equação 36 Momento resistente de cálculo..... | 50 |
| Equação 37 Parâmetro de Esbeltez..... | 51 |
| Equação 38 Parâmetro de Esbeltez correspondente ao início do escoamento..... | 51 |
| Equação 39 Parâmetro de Esbeltez correspondente a plastificação..... | 51 |
| Equação 40 Parâmetro de Esbeltez | 51 |
| Equação 41 Parâmetro de Esbeltez correspondente a plastificação..... | 51 |
| Equação 42 Parâmetro de Esbeltez correspondente ao início do escoamento..... | 52 |
| Equação 43 Momento resistente de cálculo..... | 52 |
| Equação 44 Cortante resistente de cálculo..... | 52 |
| Equação 45 Força cortante correspondente a plastificação da Alma por cisalhamento.... | 52 |
| Equação 46 Área efetiva de cisalhamento..... | 52 |
| Equação 47 Verificação final | 53 |
| Equação 48 Combinação referente as ações permanentes e variáveis..... | 55 |
| Equação 49 Coeficiente de modificação..... | 55 |
| Equação 50 Resistência a compressão atração..... | 57 |
| Equação 51 Resistência ao cisalhamento | 57 |
| Equação 52 Módulo de elasticidade da madeira..... | 57 |
| Equação 53 Inércia em torno do eixo X..... | 57 |
| Equação 54 Inércia em torno do eixo Y..... | 57 |
| Equação 55 Módulo de resistência a flexão em torno do eixo x..... | 58 |
| Equação 56 Módulo de resistência a flexão em torno do eixo y..... | 58 |
| Equação 57 Índice de esbeltez com relação ao eixo x..... | 58 |
| Equação 58 Índice de Esbeltez com relação ao eixo y..... | 58 |
| Equação 59 Verificação final quanto ao momento e a compressão..... | 58 |
| Equação 60 Verificação final para o cisalhamento..... | 59 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Treliças de coberturas e nomenclatura de seus elementos..... | 20 |
| Figura 2 - Vigamento de apoio das telhas | 20 |
| Figura 3 - Treliças de telhados e carregamentos | 21 |
| Figura 4 - Parafuso de baixa pressão | 24 |
| Figura 5 - Transmissão de esforços em parafusos de baixo carbono..... | 24 |
| Figura 6 - Efeito de torque aplicado na porca | 25 |
| Figura 7 - Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s) | 27 |
| Figura 8 - Coeficiente de pressão interna..... | 30 |
| Figura 9 - Representação dos coeficientes de pressão e de formas para telhados..... | 31 |
| Figura 10 - Representações dos Coeficientes de pressão e de forma para paredes | 31 |
| Figura 11 - Combinação de coeficientes para análise de pilares e tesouras a 0° a 90° | 32 |
| Figura 12 - Combinação Geral de pilares e tesouras a 0° a 90° | 33 |
| Figura 13 -Carregamentos final devido à ação do vento sobre a tesoura e pilar..... | 34 |
| Figura 14 - Modelo de telha colonial..... | 34 |
| Figura 15 - Esquemática quanto a inclinação do telhado..... | 35 |
| Figura 16 - Características da telha colonial | 35 |
| Figura 17 - Esquema da amarração das telhas..... | 36 |
| Figura 18 - Disposição de ripas e caibros | 37 |
| Figura 19 - Terça..... | 38 |
| Figura 20 - Carregamento sobre a terça..... | 39 |
| Figura 21 - Área de influência sobre a viga. | 40 |
| Figura 22 - Carregamento do peso próprio das telhas, ripas, caibros e terças | 41 |
| Figura 23 - Carregamento decorrente da sobrecarga | 42 |
| Figura 24 - Carregamento da força ação do vento a 0° | 42 |
| Figura 25 - Carregamento da força ação do vento a 90° | 43 |
| Figura 26 - Carregamento devido ao peso próprio da viga | 44 |
| Figura 27 - Modelo de perfil U duplo | 46 |
| Figura 28 - Carregamento devido ao peso próprio. | 53 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Fator S_2 | 28 |
| Tabela 2 - Valores mínimos estatísticos S_3 | 29 |
| Tabela 3 - Coeficientes de pressão e de formas, externas. para telhados com duas águas simétricos com edificações de planta regular. | 30 |
| Tabela 4 - Coeficientes de pressão e de formas externas, para paredes de edificações de planta regular. | 32 |
| Tabela 5 - Carregamento sobre a Terça | 38 |
| Tabela 6 - Combinação das ações majoradas | 39 |
| Tabela 7 - Carregamento sobre uma água da Cobertura | 41 |
| Tabela 8 - Esforços solicitantes de cálculo | 44 |
| Tabela 9 - Combinações últimas referentes as ações variáveis e permanentes | 45 |
| Tabela 10 - Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados | 47 |
| Tabela 11 - Módulo de resistência plástica | 49 |
| Tabela 12 - Esforços Solicitante de cálculo | 53 |
| Tabela 13 - Combinações últimas normais. | 54 |
| Tabela 14 - Esforços finais solicitantes de cálculo. | 54 |
| Tabela 15 - Tabela das classes de umidade. | 55 |
| Tabela 16 - Valores de $K_{mod,1}$ | 56 |
| Tabela 17 - Valores de $K_{mod,2}$ | 56 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 17 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| 2.1 Propriedades do elemento madeira | 18 |
| 2.1.1 Ligações em estruturas madeira | 21 |
| 2.2 Propriedade do elemento aço | 22 |
| 2.2.1 Tipos de ligação do aço | 23 |
| 3 METODOLOGIA | 26 |
| 3.1 Forças dinâmicas e estáticas do vento | 27 |
| 3.2 Telha | 34 |
| 3.2.1 Inclinação do telhado..... | 34 |
| 3.2.2 Características da telha | 35 |
| 3.2.3 Amarração da telha..... | 36 |
| 3.3 Ripa e caibro | 36 |
| 3.4 Terça | 37 |
| 3.4.1 Dimensionamento da terça | 39 |
| 3.5 Carregamentos | 40 |
| 3.5.1 Carregamento devido ao peso próprio da telha, ripa, caibro e terça. | 41 |
| 3.5.2 Carregamento da força devido à sobrecarga..... | 42 |
| 3.5.3 Carregamento da força devido a ação do vento a 0° | 42 |
| 3.5.4 Carregamento da força devido a ação do vento a 90° | 43 |
| 3.5.4.1 Ação do vento à 90° na água da cobertura lado esquerdo | 43 |
| 3.5.4.2 Ação do vento à 90° na água da cobertura do lado direito | 43 |
| 3.6 Viga de aço | 44 |

| | |
|---|-----------|
| 3.6.1 Dimensionamento da Viga de aço..... | 45 |
| 3.6.1.1 Verificação quanto a esbeltez do perfil. | 46 |
| 3.6.1.2 Verificação quanto à compressão resistente de cálculo da viga. | 47 |
| 3.6.1.3 Verificação do momento resistente de cálculo do perfil. | 48 |
| 3.6.1.3.1 A Flambagem lateral por torção (FLT). | 48 |
| 3.6.1.3.2 Flambagem local da mesa (FLM). | 51 |
| 3.6.1.3.3 Flambagem local da alma (FLA)..... | 51 |
| 3.6.1.3.4 Verificação da cortante. | 52 |
| 3.6.1.3.5 Verificação final da viga. | 52 |
| 3.7 Viga de madeira. | 53 |
| 3.7.1 Dimensionamento da viga de madeira. | 54 |
| 3.7.2 Propriedades da madeira..... | 54 |
| 3.7.3 Coeficiente de modificação (<i>Kmod</i>)..... | 55 |
| 3.7.4 Ponderação da resistência solicitante de cálculo da madeira..... | 56 |
| 3.7.5 Propriedades geométricas da viga de madeira. | 57 |
| 3.7.6 Verificações com relação ao momento e ao cisalhamento. | 58 |
| 3.7.7 Verificação quanto ao cisalhamento. | 59 |
| | |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 59 |
| 5 CONCLUSÃO | 62 |
| 6 REFERÊNCIAS | 64 |
| 7 ANEXOS | 65 |

1 INTRODUÇÃO

O telhado é um componente utilizado para realizar a cobertura em edificações e tem como função proteger o interior da área coberta dos raios solares, da água de chuva, dos ventos e de outros fenômenos climáticos que possam danificar a estrutura da casa, além de proporcionar conforto térmico ao ambiente. O telhado é composto de estrutura, cobertura e condutores. A estrutura consiste no elemento de apoio para a cobertura, com a função de receber e distribuir as cargas verticais para o restante da edificação, a cobertura é o elemento de proteção com função de vedação e os condutores são responsáveis pelo escoamento da água das chuvas.

O telhado é composto por uma estrutura própria que recebe as telhas com uma determinada inclinação e pode ser constituído de uma, duas, três ou mais águas definindo a estética da edificação. Existem modelos de telhados que ficam visíveis e também os invisíveis chamados de telhados embutidos. Estes possuem uma pequena parede no topo da casa, chamada platibandas, que o esconde. Para a escolha de um modelo de telhado deve-se levar em consideração o clima de onde está sendo construído, além de sua importância estrutural o telhado proporciona estilo e personalidade ao projeto. Independente do modelo de telha a ser utilizado no projeto, é construída uma estrutura para sustentar o telhado. Essa estrutura pode ser construída de madeira ou aço, os dois elementos possuem suas características estruturais. O telhado em estudo será composto por telhas de cerâmica, ripas de madeira, caibro de madeira e terça de madeira.

Para essa cobertura será dimensionado uma viga que irá receber os carregamentos dos elementos descritos acima e também distribuir as cargas verticais para a edificação. O estudo em questão é conhecer a viabilidade do uso de uma viga de madeira ou uma viga de aço apontando possíveis vantagens e desvantagens com relação aos dois elementos.

O emprego das estruturas metálicas é mais comum em galpões, porém pode ser usada também em residências. O aço tem possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções diferenciadas, eficientes e de alta qualidade. (ALBUQUERQUE; PINHEIRO, 2002).

Com a procura de métodos com maior agilidade e precisão em projetos, o aço estrutural atende os requisitos descritos. Para o desenvolvimento de uma estrutura metálica pode-se contar com uma variedade de materiais utilizados em projeto, ampliando as opções na escolha do modelo de estrutura.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foi analisar e comparar uma viga de madeira e uma viga de aço como sustentação dessa cobertura, apresentando as condições das

aplicações das mesmas e comparar a viabilidade econômica do projeto, apresentar a resistência e durabilidade dos elementos. Para alcançar tais objetivos foi feita pesquisa bibliográfica sobre a temática e pesquisa de campo, apontando as vantagens e desvantagens da aplicação de tais estruturas na construção civil.

Sendo assim, para compreender como estes elementos estruturais são importantes na construção civil, é necessário entender sobre as propriedades dos elementos estruturais, o aço e a madeira – o que será tratado no primeiro e segundo capítulos deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Propriedades do elemento madeira

Segundo Pfeil, W., Pfeil M. (2003 pág. 4-6) “devido à orientação das células, a madeira é um material anisotrópico, apresentando três direções principais longitudinal, radial e tangencial”. Basta diferenciar as propriedades na direção das fibras principais (longitudinal) e na direção perpendicular às mesmas fibras, pois a diferença de propriedades entre as direções radial e tangencial raramente tem importância prática.

A umidade da madeira tem grande importância sobre as suas propriedades. Há uma variação na quantidade de água das madeiras verdes ou recém-cortadas de acordo com as espécies e com a estação do ano. A faixa da variação da umidade das madeiras verdes tem como limites aproximados 30% para as madeiras mais resistentes. A umidade pode se apresentar em forma de água no interior das cavidades das células ocas (fibras) e água absorvida nas paredes das fibras. Quando a madeira é posta para secar, evapora-se a água contida nas células ocas, atingindo-se o ponto de saturação das fibras, no qual as paredes das células ainda estão saturadas, porém a água no seu interior se evaporou. Este ponto corresponde ao grau de umidade de cerca de 30%. A madeira é denominada, então, meio seca. Continuando a secagem, a madeira atinge um ponto de equilíbrio com o ar, sendo então denominada seca ao ar.

Segundo Wangaard, 1979, apud Pfeil M. Pfeil W., “a madeira está sujeita à deterioração por diversas origens dentre as quais se destacam ataque biológico e ação do fogo”. São exemplos de agentes biológicos os fungos, cupins, moluscos e crustáceos marinhos.

As estruturas de madeira, quando adequadamente projetadas e construídas, apresentam ótimo desempenho sob a ação do fogo, apesar de ser combustível. “As peças robustas de madeira possuem excelente resistência ao fogo, pois se oxidam lentamente devido à baixa

condutividade de calor, guardando um núcleo de material íntegro (com propriedades mecânicas inalteradas), por longo período de tempo”. (PFEIL, W.; PFEIL, M. 2003)

Por meio de tratamento químico pode-se aumentar a resistência da madeira aos ataques de agentes biológicos e do fogo. Este tratamento, em geral, consiste em impregnar a madeira com preservativos químicos (por exemplo creosoto) e retardadores do fogo.

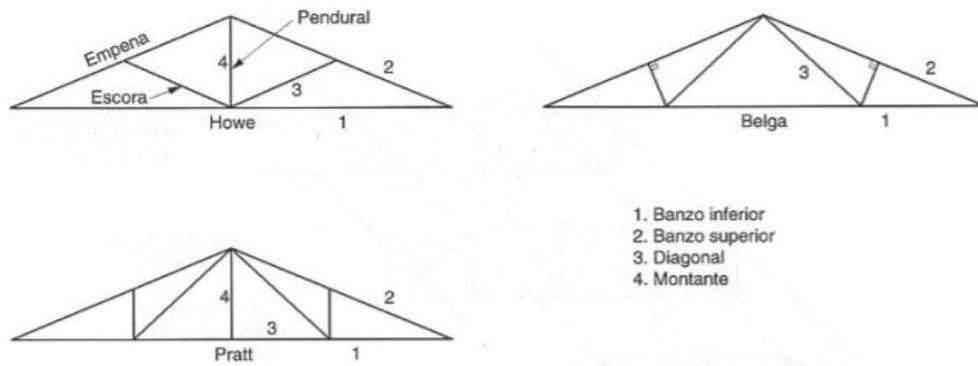
As peças de madeiras utilizadas nas construções apresentam uma série de defeitos que prejudicam a resistência, o aspecto ou a durabilidade. Os defeitos podem provir da constituição do tronco ou do processo de preparação das peças. Nós, imperfeição da madeira nos pontos do tronco onde existiam galhos. Fendas, aberturas nas extremidades da peça, produzidas pela secagem mais rápida da superfície. Gretas ou ventas, separação entre os anéis anuais. Abaulamento, encurvamento na direção da largura da peça. Arqueadura, encurvamento na direção longitudinal, isto é, do comprimento da peça. Fibras reversas, fibras não paralelas ao eixo da peça. Esmoadas ou quinas mortas, canto arredondado, formado pela curvatura natural do tronco.

De acordo com Pfeil W. e Pfeil M. (2003 p.12)

Sendo a madeira um material utilizado para a construção há muitos séculos, uma grande variedade de sistemas estruturais em madeiras pode ser observada, os quais vem evoluindo em função dos diversos produtos industrializados. Talvez o sistema estrutural mais tradicional seja o sistema treliçado em coberturas tanto residenciais quanto industriais e em pontes.

A treliça Howe é a mais tradicional para uso em madeira, e seus componentes recebem uma designação especial, (figura 1), em função da geometria e dos esforços atuantes para cargas de gravidade: tração no montante e no banzo inferior e compressão na diagonal e no banzo superior. Nas treliças Pratt e Belga, os esforços nos montantes e diagonais se invertem em relação aos da treliça Howe.

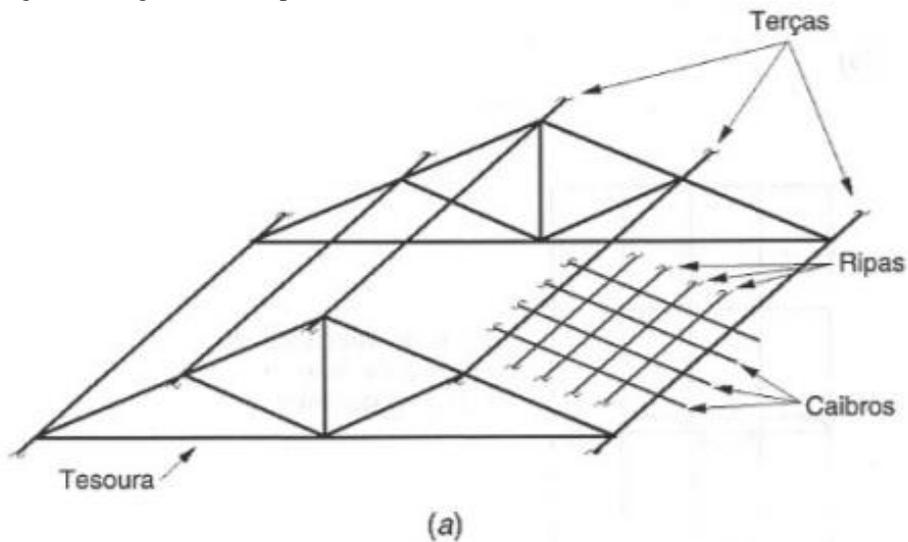
Figura 1 - Treliças de coberturas e nomenclatura de seus elementos



Fonte: Pfeil W. Pfeil M. (2003 p.17)

As treliças de cobertura, também chamadas de tesouras, sustentam o telhamento e seu vigamento de apoio. No caso de telhas cerâmicas, mais usadas em coberturas de edificações residenciais, o vigamento de apoio é composto de terças que são vigas vencendo o vão entre treliças e apoiando-se, em geral em seus nós; caibros que apoiam nas terças e são espaçados de 40 a 60 cm e ripas que são peças nas quais se apoiam as telhas cerâmica e cujo espaçamento (da ordem de 35 cm) é função do comprimento da telha. (figura2)

Figura 2 - Vigamento de apoio das telhas

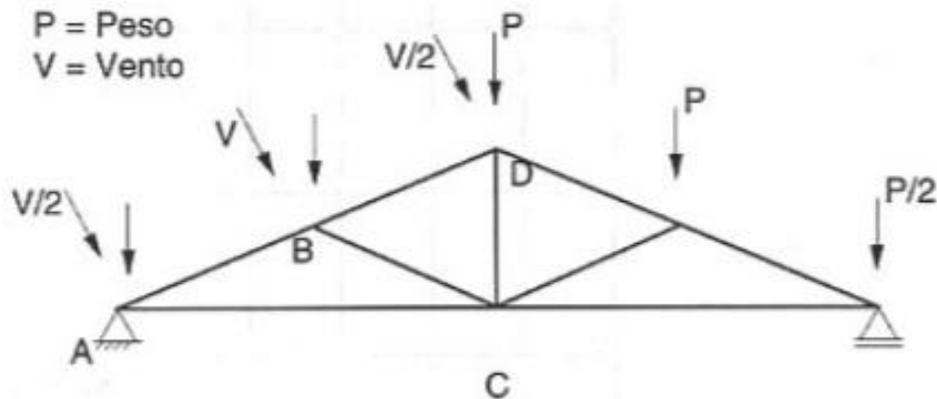


Fonte :Pfeil W., Pfeil M. (2003 p.17)

A inclinação do telhado é função do tipo de telha adotada. Os valores mínimos do ângulo entre o plano do telhamento e do plano horizontal são da ordem de 25° para telhas cerâmicas e 2° para telhas metálicas.

As treliças de coberturas estão sujeitas a as cargas de gravidade (peso próprio e das telhas e seu viga de apoio) e às cargas de vento. Os pesos do telhamento e seu viga de apoio, assim como as ações devidas ao vento, são cargas distribuídas na superfície do telhado que se transmite como forças concentradas aos nós das treliças por meio das terças (fig. 3).

Figura 3 - Treliças de telhados e carregamentos



Fonte: Pfeil W. Pfeil M. (2003 p.17)

As propriedades físicas e mecânicas das espécies de madeiras são determinadas por meios de ensaios padronizados em amostras sem defeitos (para evitar a incerteza dos resultados obtidos com peças com defeitos). No Brasil estes ensaios estão descritos no Anexo B da Norma Brasileira NBR 7190/1997, Projeto de Estruturas de Madeiras.

2.1.1 Ligações em estruturas madeira

Desde quando se começou a usar a madeira como elemento estrutural, o grande problema enfrentado pelos construtores era o de como unir as peças de madeira de uma maneira eficaz, segundo Dias (2013).

O meio tradicional e mais utilizado nas ligações de madeira são as ligações por encaixes, por serem econômicos e não necessitarem de materiais adjacentes, porém necessitam de mão-de-obra cuidadosa e especializada.

As cavilhas são pinos cilíndricos confeccionadas com madeira dura e são introduzidas por cravação em furos sem folga nas peças de madeira. De acordo com a NBR7190 as cavilhas deverão ser de madeiras da classe C60 ou com madeiras macias impregnadas por resina para aumento de capacidade resistente.

Com o advento do aço, começou-se a utilizá-lo em forma de pregos nas estruturas de madeira. Eles são os elementos de ligação mais comuns de serem utilizados e provavelmente os mais tradicionais. São fabricados com arame de aço. O mais comum a se utilizar é o prego com cabeça de fuste cilíndrico circular, porém existem diversos tipos de pregos no mercado, cada qual com sua função específica.

Os pinos metálicos ou cavilhas são eixos cilíndricos de aço e são colocados nos furos feitos à máquina nas ligações. Esses furos possuem diâmetro ligeiramente inferior aos dos pinos e assim são instalados sem folga, de modo a entrarem em carga sem haver deformação relativa das peças ligadas.

Os parafusos são instalados ajustados nos furos de modo a não ultrapassar uma pequena folga (no máximo 1mm). Após a colocação dos parafusos, as porcas são apertadas comprimindo fortemente a madeira, com o esforço sendo transferido com o auxílio de arruelas. As peças de madeiras devem sempre ser furadas em conjuntos, depois de superpostas numa pré-montagem com pregos. A NBR7190 recomenda o diâmetro mínimo dos parafusos com $\varnothing=10\text{mm}$ (3/8") e resistência mínima de escoamento do aço (f_y) de pelo menos 240 MPa.

As barras roscadas são vergalhões fabricados com aço SAE 1020 com rosca infinita, comumente comprados por metro linear. A grande vantagem de sua utilização é o corte em obra do tamanho exato de barra que se necessita para efetuar as ligações, evitando a compra de parafusos de tamanhos específicos.

2.2 Propriedade do elemento aço

Segundo Fakury, Castro e Silva, Caldas (2016, pág. 1), “os elementos estruturais de aço, entre diversas outras aplicações, são empregados corriqueiramente na composição de treliça, como pilares e vigas, formando contraventamentos, e como barras de pórticos”. Os elementos estruturais de aço têm seção transversal com dimensões menores que a de outros materiais. Embora sob pressão esses elementos sejam suscetíveis a problemas de instabilidade, eles são projetados indistintamente submetidos a tensões normais de tração e compressão, pois o aço é um material que se comporta muito bem sob essas duas tensões, pois é um material estrutural que possui maior índice de resistência (razão entre resistência e peso específico).

O aço possui um grau de confiança elevado por ser um material homogêneo e isotrópico, com características mecânicas bem definidas, e isto reflete no coeficiente de ponderação da resistência empregado no cálculo estrutural, bem menor que o do concreto. Em uma construção

com elementos estruturais puramente de aço, à dispensa de escoramento e formas, a ausência de manuseio de materiais diferentes reduz a área necessária ao canteiro de obra e à estocagem e colaboram para manter o canteiro limpo, organizado e sem entulhos. Ele está entre os materiais mais recicláveis e reciclados do mundo.

Segundo Fakury, Castro e Silva, Caldas (2016)

Os elementos estruturais ou qualquer produto de aço, ao final da vida útil, ou simplesmente quando, por qualquer razão perde sua finalidade, são transformados em sucatas, que, por sua vez pode ser empregada na fabricação de novos produtos siderúrgicos. A produção de aço a partir de sucata reduz o consumo de matérias-primas não renováveis, economiza energia e evita a necessidade de ocupação de áreas para o descarte de produtos obsoletos.

A montagem da estrutura de aço é executada com grande rapidez pelo fato de a estrutura ser composta de peças pré-fabricadas com dimensões precisas, sem ser afetadas por chuvas. Isso permite a conclusão da obra em prazo menor em comparação, por exemplo, com estruturas de concreto armado moldado no local.

Um importante fator para determinar o custo de uma estrutura metálica é mensurar o consumo de aço, geralmente expresso em massa (dada em quilograma) por metro quadrado de construção, segundo Fakury, Castro e Silva, Caldas (2016 p.12). Esse consumo varia de acordo com qualidade do aço estrutural e o tipo, a finalidade e a localização da edificação e só pode ser obtida com precisão em uma obra específica após análise criteriosa.

2.2.1 Tipos de ligação do aço

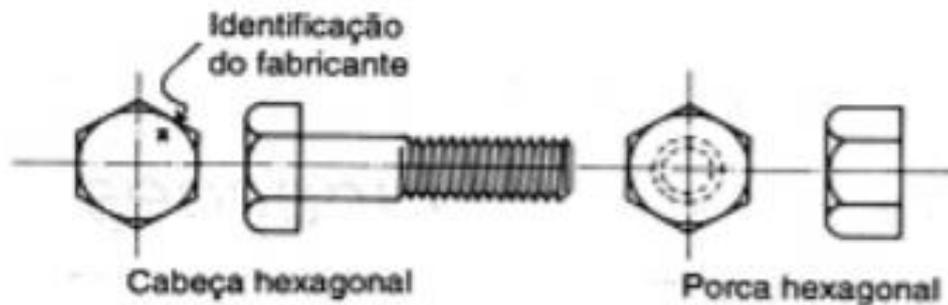
O termo ligação é aplicado a todos os detalhes construtivos que promovam a união de partes da estrutura entre si ou a sua união com elementos externos a ela, como por exemplo as fundações.

Segundo Vasconcelos (2011),

Os meios de ligação são os elementos que promovem a união entre as partes da estrutura, para formar a ligação são as soldas, parafusos, barras redondas rosqueadas e pinos. Uma ligação deve ser dimensionada de forma que a sua resistência de cálculo seja igual ou superior à solicitação de cálculo ou uma porcentagem especificada da resistência de cálculo da barra.

Os parafusos de baixo carbono são também conhecidos como parafusos comuns, seguem as especificações ASTM A307 ou ISO 898-1 Classe 4.6 e são fabricados a partir de fio máquina ou barras de aço com baixo teor de carbono, sendo mais utilizado o ASTM A307. Eles são utilizados em estruturas de aço, e em geral têm cabeça e porca sextavada, com rosca parcial ou ao longo de todo o corpo do parafuso conforme a figura 4. A instalação é feita sem especificação de torque de montagem (aperto), desconsiderando a resistência ao deslizamento entre as partes conectadas.

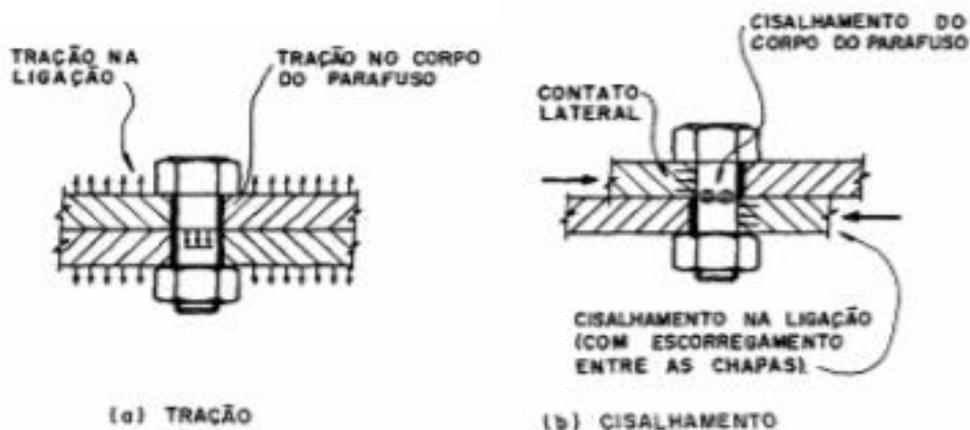
Figura 4 - Parafuso de baixa pressão



Fonte: Vasconcellos (2011 p.12)

As ligações envolvendo parafusos de baixo carbono são assumidas sempre como ligações do tipo contato, ou seja, os parafusos são solicitados ao cisalhamento, à tração ou a ambos os esforços simultaneamente. Os esforços de tração são transmitidos diretamente por meio de tração no corpo do parafuso e os esforços de cisalhamento são transmitidos por cisalhamento do corpo do parafuso e o contato de sua superfície lateral com a face do furo, devido ao deslizamento entre as chapas ligadas conforme a figura 5.

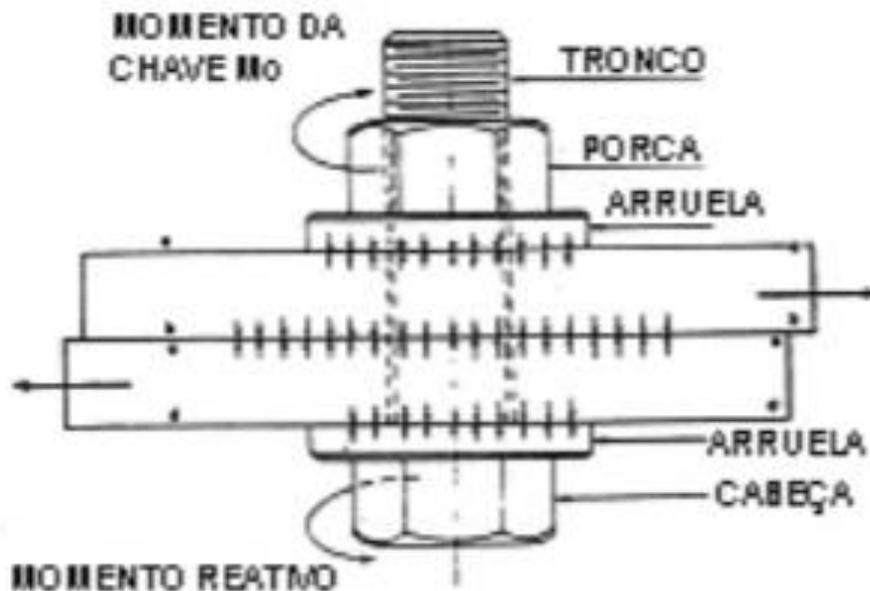
Figura 5 - Transmissão de esforços em parafusos de baixo carbono



Fonte: Vasconcellos (2011 p. 13)

A utilização de aços de alta resistência mecânica na fabricação de parafusos permite a montagem dos parafusos de alta resistência com proteção evitando o deslizamento entre as partes conectadas, pois as superfícies de contato das chapas ficam firmemente pressionadas umas contra as outras. Assim, quanto maior o torque, maior a pressão de contato imposta, maior a força de atrito mobilizada e, conseqüentemente, maior a resistência ao deslizamento, apresentada na figura 6.

Figura 6 - Efeito de torque aplicado na porca



Fonte: Vasconcelos (2011 p.12)

A união de componentes metálicos pode ser feita por meio da fusão de eletrodos metálicos que são as soldas. Devido à alta temperatura produzida por um arco voltaico, processa-se também a fusão parcial dos componentes a serem ligados. Após o resfriamento, metal base e metal do eletrodo passam a constituir um corpo único. Essa operação necessita de uma fonte de energia elétrica de baixa voltagem e alta amperagem a fim de gerar o calor necessário e os aços devem ter soldabilidade. A soldabilidade de um aço indica a facilidade da execução de uma junta por meio do processo de soldagem sem defeitos e livre de fissuras ou falhas. Alguns aços estruturais são melhores para a soldagem do que outros e os procedimentos de soldagem devem levar em conta a composição química do metal base.

O método de dimensionamento das juntas soldadas, bem como de todos os outros elementos para composição de uma estrutura é feita pela norma NBR-8800, ao qual adota o

critério do Método dos Estados Limites. Também se leva em conta as normas internacionais aplicáveis como por exemplo a AWS D1.1, EUROCODE e AISC.

A soldagem, segundo Quites & Dutra (1979) apud Klettemberg (2013) “pode ser encarada sob dois aspectos, que são: reparação e fabricação. Tem-se que por muito tempo a soldagem foi considerada somente como um processo de reparação, sendo que apenas no segundo quarto deste século é que ocorreu sua aceitação em fabricações que requerem qualidade estrutural. Com isso, definimos soldagem como “a operação que visa a união de duas peças, assegurando na junta, a continuidade das propriedades químicas e físicas”. Deste modo, uma operação de soldagem é obtida pela interposição de material adicional na junta (pode também ser obtida sem material de adição) e pela aplicação de energia, de modo a produzir a fusão do material de adição e do material de base.

Estruturas soldadas são mais “rígidas”, pois os elementos normalmente estão soldados diretamente um ao outro, diferentemente de conexões parafusadas, onde a união é feita através de chapas ou cantoneiras. Conexões soldadas usam uma quantidade menor de peças, tendo como resultado um menor tempo de detalhe, fabricação e montagem.

Dentre os principais tipos de soldas para estruturas metálicas se destacam a soldagem a arco com eletrodos revestidos SMAW (Shielded Metal Arc Welding) é um processo no qual a coalescência (união) dos metais é obtida pelo aquecimento destes com um arco estabelecido entre um eletrodo especial revestido e a peça, também muito usado é o processo de soldagem MIG/MAG, mais conhecido internacionalmente pelo nome GMAW (Gás Metal Arc Welding), é um processo de soldagem a arco que utiliza um arco entre uma alimentação contínua de metal (arame) e a poça de fusão utilizando uma fonte externa de gás para a proteção da poça de soldagem contra contaminação do ar externo. Sendo esse o processo de soldagem GMAW, um processo de soldagem com custo mais elevado se comparado com o processo de soldagem SMAW.

3 METODOLOGIA

A ação do vento sobre a cobertura foi analisada de acordo com a região de construção da edificação acompanhando a Norma Brasileira 6123. Através da escolha do modelo de telha a ser utilizado na cobertura e da dimensão da edificação será determinado a inclinação mínima do telhado do telhado. Esta definição impactará na forma que será distribuído as ripas e caibros. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS, 1988)

A terça elemento de sustentação das telhas, ripas e caibros, será dimensionada com dados referentes a ação do vento sobre a cobertura, peso próprio dos elementos e sobrecarga, que é definida pela Norma Brasileira 8800. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS,2008)

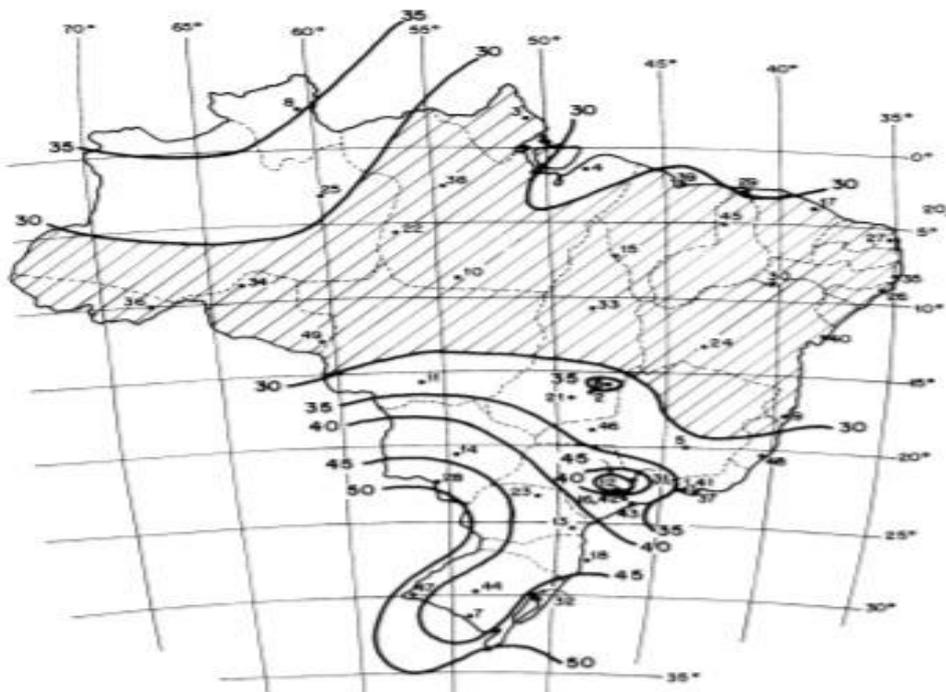
No dimensionamento das vigas de madeira e aço foram analisados os carregamentos solicitantes de cálculo para os dois casos, sendo que apenas um deles se difere, por se tratar do peso próprio da viga.

3.1 Forças dinâmicas e estáticas do vento

De acordo com a NBR 6123 o item 4.1, para cálculos das forças dinâmicas e estáticas, devido a ação do vento, determina condições exigíveis para os cálculos da velocidade característica do vento conforme equação $V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DAS NORMAS TÉCNICAS,1988).

Conforme o item 5.1 da NBR 6123, O vento possui uma velocidade básica (V_0) correspondente a sua região, conforme o gráfico de isopletas disposto na figura 7. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,2008, p.5)

Figura 7 - Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s)



Fonte: ABNT (1988)

Após a definição da velocidade básica ela será multiplicada pelos fatores de topografia (S_1), rugosidade (S_2) e estatístico (S_3). O item 5.2 da NBR 6123 define o valor do fator S_1 , levando em consideração as variações do relevo do terreno, o fator topográfico do terreno será de 1,00 por se tratar de ser um terreno plano. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 5)

O fator S_2 descrito no item 5.3 da NBR 6123 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração. Rugosidade do terreno de categoria IV, determinando que o mesmo estará coberto por obstáculos numerosos e pouco espaçados, zona urbana. Dimensões da edificação e a altura sobre o terreno tendo características de classe A, por se tratar de uma edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 metros. Após a definição destes dados, observando a tabela 1, para definir o valor de S_2 a 0,86. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p.8)

Tabela 1 - Fator S_2

| z (m) | Categoria | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|
| | I | | | II | | | III | | | IV | | | V | | |
| | Classe | | | Classe | | | Classe | | | Classe | | | Classe | | |
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| ≤ 5 | 1,06 | 1,04 | 1,01 | 0,94 | 0,92 | 0,89 | 0,88 | 0,86 | 0,82 | 0,79 | 0,76 | 0,73 | 0,74 | 0,72 | 0,67 |
| 10 | 1,10 | 1,09 | 1,06 | 1,00 | 0,98 | 0,95 | 0,94 | 0,92 | 0,88 | 0,86 | 0,83 | 0,80 | 0,74 | 0,72 | 0,67 |
| 15 | 1,13 | 1,12 | 1,09 | 1,04 | 1,02 | 0,99 | 0,98 | 0,96 | 0,93 | 0,90 | 0,88 | 0,84 | 0,79 | 0,76 | 0,72 |
| 20 | 1,15 | 1,14 | 1,12 | 1,06 | 1,04 | 1,02 | 1,01 | 0,99 | 0,96 | 0,93 | 0,91 | 0,88 | 0,82 | 0,80 | 0,76 |
| 30 | 1,17 | 1,17 | 1,15 | 1,10 | 1,08 | 1,06 | 1,05 | 1,03 | 1,00 | 0,98 | 0,96 | 0,93 | 0,87 | 0,85 | 0,82 |
| 40 | 1,20 | 1,19 | 1,17 | 1,13 | 1,11 | 1,09 | 1,08 | 1,06 | 1,04 | 1,01 | 0,99 | 0,96 | 0,91 | 0,89 | 0,86 |
| 50 | 1,21 | 1,21 | 1,19 | 1,15 | 1,13 | 1,12 | 1,10 | 1,09 | 1,06 | 1,04 | 1,02 | 0,99 | 0,94 | 0,93 | 0,89 |
| 60 | 1,22 | 1,22 | 1,21 | 1,16 | 1,15 | 1,14 | 1,12 | 1,11 | 1,09 | 1,07 | 1,04 | 1,02 | 0,97 | 0,95 | 0,92 |
| 80 | 1,25 | 1,24 | 1,23 | 1,19 | 1,18 | 1,17 | 1,16 | 1,14 | 1,12 | 1,10 | 1,08 | 1,06 | 1,01 | 1,00 | 0,97 |
| 100 | 1,26 | 1,26 | 1,25 | 1,22 | 1,21 | 1,20 | 1,18 | 1,17 | 1,15 | 1,13 | 1,11 | 1,09 | 1,05 | 1,03 | 1,01 |
| 120 | 1,28 | 1,28 | 1,27 | 1,24 | 1,23 | 1,22 | 1,20 | 1,20 | 1,18 | 1,16 | 1,14 | 1,12 | 1,07 | 1,06 | 1,04 |
| 140 | 1,29 | 1,29 | 1,28 | 1,25 | 1,24 | 1,24 | 1,22 | 1,22 | 1,20 | 1,18 | 1,16 | 1,14 | 1,10 | 1,09 | 1,07 |
| 160 | 1,30 | 1,30 | 1,29 | 1,27 | 1,26 | 1,25 | 1,24 | 1,23 | 1,22 | 1,20 | 1,18 | 1,16 | 1,12 | 1,11 | 1,10 |
| 180 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,28 | 1,27 | 1,27 | 1,26 | 1,25 | 1,23 | 1,22 | 1,20 | 1,18 | 1,14 | 1,14 | 1,12 |
| 200 | 1,32 | 1,32 | 1,32 | 1,29 | 1,28 | 1,28 | 1,27 | 1,26 | 1,25 | 1,23 | 1,21 | 1,20 | 1,16 | 1,16 | 1,14 |
| 250 | 1,34 | 1,34 | 1,33 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,30 | 1,29 | 1,28 | 1,27 | 1,25 | 1,23 | 1,20 | 1,20 | 1,18 |
| 300 | - | - | - | 1,34 | 1,33 | 1,33 | 1,32 | 1,32 | 1,31 | 1,29 | 1,27 | 1,26 | 1,23 | 1,23 | 1,22 |
| 350 | - | - | - | - | - | - | 1,34 | 1,34 | 1,33 | 1,32 | 1,30 | 1,29 | 1,26 | 1,26 | 1,26 |
| 400 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,34 | 1,32 | 1,32 | 1,29 | 1,29 | 1,29 |
| 420 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,35 | 1,35 | 1,33 | 1,30 | 1,30 | 1,30 |
| 450 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,32 | 1,32 | 1,32 |
| 500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,34 | 1,34 | 1,34 |

Fonte: ABNT (1988)

O fator estatístico S_3 descrito no item 5.3 da NBR 6123 grau de segurança requerido e vida útil da edificação (S_3). Fator estatístico terá valor de 1,00 S_3 , edificação residencial com

alto fator de ocupação, disposto na tabela 2. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p.10)

Tabela 2 - Valores mínimos estatísticos S_3 .

| Grupo | Descrição | S_3 |
|-------|---|-------|
| 1 | Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva(hospitais, quartéis de bombeiros, centrais de comunicação, etc.) | 1,10 |
| 2 | Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação | 1,00 |
| 3 | Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.) | 0,95 |
| 4 | Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.) | 0,88 |
| 5 | Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a Construção | 0,83 |

Fonte: ABNT (1988)

Após a coleta dos dados é possível obter a velocidade característica do vento através da equação 1.

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (1)$$

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

$$V_k = 30,1 \text{ m/s}$$

Com a velocidade característica do vento determinada para essa região, conforme o item 4.2, letra c da NBR 6123 permite determinar a pressão dinâmica do vento através da equação 2. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 4)

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

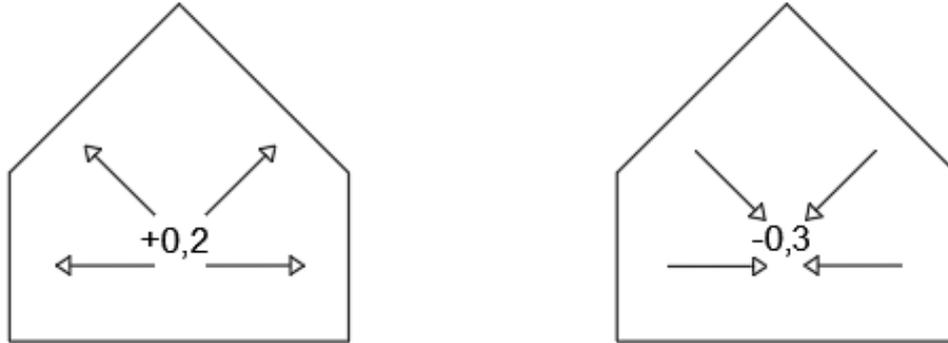
$$q = 0,613 \cdot 30,1^2$$

$$q = 555,39 \text{ N/m}^2$$

Para esse projeto, conforme figura 8, foi considerado duas faces opostas igualmente permeáveis, as outras faces impermeáveis:

- Vento perpendicular a uma face permeável: $c_{qi} = +0,2$
- Vento perpendicular a uma face impermeável: $c_{qi} = -0,3$

Figura 8 - Coeficiente de pressão interna



Fonte: O autor

As tesouras, apresentadas na figura 9, foram elaboradas a partir dos coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular, extraídos da tabela 3. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p.15)

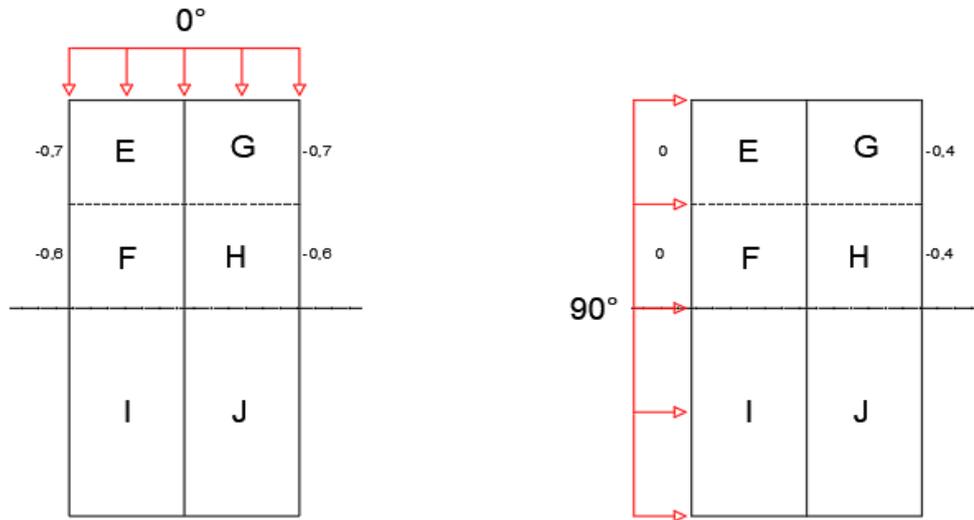
Tabela 3 - Coeficientes de pressão e de formas, externas, para telhados com duas águas simétricos com edificações de planta regular.

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

Fonte: ABNT (1988)

A tesoura é um elemento que ajuda tanto no suporte do telhado, em caso de grandes vãos, como também possibilita a criação de soluções estéticas ímpares, de acordo com Ralston (s/d).

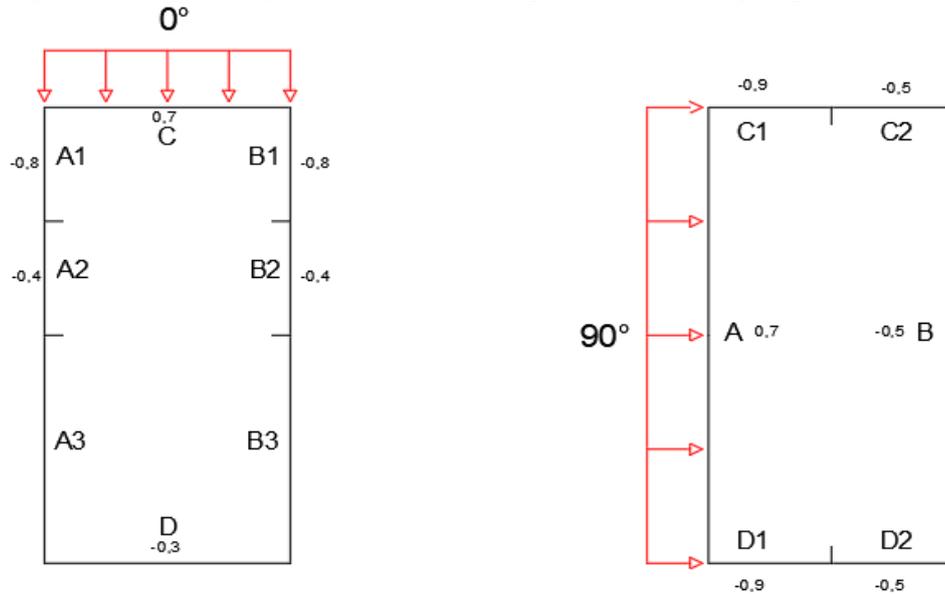
Figura 9 – Representação dos coeficientes de pressão e de formas para telhados



Fonte: O Autor

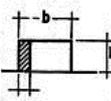
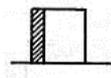
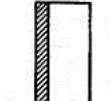
Apresentados na figura 10, os coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular, extraídos da tabela 4.

Figura 10 – Representações dos Coeficientes de pressão e de forma para paredes



Fonte: O autor

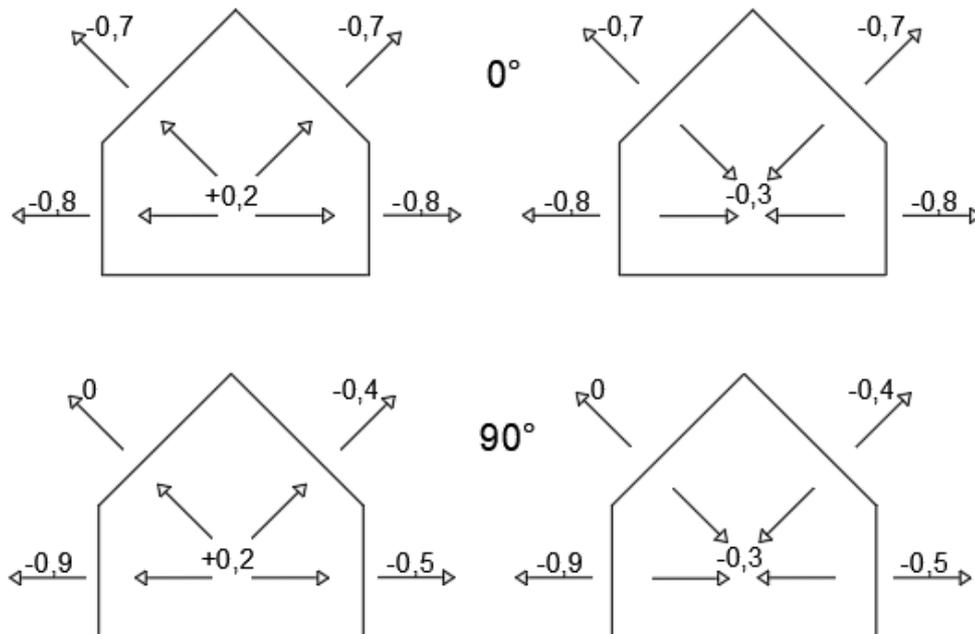
Tabela 4 - Coeficientes de pressão e de formas externas, para paredes de edificações de planta regular.

| Altura relativa | | Valores de C_p para | | | | | | | | C_{pe} médio |
|---|---------------------------------------|-----------------------|-----------------|------|------|---------------------|------|-------------|-------------|-------------------|
| | | $\alpha = 0^\circ$ | | | | $\alpha = 90^\circ$ | | | | |
| | | $A_1 e \beta_1$ | $A_2 e \beta_2$ | C | D | A | B | $C_1 e D_1$ | $C_2 e D_2$ | |
|  $0,2b \text{ ou } h$ (o menor dos 2) | $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$ | -0,8 | -0,5 | +0,7 | -0,4 | +0,7 | -0,4 | -0,8 | -0,4 | -0,9 |
| | $2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$ | -0,8 | -0,4 | +0,7 | -0,3 | +0,7 | -0,5 | -0,9 | -0,5 | -1,0 |
|  $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$ | $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$ | -0,9 | -0,5 | +0,7 | -0,5 | +0,7 | -0,5 | -0,9 | -0,5 | -1,1 |
| | $2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$ | -0,9 | -0,4 | +0,7 | -0,3 | +0,7 | -0,6 | -0,9 | -0,5 | -1,1 |
|  $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$ | $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$ | -1,0 | -0,6 | +0,8 | -0,6 | +0,8 | -0,6 | -1,0 | -0,6 | -1,2 |
| | $2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$ | -1,0 | -0,5 | +0,8 | -0,3 | +0,8 | -0,6 | -1,0 | -0,6 | -1,2 |

Fonte: ABNT (1988)

As combinações de coeficientes para análise de pilares e tesouras a 0° e 90° estão apresentados na figura 11.

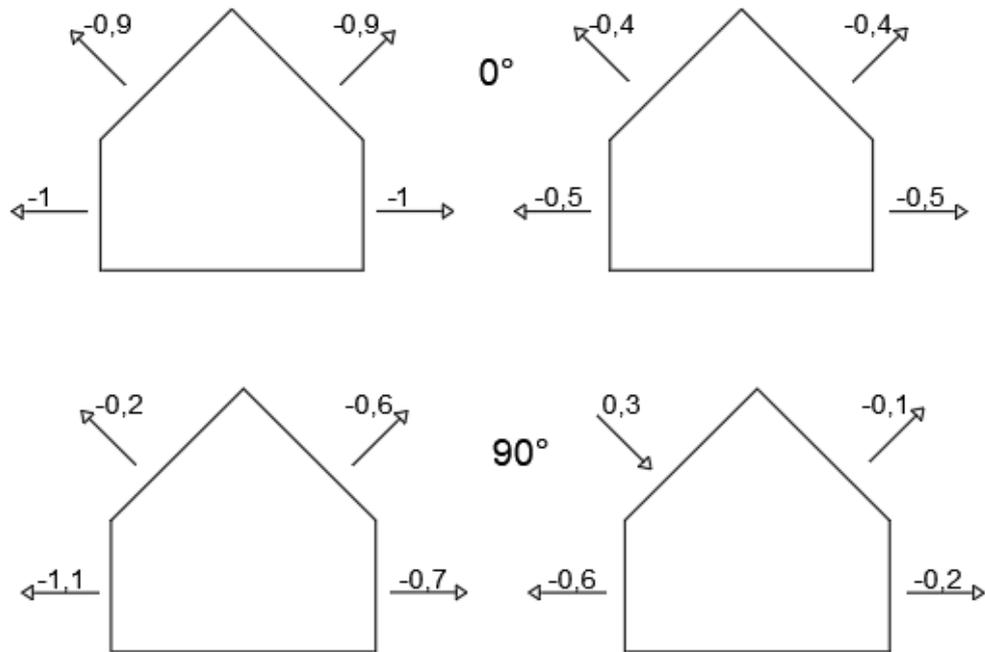
Figura 11 - Combinação de coeficientes para análise de pilares e tesouras a 0° a 90°



Fonte: O autor

A combinação geral de pilares e tesouras a 0° e 90° pode ser observado na figura 12.

Figura 12 - Combinação Geral de pilares e tesouras a 0° a 90°



Fonte: O autor

Após a combinação dos coeficientes de pressão à 0° e 90° para dimensionamento de terças e tesouras, foram extraídos os valores que causam maiores impactos na estrutura, para a determinação das forças a serem inseridas nos cálculos da estrutura conforme podemos observar na figura 13.

A determinação do coeficiente de pressão implica em saber a força do vento que será aplicada na tesoura, através da pressão dinâmica do vento e pelo vão da tesoura, através da equação 3 os cálculos com base na direção do vento a 0°:

$$Q = q \cdot C_p \cdot L \quad (3)$$

$$Q = 0,555 \cdot 0,9 \cdot 4 = 1,998 \text{ KN/m}$$

$$Q = 0,555 \cdot 1,0 \cdot 4 = 2,22 \text{ KN/m}$$

E na equação 4, os cálculos com base na direção do vento a 90°:

$$Q = q \cdot C_p \cdot L \quad (4)$$

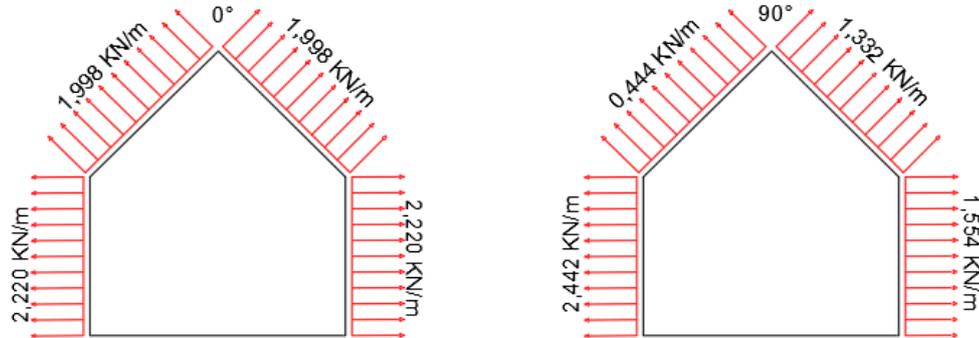
$$Q = 0,555 \cdot 1,1 \cdot 4 = 2,442 \text{ KN/m}$$

$$Q = 0,555 \cdot 0,2 \cdot 4 = 0,444 \text{ KN/m}$$

$$Q = 0,555 \cdot 0,6 \cdot 4 = 1,332 \text{ KN/m}$$

$$Q = 0,555 \cdot 0,7 \cdot 4 = 1,554 \text{ KN/m}$$

Figura 13 – Carregamentos final devido à ação do vento sobre a tesoura e pilar



Fonte: O autor

3.2 Telha

Neste trabalho foi desenvolvido uma cobertura de duas águas para uma edificação que possui dimensão de 7 x 12 metros. A estrutura desta cobertura é constituída por telhas, ripas, caibros, terças e as vigas de sustentação. As telhas utilizadas neste projeto são telhas de cerâmica do modelo colonial, mostradas na figura 14.

Figura 14: Modelo de telha colonial



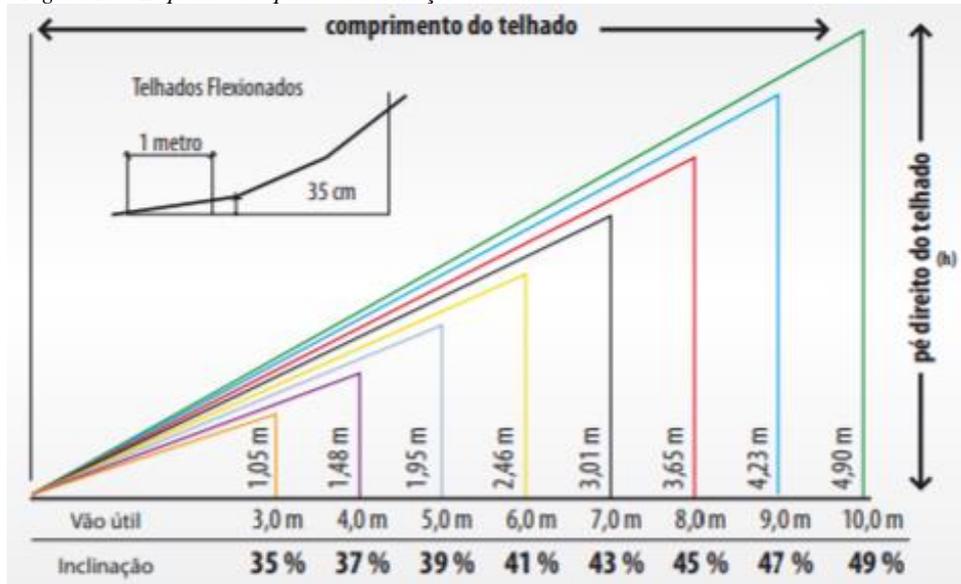
Fonte: Catálogo Técnico Top Telha (p.2)

3.2.1 Inclinação do telhado

O uso deste modelo de telha requer atenção na inclinação da estrutura, levando em consideração o comprimento do telhado, a estrutura em questão possuirá um vão útil de 3,5

metros, que de acordo com a figura 15, o pé direito deste telhado deve possuir no mínimo 1,48 metros. Para este projeto o telhado possui uma inclinação de 25°, tendo então um pé direito com altura de 1,63 metros. Com essa condição de inclinação cada água do telhado possui uma dimensão de 4,26 x 12,8 metros.

Figura 15 - Esquemática quanto a inclinação do telhado



Fonte: Catálogo Técnico Top Telha (p.5)

3.2.2 Características da telha

De acordo com o quadro descrito na figura 16, o modelo de telha colonial possui um rendimento médio de 17 telhas por m², com uma galga de montagem de 47,8 cm e uma distância entre os furos de amarração de 52,3 cm.

Figura 16 - Características da telha colonial

| | | | |
|--------------------------------|---------|---------------------|---------------------|
| Comprimento Médio | 54,8 cm | Rendimento Médio | 17 T/m ² |
| Largura Média | 22,3 cm | Absorção de Água | < 13% |
| Distância do Furo de Amarração | 52,3 cm | Resistência | > 300 Kgf |
| Altura Média | 6,8 cm | Inclinação Mínima** | 35% |
| Peso Médio | 3,4 kg | Embalagem | 350 telhas |
| Galga de Montagem* | 47,8 cm | | |

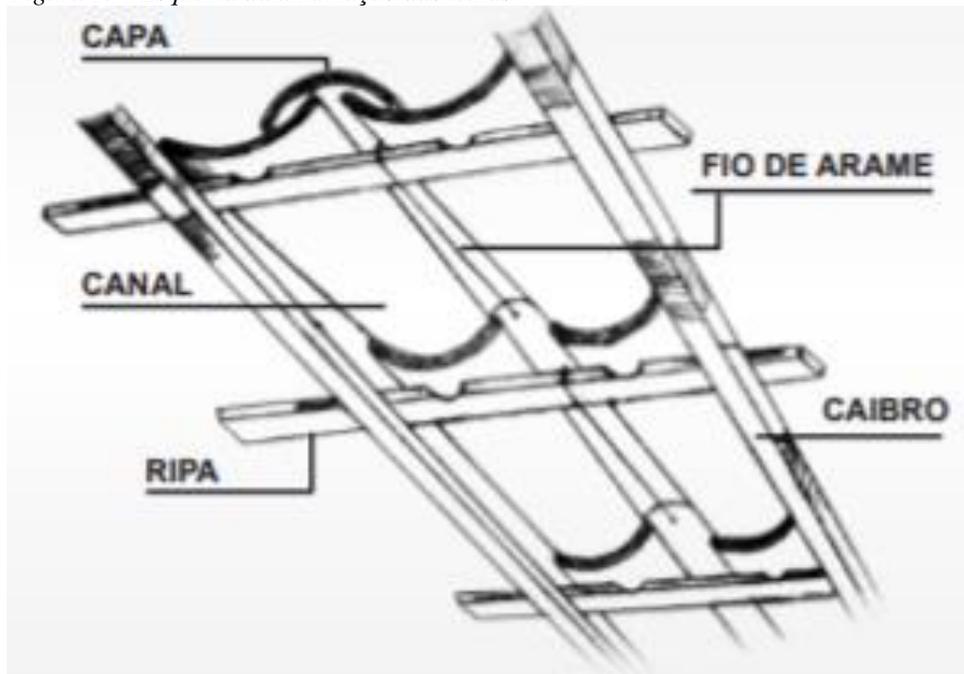
* A galga de montagem deve ser conferida a partir das telhas entregues na obra.
** Inclinação mínima até 3 m. Acima de 3 m, consultar tabela de inclinação do telhado.

Fonte: Catálogo Técnico Top Telha (p.6)

3.2.3 Amarração da telha

O projeto de execução da cobertura requer a amarração das telhas conforme a figura 17, através de um fio de arame de aço galvanizado.

Figura 17 - Esquema da amarração das telhas



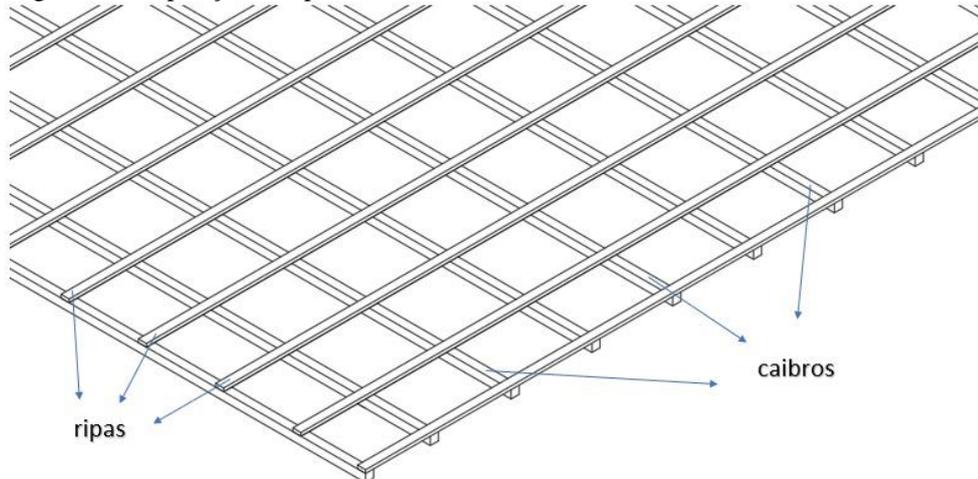
Fonte: Catálogo Técnico Top Telha (p.5)

3.3 Ripa e caibro

O madeiramento utilizado na estrutura do telhado será o *Eucalyptus Citriodora*, segundo Luz (2018), essa madeira possui uma densidade equivalente à 730 Kg/m^3 . A ripa utilizada para o encaixe das telhas terá uma seção de 2×5 centímetros com um comprimento de 12,8 metros cada, estarão dispostas a uma distância de 47,8 centímetros entre elas, com exceção das duas primeiras ripas que irá possuir uma distância de 40 centímetros entre elas, sendo essa a galga inicial para esse modelo de telha.

O caibro utilizado possui uma seção de 5×5 centímetros com comprimento de 4,26 metros cada que estarão dispostos a uma distância de 50 centímetros entre eles. A estrutura contará com um total de vinte e duas ripas e cinquenta e sete caibros, representados conforme a figura 18.

Figura 18- Disposição de ripas e caibros



Fonte: O autor

3.4 Terça

A terça é o elemento que recebe o carregamento da telha, da ripa e do caibro atuando como apoio para os caibros, e transfere todo o esforço para a viga, possui um comprimento destravado de 4 metros. Para o dimensionamento da terça foram analisados os carregamentos descritos acima, junto à ação do vento e a sobrecarga de 0,25 KN/m² descrita em projetos de cobertura conforme o anexo B.5 da Norma Brasileira 8800.

Com as equações 5 e 6 é possível demonstrar o peso próprio (pp) do elemento ripa e caibro, através de suas dimensões e da sua densidade.

$$pp \text{ ripa} = 12,8 \cdot \left(\frac{2}{100}\right) \cdot \left(\frac{5}{100}\right) \cdot (730 \cdot 10) = 93,44 \text{ N} \quad (5)$$

$$pp \text{ caibro} = 4,26 \cdot \left(\frac{5}{100}\right) \cdot \left(\frac{5}{100}\right) \cdot (730 \cdot 10) = 77,75 \text{ N} \quad (6)$$

Com os dados referentes ao peso próprio da ripa e do caibro foram feitos os cálculos através da equação 7 para o conhecimento do carregamento por metro quadrado referente a esses dois elementos em cada água do telhado.

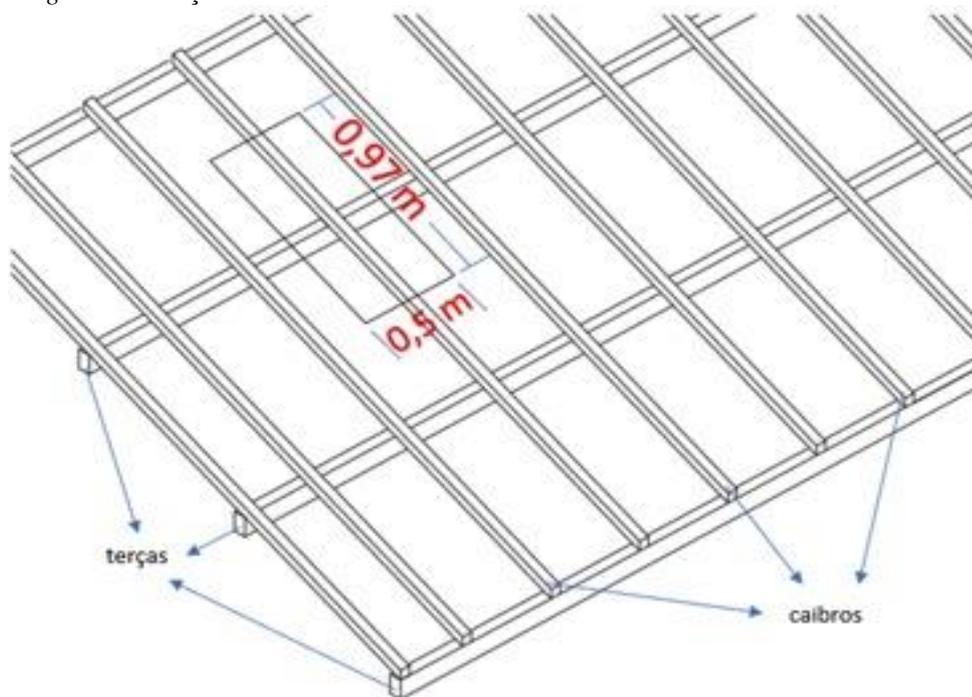
$$pp = \frac{(11 \cdot 93,44) + (27 \cdot 77,75)}{4,26 \cdot 12,8} = 57,35 \text{ N/m}^2 \quad (7)$$

O carregamento que as telhas exercem sobre a terço é dado pela equação 8, onde é necessário o uso de dezessete telhas por metro quadrado com massa de 3,4 Kg cada.

$$pp = (17 \cdot 3,4) \cdot 10 = 578 \text{ N/m}^2 \quad (8)$$

A ação do vento sobre a estrutura equivale a um carregamento de 499,5 N/m², a área de influência sobre a terço é de 0,5 x 0,97 metros conforme a figura 19.

Figura 19 - Terço



Fonte: O autor

A tabela 5 abaixo demonstra os carregamentos que atuam sobre a terço para fim de cálculos do dimensionamento da mesma.

Tabela 5 - Carregamento sobre a Terço

| Carregamento sobre a terço | | | |
|----------------------------|------------------|--------|--------|
| | N/m ² | N/m | N |
| telhas | 578 | 560,66 | 280,33 |
| ripas e caibros | 57,35 | 55,63 | 27,82 |
| sobrecarga | 250 | 242,5 | 121,25 |
| vento de sucção | 499,5 | 484,52 | 242,26 |

Fonte: O autor

3.4.1 Dimensionamento da terça

No dimensionamento das terças foram feitas combinações dos carregamentos em N, obtendo o maior esforço solicitante de cálculo, a favor da segurança os esforços serão majorados de acordo com a tabela 6.

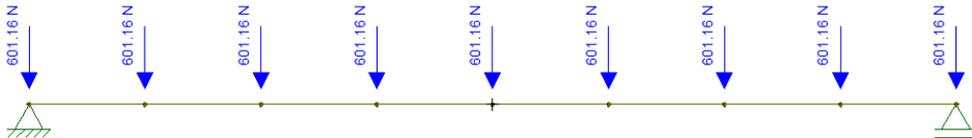
Tabela 6 - Combinação das ações majoradas

| | combinação 1 | combinação 2 |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------|
| somatório | $280,33 + 27,82 + 121,25 = 429,40$ | $(280,33 + 27,82) - 242,26 = 65,89$ |
| majorado | $429,40 \times 1,4 = 600,7$ | $65,89 \times 1,4 = 92,25$ |
| Qsd | 601,16 N | 95,25 N |

Fonte: O autor

O carregamento atuante sobre a terça foi aplicado através do software Ftool e apresentado na figura 20, que demonstrará os esforços solicitantes de cálculo através do anexo A, para o dimensionamento da terça.

Figura 20 - Carregamento sobre a terça.



Fonte: O autor

O carregamento descrito acima gera um momento fletor na terça equivalente à 240,5 KN.cm, descrito no anexo A, este resultado obtido demonstra que a peça de madeira destinada para a terça deve possuir um momento resistente de cálculo (M_d) igual ou superior a este valor. A equação 10 foi adaptada de modo que encontre o valor mínimo do módulo de resistência (W_c) da peça de madeira, através do momento solicitante de cálculo pela resistência a compressão.

$$W_c \geq \frac{M_d}{f_{cd}} = \frac{240,46}{1,49} = 161,38 \text{ cm}^3 \quad (9)$$

O perfil atribuído para a terça possui uma seção retangular de 6 x 10 centímetros, o módulo de resistência a flexão de uma seção retangular é verificado pela equação 11.

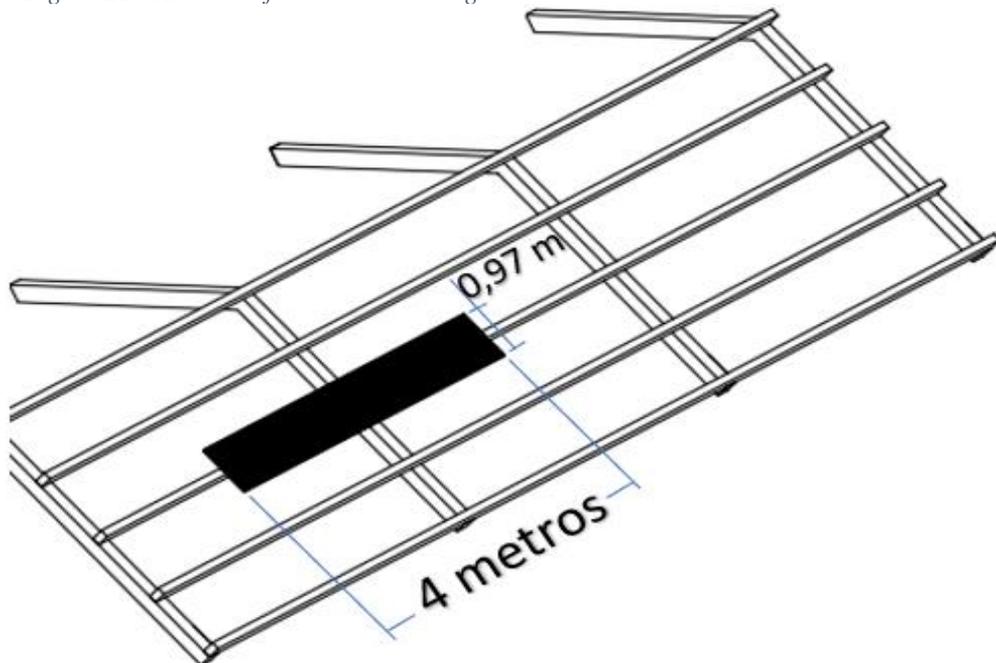
$$W = \frac{I}{\left(\frac{d}{2}\right)} = \frac{\left(\frac{b \cdot h^3}{12}\right)}{\left(\frac{d}{2}\right)} = \frac{\left(\frac{6 \cdot 10^3}{12}\right)}{\left(\frac{6}{2}\right)} = 166,67 \text{ cm}^3 \quad (10)$$

3.5 Carregamentos

Os carregamentos apresentados abaixo referem-se as cargas permanentes e cargas variáveis sobre as vigas em estudo, ambas as vigas possuíram os mesmos carregamentos. O que irá diferir no dimensionamento das vigas de aço e de madeira, será a força atuante sobre elas devido ao seu peso próprio. Os cálculos dos carregamentos serão embasados na Norma Brasileira 8800.

A concentração da força na viga é obtida através da área de influência do carregamento sobre a mesma. A viga recebe o carregamento da terça, que está disposta entre si a uma distância de 0,97 metros e a viga possui um vão de 4 metros. Através das distâncias entre a terça e a viga temos a área de influência dos carregamentos sobre a viga equivalente a 3,88 m² conforme figura 21.

Figura 21 - Área de influência sobre a viga.



Fonte: O autor

3.5.1 Carregamento devido ao peso próprio da telha, ripa, caibro e terça.

As cargas permanentes devido ao peso próprio dos elementos telha, ripa, caibro e terça geram esforços pontuais sobre a viga. Para fim de cálculo dos esforços sobre a viga foram adquiridos os dados referentes a quantidade do material e ao peso próprio de cada elemento em uma água da cobertura, descritos na tabela 7.

Tabela 7 - Carregamento sobre uma água da Cobertura

| carregamento sobre uma água da cobertura | | | | | | |
|--|-----------|-------------|------------|-----------------------|------|--------------|
| | seção | comprimento | quantidade | densidade | peso | carregamento |
| telha | — | — | 853 | — | 34 N | 29002 N |
| ripa | 2 x 5 cm | 12,8 m | 11 | 7300 N/m ³ | — | 1027,84 N |
| caibro | 5 x 5 cm | 4,26 m | 27 | 7300 N/m ³ | — | 1943,63 N |
| terça | 6 x 10 cm | 12,8 m | 4 | 7300 N/m ³ | — | 2242,56 N |
| total | — | — | — | — | — | 34216,03 N |

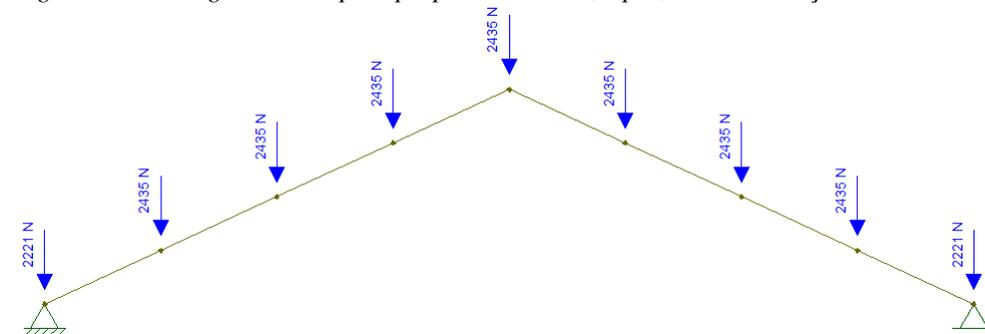
Fonte: O autor

Com base nos dados acima uma água desta cobertura possui um carregamento total de 33960,53 N, para cálculo dos esforços na viga esse carregamento será obtido em metros quadrados com relação a dimensão da água e será concentrado sobre a viga diante da área de influência do carregamento sobre a viga, através da equação 11.

$$G_{pp} = \left(\frac{34216,03}{54,53} \right) \cdot 3,88 = 2434,6 \text{ N} \quad (11)$$

Para resultados referentes aos esforços solicitantes de cálculo essa força foi aplicada na viga através do software Ftool, conforme apresentado pela figura 22.

Figura 22 - Carregamento do peso próprio das telhas, ripas, caibros e terças



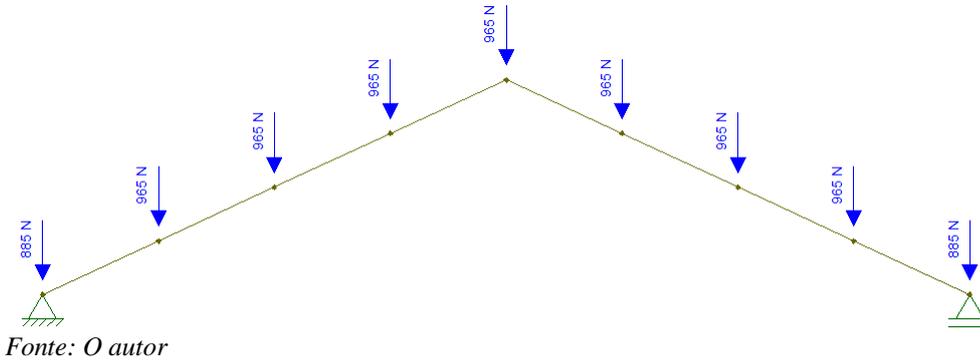
Fonte: O autor

3.5.2 Carregamento da força devido à sobrecarga

Em projetos de coberturas a Norma Brasileira 8800 através do item B.5.1 do anexo B determina uma sobrecarga mínima equivalente a $0,25 \text{ KN/m}^2$. A força a ser aplicada na viga em função da sobrecarga é expressada pela equação 12, apresentada na figura 23.

$$G_{sc} = 250 \cdot 3,88 = 970 \text{ N} \quad (12)$$

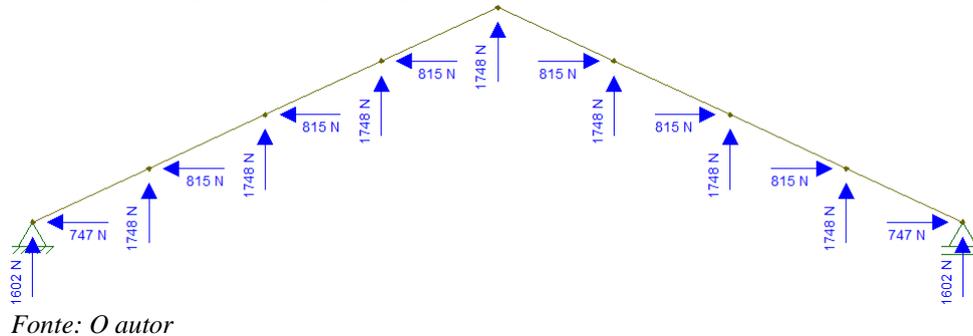
Figura 23 – Carregamento decorrente da sobrecarga



3.5.3 Carregamento da força devido a ação do vento a 0°

O vento possui uma pressão dinâmica sobre a estrutura de $499,5 \text{ N/m}^2$, a força referente a essa pressão será concentrada sobre a viga com base na área de influência do vento. A cobertura possui uma inclinação de 25° o que implica na decomposição da força atuante sobre a viga, descrita na figura 24.

Figura 24 - Carregamento da força ação do vento a 0°



A resultante da força na horizontal é dada pela equação 13.

$$Q_{v1} = (\cos 25^\circ \cdot 499,5) \cdot 3,88 = 1756 \text{ N} \quad (13)$$

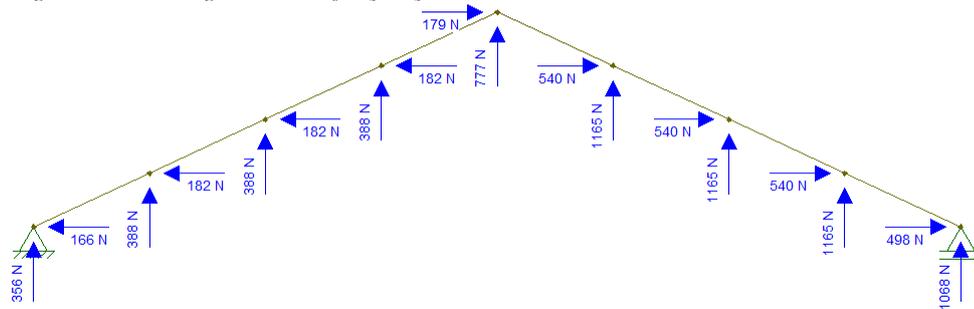
A resultante da força na vertical é dada pela equação 14.

$$Q_{v1} = (\sin 25^\circ \cdot 499,5) \cdot 3,88 = 820 \text{ N} \quad (14)$$

3.5.4 Carregamento da força devido a ação do vento a 90°

A cobertura quando sujeita a ação do vento à 90° apresenta pressões diferentes em suas águas, sendo em uma água com pressão dinâmica de 111 N/m^2 e outra com 333 N/m^2 , originando em esforços diferentes para cada situação, representados pela figura 25.

Figura 25 - Carregamento da força ação do vento a 90°



Fonte: O autor

3.5.4.1 Ação do vento à 90° na água da cobertura lado esquerdo

A resultante da força na horizontal é dada pela equação 15.

$$Q_{v2} = (\cos 25^\circ \cdot 111) \cdot 3,88 = 390 \text{ N} \quad (15)$$

A resultante da força na vertical é dada pela equação 16.

$$Q_{v2} = (\sin 25^\circ \cdot 111) \cdot 3,88 = 182 \text{ N} \quad (16)$$

3.5.4.2 Ação do vento à 90° na água da cobertura do lado direito

A resultante da força na horizontal é dada pela equação 17.

$$Q_{v2} = (\cos 25^\circ \cdot 333) \cdot 3,88 = 1171 \text{ N} \quad (17)$$

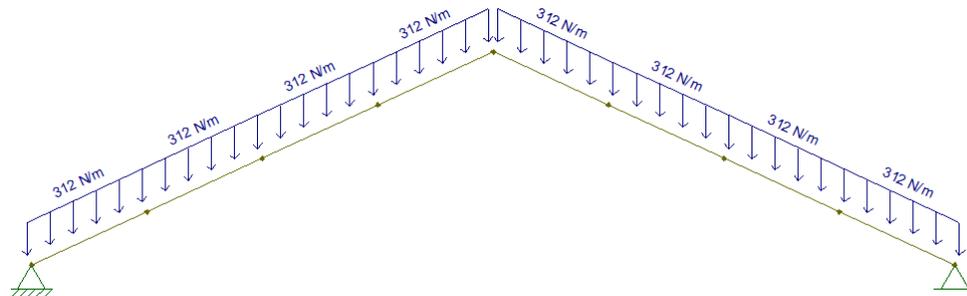
A resultante da força na vertical é dada pela equação 18.

$$Q_{v2} = (\sin 25^\circ \cdot 333) \cdot 3,88 = 546 \text{ N} \quad (18)$$

3.6 Viga de aço.

A viga proporciona um carregamento sobre ela mesma devido ao seu peso próprio, que será aplicado através do software Ftool, representado pela figura 26.

Figura 26 - Carregamento devido ao peso próprio da viga



Fonte: O autor

A tabela 8 abaixo descreve os esforços referentes aos carregamentos aplicados sobre a viga de sustentação do telhado, obtidos através do software Ftool, descritos no anexo A.

Tabela 8 - Esforços solicitantes de cálculo

| | | Esforços solicitantes de cálculo | | | |
|-----|--|----------------------------------|----------|------------|--------------------|
| | | Compressão N | Tração N | Cortante N | Momento Fletor N.m |
| Gpp | Peso próprio (telhas, ripas, caibros e terças) | 3598 | 0 | 7726 | 17045 |
| | Peso Próprio (viga de aço) | 509 | 0 | 1092 | 2108 |
| Gsc | Sobre carga | 1426 | 0 | 3062 | 6755 |
| Qv1 | Vento a 0° | 0 | 3263 | 5231 | 9026 |
| Qv2 | Vento a 90° | 0 | 2563 | 2631 | 3900 |

Fonte: O autor

3.6.1 Dimensionamento da Viga de aço

A Norma Brasileira 8800 determina que seja feita combinações últimas referentes as ações permanentes e variáveis de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura através da equação 19 abaixo:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \Psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (19)$$

Para o dimensionamento da viga de aço foi feito as combinações últimas das ações permanentes e as ações variáveis, conforme o item 4.7.7.2.1 da Norma Brasileira 8800. A tabela 8 apresenta para a combinação 01, os resultados referentes as combinações normais com o coeficiente de ponderação das ações com valor de $\gamma_{gi} = 1,25$. E para a combinação 02 apresenta os resultados com o coeficiente de ponderação equivalente à $\gamma_{gi} = 1,00$.

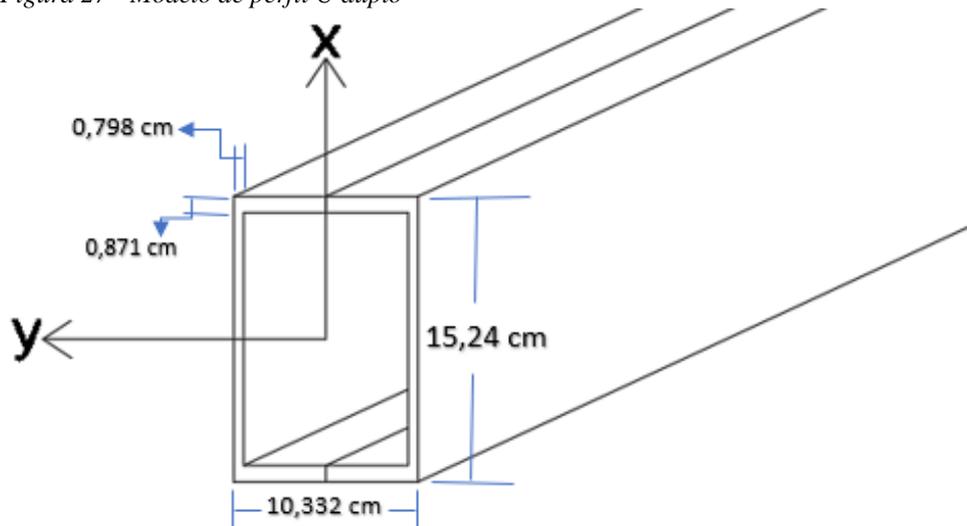
Tabela 9 - Combinações últimas referentes as ações variáveis e permanentes

| | Combinação 01 | | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Gpp + Gsc + Qv1 | Gpp + Gsc + Qv2 | Gpp + Qv1 + Gsc | Gpp + Qv2 + Gsc |
| Compressão N | 7272,75 | 7272,75 | 6844,95 | 6844,95 |
| Tração N | 2740,92 | 2152,92 | 4568,2 | 3588,2 |
| Cortante N | 20009,54 | 17825,54 | 22020,3 | 18380,3 |
| Momento Fleter N.m | 41655,59 | 37349,75 | 44683,65 | 37507,25 |
| | Combinação 02 | | | |
| | Gpp + Gsc + Qv1 | Gpp + Gsc + Qv2 | Gpp + Qv1 + Gsc | Gpp + Qv2 + Gsc |
| Compressão N | 6246 | 6246 | 5818,2 | 5818,2 |
| Tração N | 2740,92 | 2152,92 | 4568,2 | 3588,2 |
| Cortante N | 17805,04 | 15621,04 | 19815,8 | 16175,8 |
| Momento Fleter N.m | 36867,34 | 32561,5 | 39895,4 | 32719 |

Fonte: O autor

A viga de aço tem um comprimento destravado de 3,86 metros e será composta por um perfil U duplo de 6" 31,24 kg/m da Gerdau, com sua seção representada na figura 27

Figura 27 - Modelo de perfil U duplo



Fonte: O autor

As equações 20 e 21 apresentam a inércia do perfil em torno de seu eixo y e x, a viga estará disposta a sofrer flexão em torno do y.

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} (\text{externa}) - \frac{b \cdot h^3}{12} (\text{interna}) = 1257,24 \text{ cm}^4 \quad (20)$$

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} (\text{externa}) - \frac{b \cdot h^3}{12} (\text{interna}) = 650,80 \text{ cm}^4 \quad (21)$$

3.6.1.1 Verificação quanto a esbeltez do perfil

A equação 22 abaixo determina se o perfil é esbelto.

$$\frac{K \cdot L}{r_y} = 95,54 \leq 200 \quad (22)$$

De acordo com a tabela 10, o valor do coeficiente é igual a $K=1$, por se tratar de um perfil com rotação e translação impedida em uma extremidade e a outra extremidade com rotação impedida e translação livre.

Tabela 10 - Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

| | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|
| A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | (f) |
| |  |  |  |  |  |  |
| Valores teóricos de K_x ou K_y | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 |
| Valores recomendados | 0,65 | 0,80 | 1,2 | 1,0 | 2,1 | 2,0 |
| Código para condição de apoio |  | Rotação e translação impedidas | | | | |
| |  | Rotação livre, translação impedida | | | | |
| |  | Rotação impedida, translação livre | | | | |
| |  | Rotação e translação livres | | | | |

Fonte: ABNT 8800 (2008, p.125)

O raio de giração de uma seção tubular retangular é dado pelas equações 23 e 24, através da inércia pela área da seção da viga. Foram calculados o raio de giração em torno dos dois eixos e para fim de cálculo do índice de esbeltez será usado o raio de giração de menor valor.

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1257,24}{39,8}} = 5,62 \text{ cm} \quad (23)$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{650,80}{39,8}} = 4,04 \text{ cm} \quad (24)$$

3.6.1.2 Verificação quanto à compressão resistente de cálculo da viga

No dimensionamento de barras prismáticas submetidas a força axial de compressão devem ser atendidas a condição onde a força axial de compressão solicitante de cálculo (N_c, sd), deve ser menor ou igual a força axial de compressão resistente de cálculo (N_c, rd).

O item 5.3.2 da Norma Brasileira 8800 determina a equação 25 referentes à força axial de compressão resistente de cálculo.

$$N_{c,rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} = 704,64 \text{ KN} \quad (25)$$

O fator de redução associado à resistência à compressão, χ , está associado ao índice de esbeltez reduzido, que é dado por:

$$\lambda_0 \leq 1,5 \text{ logo temos o fator de redução } \chi = 0,658^{(\lambda_0)^2} = 0,779$$

O índice de esbeltez reduzido é obtido pela equação 26.

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} = 0,773 \quad (26)$$

Q = é o fator de redução associado a flambagem local, obtido no Anexo F da Norma Brasileira 8800, para este caso o valor de $Q = 1,00$, pois a relação b/t não ultrapassa o b/t limite descrito na tabela F.1 p. 128.

A_g = é a área bruta da seção transversal da viga

Onde a força axial de flambagem elástica (N_e), é obtido pela equação 27 conforme o anexo E da Norma Brasileira 8800.

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K \cdot L)^2} = 1665,6 \text{ KN} \quad (27)$$

3.6.1.3 Verificação do momento resistente de cálculo do perfil

A verificação é calculada através do parâmetro de esbeltez (λ) da viga correspondente a plastificação (λ_p) e ao início do escoamento (λ_r).

3.6.1.3.1 A Flambagem lateral por torção (FLT).

Parâmetro de esbeltez (λ) é dado pela equação 28.

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{386}{5,62} = 68,68 \quad (28)$$

A equação 29 define o parâmetro de esbelteza correspondente a plastificação (λ_p).

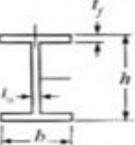
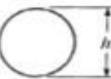
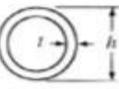
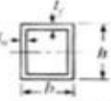
$$\lambda_p = \frac{0,13 \cdot E}{M_{pl}} \cdot \sqrt{J^* A} = 130 \quad (29)$$

M_{pl} = corresponde ao momento fletor de plastificação da seção transversal, igual ao produto do módulo de resistência plástico (Z) pela resistência ao escoamento do aço (f_y), dado pela equação 30.

$$M_{pl} = Z \cdot f_y = 202 \cdot 25 = 5050 \text{ KN.cm} \quad (30)$$

O módulo plástico de uma seção tubular retangular é dado através da equação 31 descrita conforme a tabela 11.

Tabela 11 – Módulo de resistência plástica

| Seção | Módulo Plástico Z | Z/W |
|---|---|--|
|  | $\frac{bh^2}{4}$ | 1,5 |
|  | $(x-x)$ $bt_f(h-t_f) + \frac{t_w}{4}(h-2t_f)^2$ $(y-y)$ $\frac{b^2 t_f}{2} + \frac{1}{4}(h-2t_f)t_w^2$ | 1,12 (aprox.) 1,55 (aprox.) |
|  | $\frac{h^3}{6}$ | 1,70 |
|  | $\frac{h^3}{6} \left[1 - \left(1 - \frac{2t}{h} \right)^3 \right]$ $th^2 (t \ll h)$ | $\frac{16}{3\pi} \left[\frac{1 - \left(1 - \frac{2t}{h} \right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2t}{h} \right)^4} \right]$ 1,27 ($t \ll h$) |
|  | $\frac{bh^2}{4} \left[1 - \left(1 - \frac{2t_n}{b} \right) \left(1 - \frac{2t_f}{h} \right)^2 \right]$ | 1,12 (aprox.) |
|  | $\frac{bh^2}{12}$ | 2 |

Fonte: (PFEIL:PFEIL, p.351)

$$Z = \frac{b \cdot h^2}{4} \cdot \left(1 - \left(1 - \left(\frac{2 \cdot t_0}{b} \right) \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{2 \cdot t_f}{h} \right) \right)^2 \right) = 202 \text{ cm}^3 \quad (31)$$

A constante de torção da seção tubular retangular é dada pela equação 32.

$$J = \frac{2 \cdot b^2 \cdot h^2}{\left(\frac{b}{t_f} \right) + \left(\frac{h}{t_w} \right)} = 1601,65 \text{ cm}^4 \quad (32)$$

Na equação 33 se dá o parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento (λ_r)

$$\lambda_r = \frac{2,00 \cdot E}{M_r} \cdot \sqrt{J \cdot A} = 3199,73 \quad (33)$$

M_r = é o momento fletor correspondente ao início do escoamento, incluindo a influência das tensões residuais pela equação 34

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \cdot W = 3156,25 \text{ KN.cm} \quad (34)$$

σ_r = tem valor de 30% da resistência ao escoamento do aço utilizado conforme nota 5) da tabela G.1 pagina 134 da Norma Brasileira 8800.

A tabela 11 determina que a relação entre o módulo plástico e módulo de resistência elástico é de 1,12. A equação 35 determina o valor do módulo de resistência elástico.

$$W = \frac{Z}{1,12} = \frac{202}{1,12} = 180,36 \text{ cm}^3 \quad (35)$$

A verificação do parâmetro de esbeltez acima determinou que o perfil é compacto, de acordo com alínea a do item 5.1.2.1.1 da Norma Brasileira 8800, onde $\lambda \leq \lambda_p$, logo o momento resistente de cálculo é dado pela equação 36.

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{5050}{1,1} = 4590,9 \text{ KN.cm} \quad (36)$$

3.6.1.3.2 Flambagem local da mesa (FLM).

As equações 37,38 e 39 classificam as seções transversais como compactas, quando o $\lambda \leq \lambda_p$, semi compacta quando $\lambda > \lambda_p$ mas não excedendo o λ_r e esbeltas quando $\lambda > \lambda_r$.

Parâmetro de esbeltez (λ).

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{8,736}{0,798} = 10,94 \quad (37)$$

Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento (λ_r).

$$\lambda_r = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 39,59 \quad (38)$$

Parâmetro de esbeltez correspondente a plastificação (λ_p).

$$\lambda_p = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 31,68 \quad (39)$$

3.6.1.3.3 Flambagem local da alma (FLA)

As equações 40, 41 e 42 classificam as seções transversais como compactas, quando o $\lambda \leq \lambda_p$, semi compacta quando $\lambda > \lambda_p$ mas não excedendo o λ_r e esbeltas quando $\lambda > \lambda_r$.

Parâmetro de esbeltez (λ).

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{8,656}{0,752} = 11,51 \quad (40)$$

Parâmetro de esbeltez correspondente a plastificação (λ_p).

$$\lambda_p = 2,42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 68,44 \quad (41)$$

Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento (λ_r).

$$\lambda_r = 5,7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 161,22 \quad (42)$$

Os resultados obtidos acima determinam que para a FLA e para a FLM a equação para o momento resistente de cálculo é dada pela equação 43.:

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{5050}{1,1} = 4590,9 \text{ KN.cm} \quad (43)$$

3.6.1.3.4 Verificação da cortante

O item 5.4.3.1.1 da Norma Brasileira determina que para verificação da cortante em perfil compacto de seção tubular retangular, deve obedecer a equação 44.

$$V_{rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{364,8}{1,1} = 331,63 \text{ KN} \quad (44)$$

A força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento é dada através da equação 45.

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 364,8 \text{ KN} \quad (45)$$

A área efetiva de cisalhamento de uma seção tubular retangular de acordo com o item 5.4.3.2 da Norma Brasileira 8800 é dada através da equação 46.

$$A_w = 2 \cdot h \cdot t_w = 24,32 \text{ cm}^2 \quad (46)$$

h =altura do perfil. (15,24.cm)

t_w =espessura da alma. (0,798.cm)

3.6.1.3.5 Verificação final da viga

O item 5.5.1.2 na Norma Brasileira 8800 determina que para barras submetidas a atuação simultânea de força axial de tração ou de compressão e de momento fletores, devem ser obedecidas as limitações descritas através da equação 47.

$$\frac{N_{sd}}{N_{rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{x,sd}}{M_{x,rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,rd}} \right) \leq 1 \quad (47)$$

$$0,896 \leq 1$$

N_{sd} =força axial solicitante de cálculo. (22,02.KN)

N_{rd} =força axial resistente de cálculo. (704,64.KN)

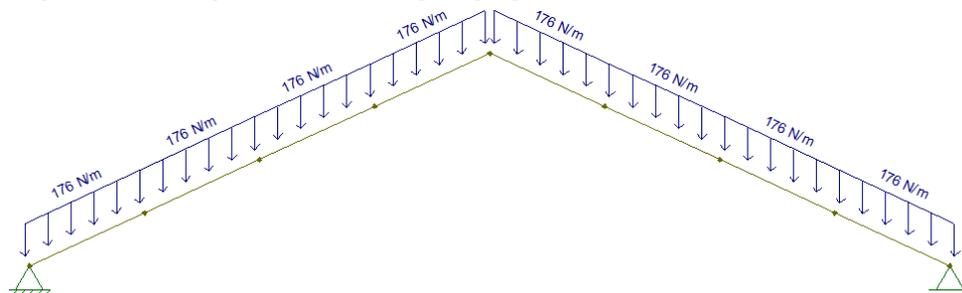
$M_{y,sd}$ =momento fletor solicitante de cálculo. (44,683.KN)

$M_{y,rd}$ =momento fletor resistente de cálculo. (45,909.KN)

3.7 Viga de madeira

O carregamento sobre a viga devido ao seu peso próprio será aplicado pelo software Ftool, conforme figura 28 abaixo.

Figura 28 - Carregamento devido ao peso próprio.



Fonte: O autor

Os esforços na viga devido seus carregamentos foram obtidos através do software Ftool e apresentados na tabela 12 abaixo.

Tabela 12 – Esforços Solicitante de cálculo

| | | Esforços solicitantes de cálculo | | | |
|----|--|----------------------------------|--------|----------|----------------|
| | | Compressão | Tração | Cortante | Momento Fletor |
| Pg | Peso próprio (telhas, ripas, caibros e terças) | 3598 | 0 | 7726 | 17045 |
| | Peso Próprio (viga de madeira) | 287 | 0 | 616 | 1189 |
| qs | Sobre carga | 1426 | 0 | 3062 | 6755 |
| V1 | Vento a 0° | 0 | 3263 | 5231 | 9026 |
| V2 | Vento a 90° | 0 | 2563 | 2631 | 3900 |

Fonte: O autor

3.7.1 Dimensionamento da viga de madeira

De acordo com o item 5.7.1 da Norma Brasileira 7190 ela determina que as combinações ultimas sejam feitas através da equação 48.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} \cdot F_{Gi,k} + \gamma_Q \left(F_{Q1,k} + \left(\sum_{j=2}^n \psi_{0j} \cdot F_{Qj,k} \right) \right) = \quad (48)$$

A tabela 13 apresenta os resultados solicitantes de cálculo finais para dimensionamento da viga.

Tabela 13 - Combinações ultimas normais.

| | Combinação | | |
|----------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Pg + qs | Pg + V1 | Pg + V2 |
| | (1,4 * Pg) + (1,4 * qs) | (1,4 * Pg) + (1,4 * (0,75 * V1)) | (1,4 * Pg) + (1,4 * (0,75 * V2)) |
| Compressão | -7435,4 | -2012,85 | -2747,85 |
| Cortante | 15965,6 | 17171,35 | 14441,35 |
| Momento Fletor | 34984,6 | 35004,9 | 29622,6 |

Fonte: O autor

As combinações ultimas normais feitas acima destaca a combinação referente ao peso próprio mais a sobrecarga, levando em consideração para fins de cálculo o esforço de pior situação da cortante, descritos na tabela 14 a seguir

Tabela 14 - Esforços finais solicitantes de cálculo.

| Esforços principais | | |
|---------------------|--------------|----------------------|
| Compressão (N) | Cortante (N) | Momento Fletor (N.m) |
| -7435,4 | 17171,35 | 34984,6 |

Fonte: O autor

A peça utilizada para a viga possui seção de 18 x 30 cm com um comprimento destravado de 3,86 metros, sendo utilizado para essa peça a madeiramento dos eucaliptos citriodora.

3.7.2 Propriedades da madeira

A madeira possui tais propriedades como densidade que para o caso em estudo é equivalente à 7300 N/m^3 .

A resistência dessa madeira, de acordo com a tabela E.1 da Norma Brasileira 7190, trata-se de uma resistência à compressão a fibra igual a $f_{c0} = 62 \text{ MPa}$, resistência ao cisalhamento igual a $f_v = 10,7 \text{ MPa}$ e módulo de elasticidade longitudinal igual a $E_{c0} = 18421 \text{ MPa}$.

A umidade tem grande interferência na resistência da madeira, com isso o item 6.1.5 da Norma Brasileira 7190 através da tabela 15 define as classes de umidade a serem determinadas em projetos.

Tabela 15 - Tabela das classes de umidade.

| 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 p.14)

3.7.3 Coeficiente de modificação (K_{mod})

O item 6.4.4 da Norma Brasileira 7190 define para fim de cálculo um coeficiente de modificação obtido pela equação 49, em função da classe de carregamento da estrutura, da classe da umidade admitida e do eventual emprego de madeira de segunda qualidade.

$$K_{mod} = K_{mod,1} \cdot K_{mod,2} \cdot K_{mod,3} = 0,48 \quad (49)$$

O Cálculo de modificação 1 ($K_{mod,1}$) leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado, através da tabela 16 considerando a escolha de acordo com o item 5.2 da Norma Brasileira 7190. Neste caso em estudo o carregamento é permanente e madeira serrada.

Tabela 16 - Valores de $K_{mod,1}$.

| Classes de carregamento | Tipos de madeira | |
|-------------------------|--|--------------------|
| | Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada | Madeira recomposta |
| Permanente | 0,60 | 0,30 |
| Longa duração | 0,70 | 0,45 |
| Média duração | 0,80 | 0,65 |
| Curta duração | 0,90 | 0,90 |
| Instantânea | 1,10 | 1,10 |

Fonte: NBR-7190 (1997 p.18)

O cálculo de modificação 2 ($K_{mod,2}$) leva em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado disposto na tabela 17. No caso em estudo trata-se de madeira serrada e a umidade do ambiente pertence a classe 2.

Tabela 17 - Valores de $K_{mod,2}$.

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

Fonte: NBR-7190 (1997 p.18)

O cálculo de modificação 3 ($K_{mod,3}$) foi adotado madeira de segunda categoria admitindo valor de $K_{mod,3} = 0,8$, afim de se levar em conta o risco da presença de nós de madeira não detectáveis pela inspeção visual.

3.7.4 Ponderação da resistência solicitante de cálculo da madeira.

O item 6.4.5 da Norma Brasileira 7190 determina os coeficientes para que seja feito uma ponderação da resistência para o estado limite último, utilizados para o cálculo final no dimensionamento.

A resistência a compressão e tração da madeira é dado pela equação 50.

$$f_{cd} = K_{mod} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\gamma_{wc}} \right) = 14,9 \text{ MPa} = 1,49 \text{ KN/cm}^2 \quad (50)$$

f_{ck} = é dado através da resistência a compressão (f_{c0}) pela ($f_{cN,k}$).

γ_{wc} = coeficiente de ponderação.

A resistência ao cisalhamento da madeira é dada pela equação 51.

$$f_{vd} = K_{mod} \cdot \left(\frac{f_{vk}}{\gamma_{wt}} \right) = 1,54 \text{ MPa} \quad (51)$$

f_{vk} = é dado através da resistência a cisalhamento (f_v) pelo ($f_{wv,k}$)

γ_{wv} = coeficiente de ponderação.

Módulo de elasticidade da madeira é dado pela equação 52.

$$E_{ef} = K_{mod} \cdot E_{c0} = 8842,1 \text{ MPa} \quad (52)$$

3.7.5 Propriedades geométricas da viga de madeira

A peça de madeira em estudo possui uma seção de 18 x 30 cm. Com inercia da peça em x e y, conforme as equações 53 e 54.

$$I_x = \frac{(30 \cdot 18^3)}{12} = 14580 \text{ cm}^4 \quad (53)$$

$$I_y = \frac{18 \cdot 30^3}{12} = 40500 \text{ cm}^4 \quad (54)$$

As equações 55 e 56 demonstram o módulo de resistência a flexão correspondente a viga.

$$W_x = \frac{I_x}{y} = \frac{14580}{15} = 972 \text{ cm}^3 \quad (55)$$

$$W_y = \frac{I_y}{y} = \frac{40500}{15} = 2700 \text{ cm}^3 \quad (56)$$

y = é a distancia entre o centro de gravidade da seção a extremidade da parte comprimida.

Índice de esbeltez da viga com relação ao eixo x dado pela equação 57.

$$\lambda_x = \frac{L}{r_x} = \frac{0,97}{\sqrt{\frac{I_x}{A}}} = \frac{97}{\sqrt{\frac{14580}{18.30}}} = 18,66 \quad (57)$$

Índice de esbeltez da viga com relação ao eixo y dado pela equação 58.

$$\lambda_y = \frac{L}{r_y} = \frac{97}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{97}{\sqrt{\frac{40500}{18.30}}} = 11,20 \quad (58)$$

3.7.6 Verificações com relação ao momento fletor e a compressão

Os resultados acima relacionados ao índice de esbeltez determinam que a viga se trata de uma coluna curta, direcionando a verificação do estado limite ultimo para a flexão composta reta através da equação 59.

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{cd}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Md}}{f_{cd}} \leq 1 \quad (59)$$

$$85,733 \cdot 10^{-6} + 869,748 \cdot 10^{-3} \leq 1$$

$$0,8698 \leq 1$$

σ_{Nd} = tensão de compressão, força sobre a área. $\left(\frac{7,45}{540}\right)$.

σ_{Md} = tensão de flexão, momento solicitante de cálculo (M_{sd}) sobre o modulo de resistência da madeira (W_y). ($3499/2700$)

f_{cd} =resistência de compressão e tração da madeira. (1,49)

3.7.7 Verificação quanto ao cisalhamento

A verificação quanto ao cisalhamento se deu através da equação 60.

$$\tau d \leq f_v \quad (60)$$

$$0,048 \text{ KN/cm}^2 \leq 0,154 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{onde: } \tau d = \frac{V_{sd} \cdot S}{I \cdot b}$$

V_{sd} =é a cortante solicitante de calculo. (17,17.KN)

S =é a área da parte comprimida da peça, pela distancia entre o centro de gravidade da area comprimida ao centro de gravidade da seção total. ($270 \cdot 7,5 \cdot \text{cm}^3$)

I =inercia referente ao eixo de flexão. ($40500 \cdot \text{cm}^4$)

b =comprimento da base referente ao eixo de flexão (18. cm)

f_v =resistencia ao cisalhamento da madeira (0,154. KN/cm^2)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados demonstrado neste capítulo objetiva promover uma visão do processo de pesquisa no dimensionamento da cobertura com duas águas, tendo em questão o uso de uma viga inclinada de madeira ou uma viga inclinada de aço para sua sustentação. Para isto foram dimensionadas as vigas de madeira e de aço analisando sua viabilidade, peso, custo. Para esta análise com base nos dados coletados foram elaboradas tabelas contendo informações que permitiram a avaliação e discussão dos resultados tendo como base informações coletadas.

De início foi avaliado a velocidade característica do vento na região onde estará sendo projetada a obra. Com os dados referente à esta avaliação mais os dados da edificação foi determinando para ação do vento uma pressão dinâmica de 555 N/m^2 , sobre a cobertura. A inclinação de 25° do telhado foi determinada através do modelo da telha, sendo ela de cerâmica

do tipo colonial onde a mesma será amarrada as ripas através de um fio de arame. A cobertura possui uma dimensão de 4,26 x 12,8 m em cada água.

Para os esforços resultantes sobre a viga inclinada de sustentação da estrutura da cobertura foram analisados o madeiramento do tipo Eucalyptus Citriodora com densidade de 7300 N/m³ para ripas, caibros e terças.

A NBR-8800 determina em projetos de cobertura uma sobrecarga mínima de 250 N/m² atuando sobre a cobertura.

A tabela 7, já citada no corpo do trabalho na página 41, apresenta o carregamento total referente aos elementos acima citados de 34216,03 N em cada água, equivalente à 627,5 N/m².

| carregamento sobre uma água da cobertura | | | | | | |
|--|-----------|-------------|------------|-----------------------|------|--------------|
| | seção | comprimento | quantidade | densidade | peso | carregamento |
| telha | — | — | 853 | — | 34 N | 29002 N |
| ripa | 2 x 5 cm | 12,8 m | 11 | 7300 N/m ³ | — | 1027,84 N |
| caibro | 5 x 5 cm | 4,26 m | 27 | 7300 N/m ³ | — | 1943,63 N |
| terça | 6 x 10 cm | 12,8 m | 4 | 7300 N/m ³ | — | 2242,56 N |
| total | — | — | — | — | — | 34216,03 N |

Para o dimensionamento da terça foi analisado o peso próprio da telha, ripa, caibro e dela mesma, junto a ação do vento e a sobrecarga. Foram feitas combinações referentes aos esforços resultando uma peça de seção de 6 x 10 cm também de Eucalyptus Citriodora.

O elemento responsável pela sustentação da cobertura e distribuição dos esforços para a edificação recebe os carregamentos referentes à ação do vento, ao peso próprio dos elementos e à sobrecarga. Para a obtenção dos esforços referente à ação do vento foi necessário a decomposição da força devido à inclinação do telhado, os resultados dos esforços estão dispostos no anexo B através do software Ftool.

A viga de aço foi com base em um Perfil U duplo de 6” 31,24 kg/m com um comprimento destravado de 3,86 m. Adicionando para fins de cálculo o carregamento de peso próprio da viga, conforme anexo C. Os carregamentos acima citados, foram aplicados através do software Ftool. Resultando nos esforços solicitantes de cálculo, apresentado de forma individual para cada elemento na tabela 8 inserida no corpo do trabalho na página 44, rerepresentada abaixo:

| Esforços solicitantes de cálculo | | | | | |
|----------------------------------|--|--------------|----------|------------|--------------------|
| | | Compressão N | Tração N | Cortante N | Momento Fletor N.m |
| Gpp | Peso próprio (telhas, ripas, calbros e terças) | 3598 | 0 | 7726 | 17045 |
| | Peso Próprio (viga de aço) | 509 | 0 | 1092 | 2108 |
| Gsc | Sobre carga | 1426 | 0 | 3062 | 6755 |
| Qv1 | Vento a 0° | 0 | 3263 | 5231 | 9026 |
| Qv2 | Vento a 90° | 0 | 2563 | 2631 | 3900 |

Para o dimensionamento da viga de aço foram feitas combinações referentes às ações permanentes e variáveis conforme a equação 19, com o intuito do conhecimento dos esforços solicitante de cálculo da viga, a tabela 9 citada no corpo do trabalho na página 45, apresenta o resultado das combinações dos carregamentos.

| Combinação 01 | | | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Gpp + Gsc + Qv1 | Gpp + Gsc + Qv2 | Gpp + Qv1 + Gsc | Gpp + Qv2 + Gsc |
| Compressão N | 7272,75 | 7272,75 | 6844,95 | 6844,95 |
| Tração N | 2740,92 | 2152,92 | 4568,2 | 3588,2 |
| Cortante N | 20009,54 | 17825,54 | 22020,3 | 18380,3 |
| Momento Fletor N.m | 41655,59 | 37349,75 | 44683,65 | 37507,25 |

| Combinação 02 | | | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Gpp + Gsc + Qv1 | Gpp + Gsc + Qv2 | Gpp + Qv1 + Gsc | Gpp + Qv2 + Gsc |
| Compressão N | 6246 | 6246 | 5818,2 | 5818,2 |
| Tração N | 2740,92 | 2152,92 | 4568,2 | 3588,2 |
| Cortante N | 17805,04 | 15621,04 | 19815,8 | 16175,8 |
| Momento Fletor N.m | 36867,34 | 32561,5 | 39895,4 | 32719 |

Para a viga em estudo foram feitas as verificações referentes a compressão, ao momento fletor e ao cisalhamento de acordo com a tabela acima que determina os esforços mais desfavoráveis através da combinação 1 tendo como cargas permanentes de peso próprio, com ação variável principal o vento e sobrecarga como ação variável secundária ($G_{pp} + Q_{v1} + G_{sc}$). As verificações referentes aos esforços solicitantes aprovaram a utilização do perfil, sendo ele utilizado em 89,60 %.

O dimensionamento da viga de madeira foi com base em *Eucalyptus Citriodora* com uma seção se 18 x 30 m. Os carregamentos atuantes sobre a viga são os mesmos acima citados, diferenciando apenas o peso próprio da viga de madeira resultando em esforços descritos no anexo D, apresentado através da tabela 12 já disposta no corpo do trabalho na página 53, rerepresentada abaixo.

| Esforços solicitantes de cálculo | | | | | |
|----------------------------------|--|------------|--------|----------|----------------|
| | | Compressão | Tração | Cortante | Momento Fletor |
| Pg | Peso próprio (telhas, ripas, caibros e terças) | 3598 | 0 | 7726 | 17045 |
| | Peso Próprio (viga de madeira) | 287 | 0 | 616 | 1189 |
| qs | Sobre carga | 1426 | 0 | 3062 | 6755 |
| V1 | Vento a 0° | 0 | 3263 | 5231 | 9026 |
| V2 | Vento a 90° | 0 | 2563 | 2631 | 3900 |

No dimensionamento da viga de madeira foram feitas as combinações das ações com base na equação 48, determinada através da NBR-7190. Resultando em esforços apresentados na tabela 13 disposta no corpo do trabalho na página 54, aqui rerepresentada.

| Combinação | | | |
|----------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Pg + qs | Pg + V1 | Pg + V2 |
| | $(1,4 * Pg) + (1,4 * qs)$ | $(1,4 * Pg) + (1,4 * (0,75 * V1))$ | $(1,4 * Pg) + (1,4 * (0,75 * V2))$ |
| Compressão | -7435,4 | -2012,85 | -2747,85 |
| Cortante | 15965,6 | 17171,35 | 14441,35 |
| Momento Fletor | 34984,6 | 35004,9 | 29622,6 |

Em destaque para as verificações no dimensionamento da viga de madeira, temos os esforços referentes a compressão e momento fletor através da combinação de peso próprio com a sobrecarga, ($P_g + q_s$), e o esforço da cortante a combinação de peso próprio com vento a 0°, ($P_g + V_1$). As verificações de momento fletor e cisalhamento aprovaram o perfil de modo que o mesmo está sendo utilizado em 86,98%.

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi fazer uma análise comparativa entre uma viga de madeira e uma viga de aço para pórticos de cobertura. Ambas foram dimensionadas e aprovadas quanto aos esforços solicitantes sobre elas. Através do dimensionamento foram obtidos resultados que determinaram sua utilização. A viga de madeira foi utilizada em 86,98% e a viga de aço em 89,6% de sua resistência total. A partir deste resultado entende-se que elas não foram superdimensionadas.

As vigas em estudo possuem o mesmo comprimento de 3,86 metros, sendo que o diferencial entre elas é que: a viga de aço possui um perfil tubular retangular com seção de 10,33 x 15,24 cm e a viga de madeira é composta por uma peça com seção de 18 x 30 cm.

De acordo com orçamentos levantados, anexo E, o preço da viga de aço é de R\$1330,00, enquanto a de madeira é de R\$509,50 por viga.

Com relação ao peso a viga de aço é mais leve que a de madeira, com um peso de 120,59 kg, enquanto a de madeira possui um peso de 157,16 kg.

Através dos resultados apresentados conclui-se que visando o lado econômico é viável a utilização da viga de madeira, ela apresenta uma economia de 61,91% com relação a viga de aço na construção da cobertura. Em contra partida se o projeto necessitar de vigas que proporcionem à estrutura um menor peso, a utilização de vigas de aço equivale a 76,73% do peso da viga de madeira. Também em projetos onde possuem limitações quanto a altura do pé direito do pórtico, com relação a essas duas seções apresentadas a viga de aço tem vantagem por possuir uma altura menor.

Enfim, a utilização dos perfis como sustentação da cobertura comprovou a capacidade de suportar os esforços sofridos perante o carregamento aplicado sobre eles. Para fins de escolha da viga a ser utilizada requer a análise do projeto a ser executado.

6 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988 Versão Corrigida 2:2013. 66 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 8800: Projeto de estruturas e aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 237 p.

ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira de; PINHEIRO, Libânio Miranda. Viabilidade econômica de alternativas estruturais de concreto armado para edifícios. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, n. 19, p. 1-19, 2002.

AutoCAD®, Auto Desk®, 2020

DIAS, Alan. Ligações em estruturas de madeira. São Paulo SP. Disponível em: <http://estruturasdemadeira.blogspot.com/2013/02/ligacoes-em-estruturas-de-madeira.html> Publicado em 15 de fevereiro 2013. Acesso e: abril /2021

FAKURY, R.H.; CASTRO E SILVA, A. L. R.; CALDAS, R.B. Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto. Pearson Education do Brasil, 2016

FTOOL. Two-dimensional Frame Analysis Tool. Versão 2.10 para Windows: <ftp://ftp.tecgraf.puc-rio.br/pub/users/lfm/ftool210win.zip>

GERDAU. Catálogo: Barras e perfis Gerdau. Disponível em www.gerdau.com.br/catálogos-e-manuais Acesso em 07/07/2021

KLETTEMBERG, L. G. Ligações soldadas em estruturas metálicas. Monografia (Especialista em Engenharia de Soldagem) Universidade Federal do Paraná. Paraná, p.150. 2013

LUZ, Gelson. Densidade da Madeira Eucalipto em kg/m³ e outras unidades (e exemplos). Materiais por Gelson Luz, [s. l], 2018. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/densidade-madeira-eucalipto.html> .Acesso em: 07de outubro de 2021.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. Estrutura de madeira, 6. ed, LTC Editora, 2003 p. 6-27

REGIONAL TELHAS, “Estruturas para telhado, aço ou madeira, qual escolher?” Disponível em: <https://blog.regionaltelhas.com.br/estrutura-para-telhado-aco-ou-madeira-qual-escolher/> Publicado em agosto 21, 2018 | Atualizado em março 3, 2021, Acesso em 05/2021

SOUZA, Lília Alves de. "Madeira"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/madeira.htm> Acesso em 02 de maio de 2021.

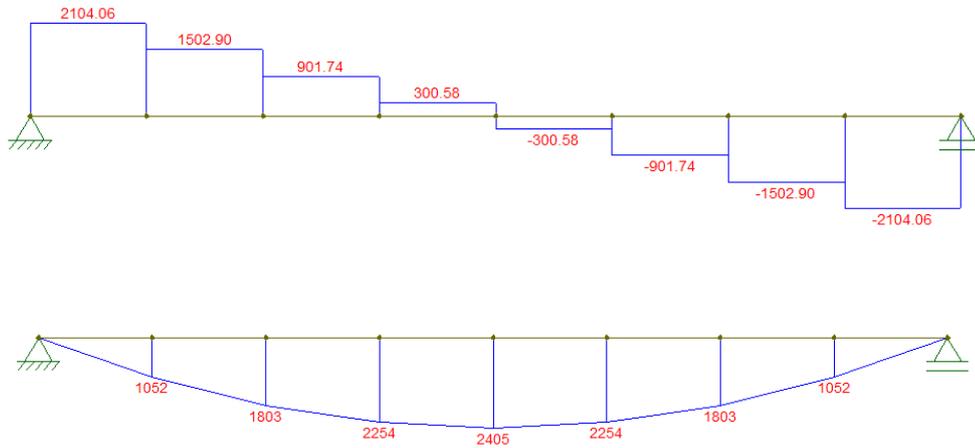
TOP TELHA, Catálogo Técnico. Telha top tem nome. Disponível em: http://toptelha.com.br/catalogos/TopTelha_CatalogoTecnico.pdf Acesso em: 23 de setembro de 2021.

VASCONCELLOS, André Luiz. Manual de construção em aço, Rev. Instituto do Aço, 4. ed. 2011 60 p.

7 ANEXOS

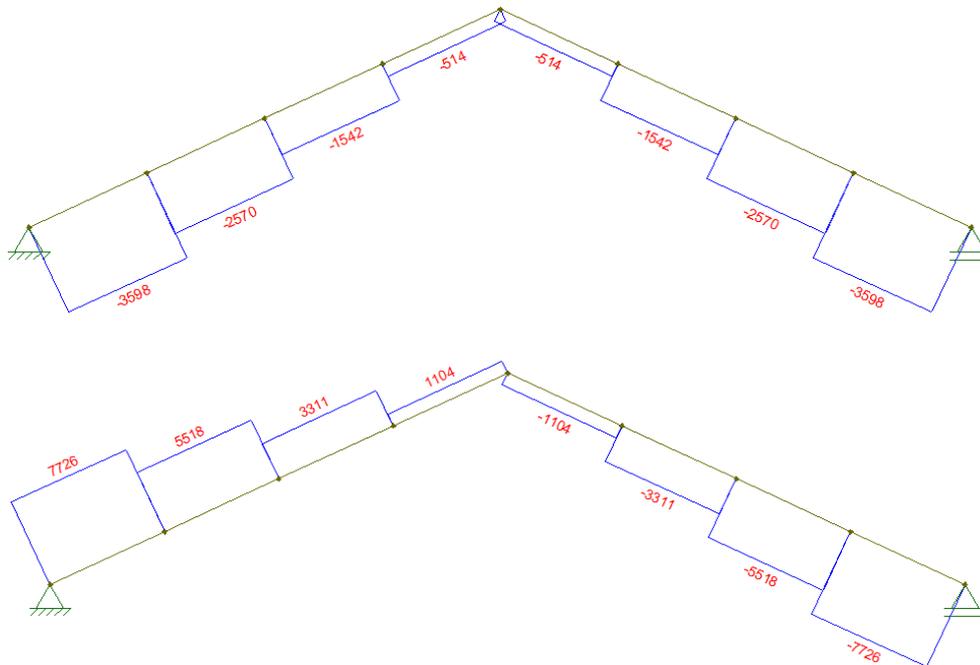
ANEXO A

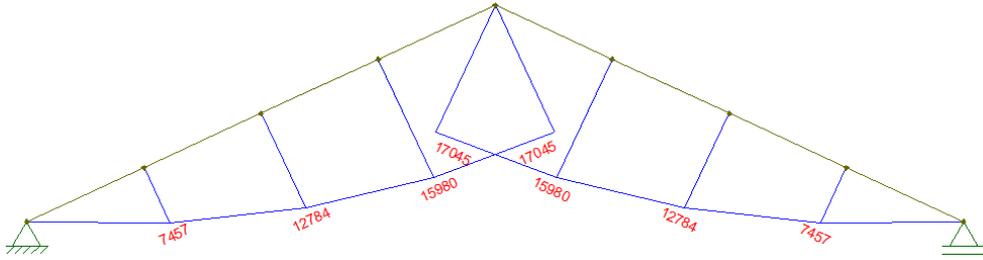
Esforços Referentes ao carregamento da terça



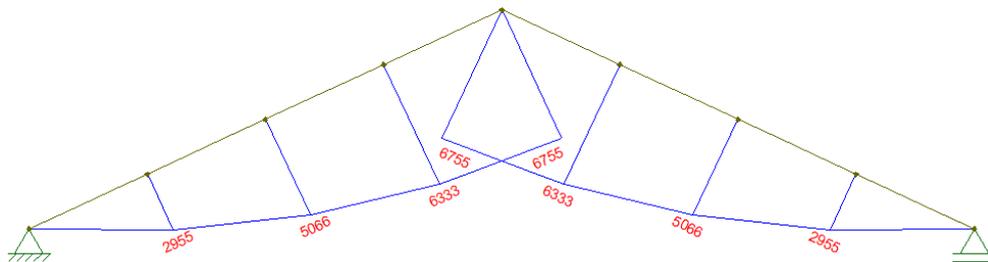
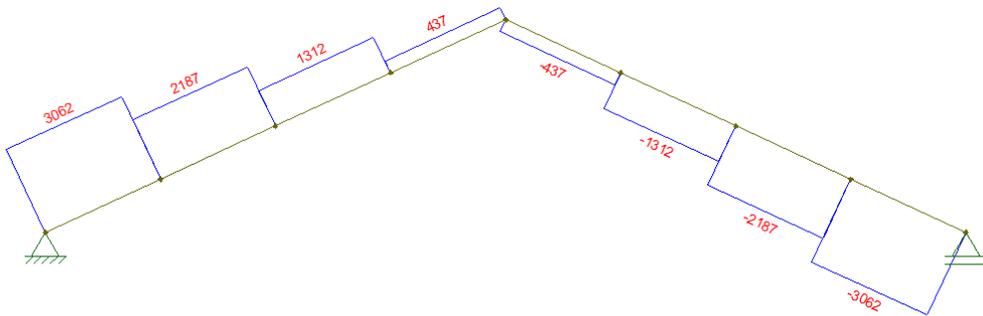
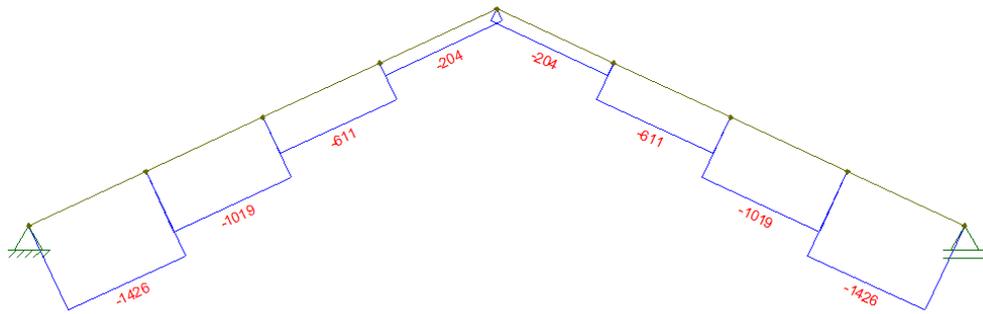
ANEXO B

Esforços referentes ao carregamento do peso próprio, telha, ripa, caibro e terça

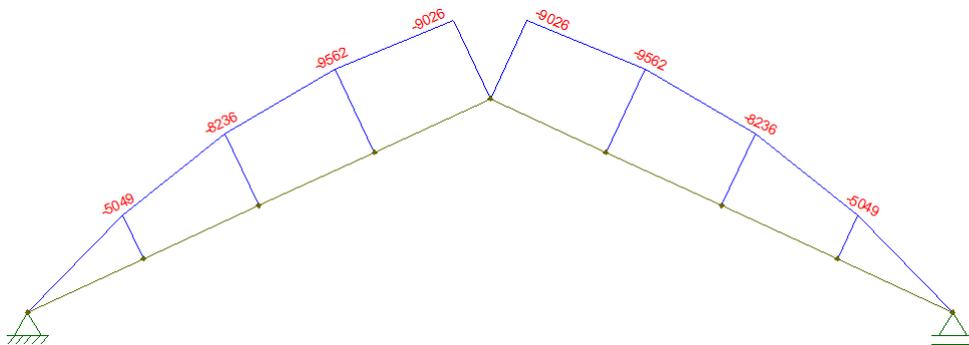
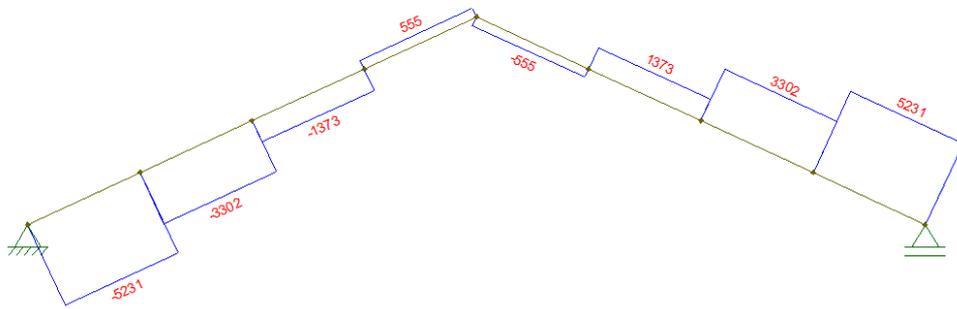
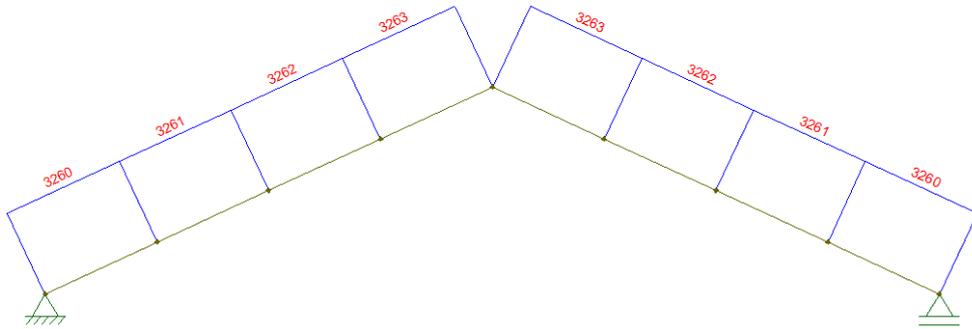




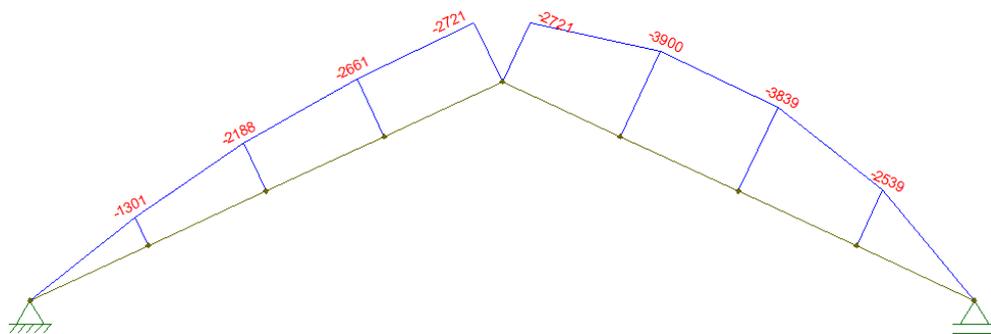
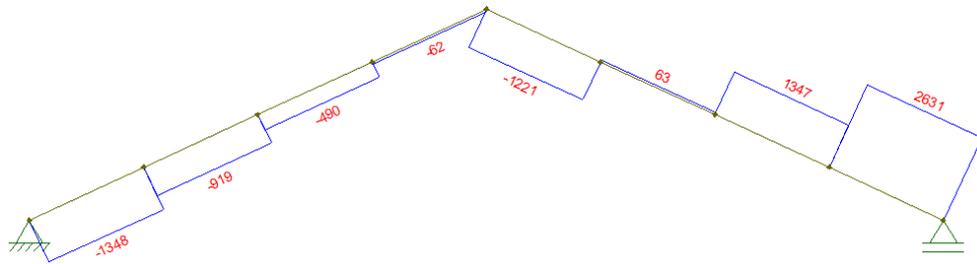
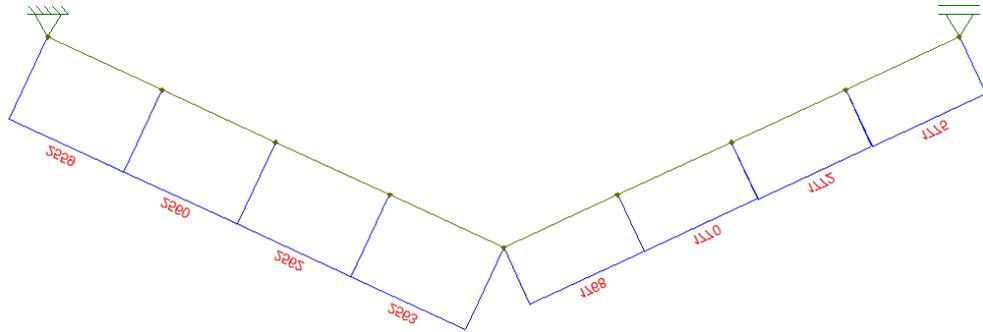
Esforços referente ao carregamento da sobrecarga



Esforços referente ao carregamento com vento a 0°

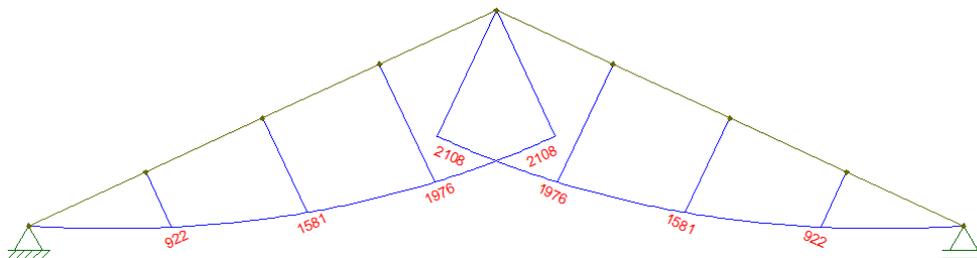
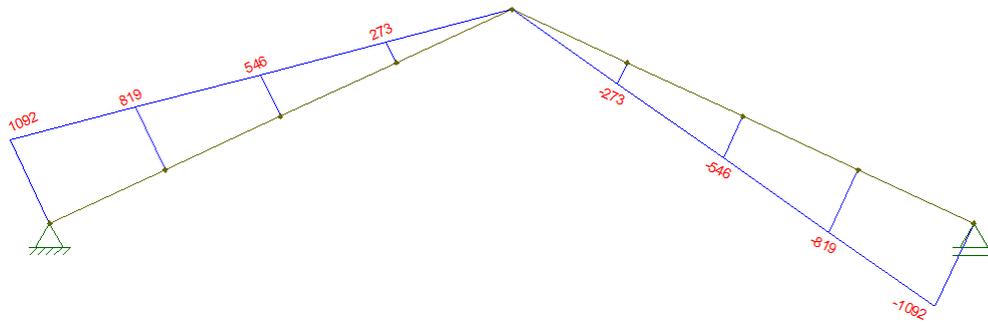
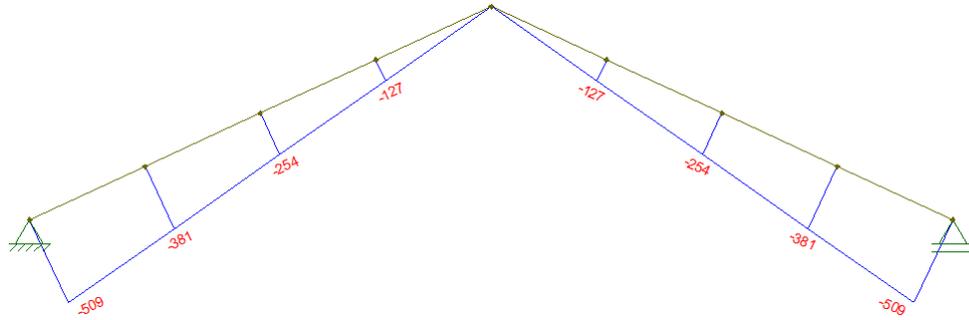


Esforços referente ao carregamento com vento a 90°



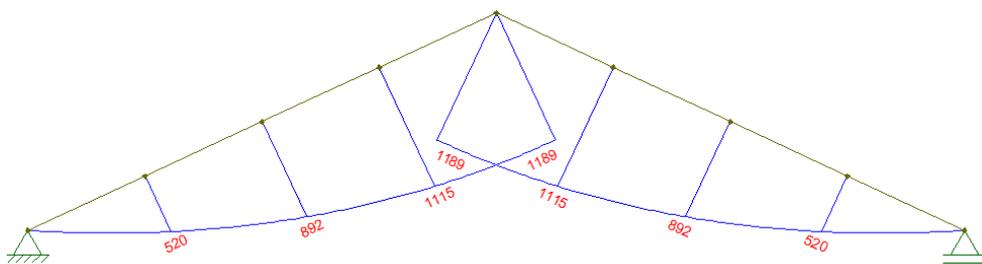
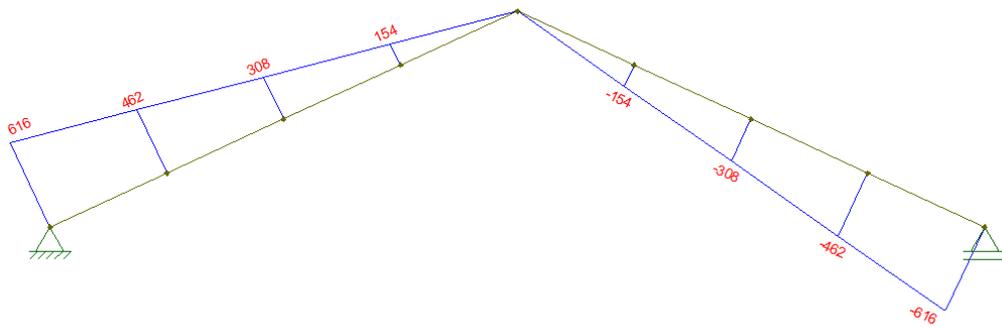
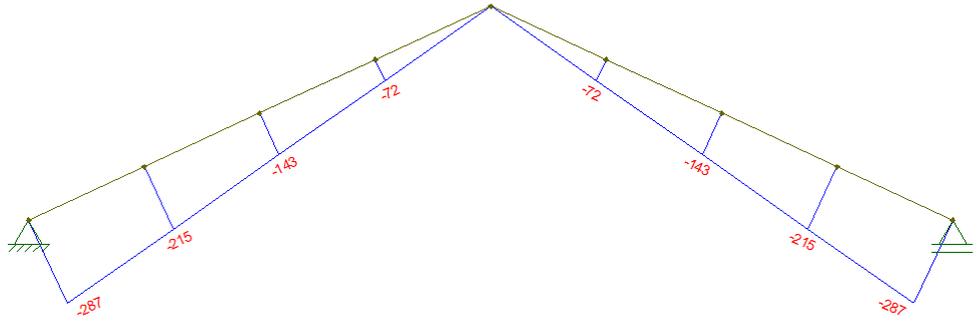
ANEXO C

Esforços referente ao carregamento do peso próprio da viga de aço



ANEXO D

Esforços referente ao carregamento do peso próprio da viga de madeira



ANEXO E – ORÇAMENTOS



SERRARIA

SÃO JOÃO

ORÇAMENTO – Douglas Mesquita de Paula

Elói Mendes, 19 de outubro de 2021.

Madeira: Eucalipto Citriodora

Ripas 5 x 2 - R\$2,45 o metro linear

Caibro 5 x 5 - R\$6,10 o metro linear

Trava 6 x 10 - R\$14,65 o metro linear

Peça 15 x 18 - R\$66,00 o metro linear

Avenida São Paulo, 441 - Nossa Senhora Aparecida
Elói Mendes/MG

COTAÇÃO

GD COMERCIAL GERDAU

Número Cotação: -W02069039
Data Cotação: 05/11/2021
Data Validade: 05/11/2021

À: CLIENTE EVENTUAL-MG-Pessoa Física-Z
Email:

Dados Emissor

0000100351 - CLIENTE EVENTUAL-MG-Pessoa Física-Z
Rua XXX, 01, 01
VARGINHA, MG
CNPJ:

Dados Recebedor

0000100351 - CLIENTE EVENTUAL-MG-Pessoa Física-Z
Rua XXX, 01, 01
VARGINHA, MG
CNPJ:

Dados Entrega
Tipo de frete: CIF

Gerdau tem o prazer de cotar os seguintes produtos:

| Item | Descrição | Qtd. | Qtd KG | Dt Solicitada | Preço sem IPI | Aliq. ICMS | Aliq. IPI | Carga(%) | Valor Total |
|--|---------------------------------|----------|-----------------|---------------|-----------------|------------|-----------|--------------|---------------------|
| 10 | PF U 152,4X7,98MM A36 6M FX1,1T | 1.000 BR | 93,720 KG | 05/11/2021 | 1.033,48 BRL/BR | 18,00 % | 0,00 % | 0,00 % | 1.033,48 BRL |
| Prazo de Pagamento: Z000 – à vista balcão | | | | | | | | | |
| | | | TOTAL KG | 93,720 KG | | | | | |
| | | | | | | | | TOTAL | 1.033,48 BRL |

Descarga por conta do cliente.
Material sujeito a confirmação de estoque.

Nome: Jekeline Fortes da Silva
Telefone: 9699999999
Email: contato2@atendimentogerdau.net.br