

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Katia Kuroda dos Santos

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE COBERTURA EM
MADEIRA PARA TELHA CERÂMICA E TELHA DE
FIBROCIMENTO PARA COMPARATIVO DE CUSTOS**

Porto Alegre
Setembro, 2022

KATIA KURODA DOS SANTOS

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE COBERTURA EM
MADEIRA PARA TELHA CERÂMICA E TELHA DE FIBROCIMENTO
PARA COMPARATIVO DE CUSTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de
Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como
parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira

Porto Alegre
Setembro, 2022

KATIA KURODA DOS SANTOS

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE COBERTURA EM
MADEIRA PARA TELHA CERÂMICA E TELHA DE FIBROCIMENTO
PARA COMPARATIVO DE CUSTOS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 23 setembro de 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Prof^a. Ana Paula Maran (UFSM)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Engenheiro Felipe Pinto Motta Quevedo (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a Deus, por ser autor de planos tão bons
para a minha vida, e por me ajudar a percorrer esse caminho
neste mundo onde sou apenas peregrina.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me guiar nesta jornada, pelo amparo, e por proporcionar a vivência e apoio de todos os quais também agradecerei a seguir.

Agradeço aos meus pais, por plantarem o anseio pelo aprendizado, e serem meus maiores encorajadores. Por terem sempre as palavras certas para me acalantar ou para impulsionar, dosando-as exatamente para cada situação necessária.

Agradeço ao meu marido, e melhor amigo, por me suportar com amáveis conselhos, apoio e paciência durante toda a trajetória desta graduação, e na vida. Por acreditar no meu potencial, quando eu mesma não era capaz de acreditar. Por ser o lugar de refúgio e paz em todos os momentos.

Agradeço à minha orientadora, professora Cristiane, por tanta paciência e atenção, com este trabalho desenvolvido, e principalmente comigo. Mostrando-se sempre além de uma ótima professora, uma pessoa de cuidado e humanidade excepcionais.

Agradeço também aos amigos, pelo incentivo e compreensão. Pelos momentos de descontração, proporcionados em meio a períodos de provas. Este agradecimento às novas amizades cultivadas nesta universidade, em especial aos amigos Caroline, Kethelin, Leonardo e Maira, a companhia de vocês durante esses anos de graduação fez com que toda experiência acadêmica fosse mais leve e prazerosa.

Agradeço à UFRGS, instituição pública, gratuita e de qualidade, que é expoente no desenvolvimento científico e tecnológico, no Brasil, pela imensurável contribuição na minha formação pessoal e acadêmica.

Agradeço aos amigos da SUINFRA, Flora, Camila, Álvaro, Guilherme e Bruno, pela oportunidade de conhecer a UFRGS com outros olhos. Por poder conhecer as estruturas físicas e organizacionais desta Instituição.

Agradeço à Technique, empresa que apostou em mim como profissional e abriu suas portas para me ensinar, na prática, o conhecimento, antes, apenas teórico desenvolvido em sala de aula, trazendo clareza para a beleza da profissão do engenheiro.

“Pois o Senhor é quem dá sabedoria; de sua boca procedem o conhecimento e o discernimento.”
Provérbios 2:6

RESUMO

O presente trabalho busca comparar os custos de implantação e manutenção dos sistemas de cobertura com telha cerâmica e com telha de fibrocimento. A função da cobertura, segundo a NBR 15575-3 (ABNT, 2021), é a preservação da saúde dos usuários e proteção do corpo da edificação ao impedir a infiltração de umidade e proliferação de microrganismos patogênicos. Com essa definição, entende-se que qualquer falha que torne esse sistema não estanque descaracteriza-o como próprio para sua função, por esta razão é necessário entender o tipo de uso e local de implantação ao qual o sistema estará exposto. Observa-se por dados da Defesa Civil do Rio Grande do Sul que o estado se encontra em uma região altamente suscetível a eventos meteorológicos extremos como vendavais, tempestades de granizo e chuvas ácidas. Assim, todos esses fatores climáticos impõem critérios mais rigorosos para a aprovação de um material como componente de sistema de cobertura capaz de cumprir com sua função. Os sistemas de cobertura avaliados foram dimensionados para um projeto hipotético locado na região metropolitana de Porto Alegre/RS. Constatou-se que a cobertura com telha de fibrocimento necessita de um madeiramento bastante menor em comparação à cobertura com telha cerâmica por apresentar um peso por área menor e por ter peças que alcançam vão maiores sem a necessidade de apoios, essas características diminuem o madeiramento da trama e da tesoura. O custo de execução da cobertura de fibrocimento comprova-se 26% menor em vista da outra opção analisada. Mesmo ao considerar os custos de manutenção ao longo da vida útil da edificação, nota-se que a opção mais econômica de execução permanece vantajosa à longo prazo.

Palavras-chave: Cobertura. Estrutura de madeira. Telha Cerâmica. Telha de Fibrocimento. Custo

ABSTRACT

The present work aims to compare the implementation and maintenance costs of roofing systems with ceramic tile and fiber cement tile. The function of the roof, according to NBR 15575-3 (ABNT, 2021), is to preserve the users health and to protect the building by preventing the infiltration of moisture and the proliferation of pathogenic microorganisms. With this definition, it is understood that any failure that makes this system not watertight, mischaracterizes it as proper for its function, for this reason it is necessary to understand the type of use and where the system will be located. It is observed by data from the Civil Defense of Rio Grande do Sul that the state is in a region highly susceptible to extreme weather events such as windstorms, hail storms and acid rains. Thus, all these climatic factors impose stricter criteria for the approval of a material as a roofing system component capable of fulfilling its function. The roofing systems evaluated were designed for a hypothetical project located in the metropolitan region of Porto Alegre/RS. It was found that the coverage with fiber cement tile needs significantly less woodwork compared to the coverage with ceramic tile because it has a smaller weight per area and also because it has pieces that reach larger spans without the need for supports, these characteristics reduce the woodwork. of weft and scissors. The cost of implementing the fiber cement roof is lower, compared with the other option analyzed. Even when considering the maintenance costs over the life of the building, it is noticed that the most economical option of implantation remains advantageous in the long term.

Keywords: Roof. Wood Structure. Ceramic Roof Tile. Fiber Cement Tile. Cost

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planos da madeira.....	16
Figura 2 - Direções tangencial, radial e longitudinal e respectivos coeficientes de retração em termos relativos (valores médios para o pinho bravo)	17
Figura 3 - Principais aglomerações produtivas mínero-cerâmicos brasileiras.	18
Figura 4 – Modelos de telhas cerâmicas	19
Figura 5 – Defletômetro para determinação de planeza em bloco	20
Figura 6 - Determinação da retilineidade (exemplificação esquemática em telha composta de encaixe – Medição no canal e medição na capa).....	21
Figura 7 - Aparato para avaliação da impermeabilidade (exemplificação esquemática)	22
Figura 9 - Recobrimentos transversal e longitudinal.....	23
Figura 10 - Notícia sobre danos causados por tempestade de granizo em outubro de 2019	28
Figura 11 - Notícia sobre danos causados por tempestade de granizo em julho de 2020.	29
Figura 12 - Notícia sobre danos causados por tempestade de granizo em outubro de 2021.	29
Figura 13 – Notícia sobre danos causados por tempestade de granizo em fevereiro de 2022.	30
Figura 14 – Ocorrências de Vendavais em 2013.....	31
Figura 15 – Distribuição Macrorregional dos Desastres Vinculados à Ocorrência de Vendaval em 2013.....	31
Figura 16 - Representação das projeções superior e frontal.....	33
Figura 17 - Estrutura de telhado esquemático	36
Figura 18 - Telha cerâmica esmaltada, tipo americana.	37
Figura 19 - Área de atuação de telhas sobre a ripa.....	38
Figura 20 - Coeficientes de pressão externa atuantes sobre a cobertura com ventos incidentes à 0° e 90°	39
Figura 21 - Coeficientes de pressão interna com ventos incidentes à 0° e 90°e abertura dominante na face de sotavento.	39
Figura 22 - Coeficientes de pressão interna com ventos incidentes à 0° e 90°e abertura dominante não situada em zona de alta sucção externa.....	39
Figura 23 - Decomposição de cargas atuantes sobre a ripa.....	46
Figura 24 – Modelo estrutural da ripa bi-apoiada com a carga de projeto total negativa	47
Figura 25 - Diagrama de momento fletor para carga negativa distribuída na ripa	47
Figura 26 - Diagrama de esforço cortante para carga negativa distribuída na ripa	47
Figura 27 - Modelo estrutural da ripa bi-apoiada com a carga de projeto total positiva	48
Figura 28 - Diagrama de momento fletor para carga positiva distribuída na ripa.....	48
Figura 29 - Diagrama de esforço cortante para carga positiva distribuída na ripa	48
Figura 30 - Cargas no caibro biapoiado com carregamento de sucção	55
Figura 31 - Momento fletor no caibro biapoiado com carregamento de sucção	55
Figura 32 - Esforço cortante no caibro biapoiado com carregamento de sucção	55
Figura 33 - Cargas no caibro biapoiado com carregamento de sobrepressão	56
Figura 34 - Momento fletor no caibro biapoiado com carregamento de sobrepressão	56
Figura 35 - Esforço cortante no caibro biapoiado com carregamento de sobrepressão	56
Figura 36 - Carga permanente característica no caibro	58
Figura 37 - Deslocamento devido à carga permanente característica no caibro	59
Figura 38 - Carga acidental concentrada característica no caibro	59
Figura 39 - Deslocamento devido à carga acidental concentrada característica no caibro	59
Figura 40 - Carga concentrada de sucção característica no caibro.....	60
Figura 41 - Deslocamento devido à carga concentrada de sucção característica no caibro	60
Figura 42 - Carga concentrada de sobrepressão característica no caibro	60
Figura 43 - Deslocamento devido à carga concentrada de sobrepressão característica no caibro	60
Figura 44 - Carregamento de sucção na terça.	63
Figura 45 - Momento fleto devida carga de sucção atuante na terça.	63
Figura 46 - Esforço cortante devida carga de sucção atuante na terça.	63
Figura 47 - Carregamento de sobrepressão em terça	64
Figura 48 - Momento fletor devido carga de sobrepressão na terça.....	64

Figura 49 - Esforço cortante devida carga de sobrepressão na terça.....	64
Figura 50 - Carga permanente característica na terça	66
Figura 51 - Flecha devida à carga permanente característica atuante na terça.....	66
Figura 52 - Carga variável positiva característica atuante na terça	66
Figura 53 - Flecha devido à carga positiva variável característica atuante na terça.....	67
Figura 54 - Carga de sucção característica atuante na terça.....	67
Figura 55 - Flecha devida carga de sucção característica atuante na terça	67
Figura 56 - Carga de sobrepressão característica atuante na terça	68
Figura 57 - Flecha devida carga de sobrepressão característica atuante na terça.....	68
Figura 58 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 1 simétrica.....	72
Figura 59 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 1 simétrica	72
Figura 60 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 2 simétrica.....	73
Figura 61 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 2 simétrica	73
Figura 62 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 3 simétrica.....	73
Figura 63 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 3 simétrica	74
Figura 64 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 4 simétrica.....	74
Figura 65 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 4 simétrica	74
Figura 66 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação assimétrica 5 (frente) e 7 (fundos)	75
Figura 67 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação assimétrica 5 (frente) e 7 (fundos)	75
Figura 68 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação assimétrica 9 (frente) e 11 (fundos)	75
Figura 69 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação assimétrica 9 (frente) e 11 (fundos)	76
Figura 70 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação assimétrica 10 (frente) e 12 (fundos)	76
Figura 71 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação assimétrica 10 (frente) e 12 (fundos)	76
Figura 72 - Número das barras da treliça	77
Figura 73 - Comprimento das barras da treliça (cm).....	77
Figura 74 - Momento fletor devida ao peso próprio da treliça.....	79
Figura 75 - Valores dos coeficientes K_E	80
Figura 76 - Telha de fibrocimento modelo Ondulada 6mm da marca Brasilit.....	81
Figura 77 - Modelo estrutural da ripa bi-apoiada com a carga de projeto total negativa na direção y	86
Figura 78 - Diagrama de momento fletor para carga negativa distribuída na terça na direção y	86
Figura 79 - Diagrama de esforço cortante para carga negativa distribuída na terça na direção y	86
Figura 80 - Modelo estrutural da ripa bi-apoiada com a carga de projeto total positiva na direção y	87
Figura 81 - Diagrama de momento fletor para carga positiva distribuída em terça na direção y	87
Figura 82 - Diagrama de esforço cortante para carga positiva distribuída em terça na direção y	87
Figura 83 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 1 simétrica.....	94
Figura 84 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 1 simétrica	94
Figura 85 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 2 simétrica.....	95
Figura 86 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 2 simétrica	95
Figura 87 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 3 simétrica.....	95
Figura 88 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 3 simétrica	96
Figura 89 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 4 simétrica.....	96
Figura 90 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 4 simétrica	96
Figura 91 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação assimétrica 5 (frente) e 7 (fundos)	97
Figura 92 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação assimétrica 5 (frente) e 7 (fundos)	97
Figura 93 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação assimétrica 9 (frente) e 11 (fundos)	97
Figura 94 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação assimétrica 9 (frente) e 11 (fundos)	98
Figura 95 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação assimétrica 10 (frente) e 12 (fundos)	98
Figura 96 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação assimétrica 10 (frente) e 12 (fundos)	98
Figura 97 - Identificação das barras da treliça	99
Figura 98 - Comprimentos das barras da treliça da cobertura em telha de fibrocimento.....	99
Figura 74 - Momento fletor devida ao peso próprio da treliça.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Combinação de pressões internas e externas	40
Tabela 2 – Carga de vento atuantes sobre a cobertura.	41
Tabela 3 - Carga de vento atuante na ripa.	41
Tabela 4 - Cargas características na ripa para cada combinação possível.....	43
Tabela 5 - Coeficientes das combinações de cargas para estado limite de último	43
Tabela 6 - Carga de projeto	44
Tabela 7 - Combinação de carga crítica de sucção e peso próprio da ripa.....	46
Tabela 8 - Combinação de carga crítica de sobrepressão e peso próprio da ripa	46
Tabela 9- Combinações da carga característica atuantes sobre a ripa.	51
Tabela 10 - Cargas permanentes características	51
Tabela 11 - Cargas acidentais características positivas	51
Tabela 12 - Cargas acidentais características negativas	52
Tabela 13 - Cálculo de flechas na ripa biapoiada.....	53
Tabela 14- Soma das cargas permanentes características	57
Tabela 15 - Soma das cargas acidentais características para o caso de sobrepressão	58
Tabela 16 - Soma das cargas acidentais características para o caso de sucção	58
Tabela 17 - Cálculo de flechas no caibro biapoiada.....	61
Tabela 18 - Cálculo de flechas na treliça biapoiada	69
Tabela 19 - Valores característicos das cargas para diversas combinações com o vento	70
Tabela 20 - Coeficientes de ponderação das combinações de carga	71
Tabela 21 – Combinações de cargas pontuais nos nós da treliça devido às terças, cargas de vento e cargas acidentais.....	71
Tabela 22 - Tensões críticas nas barras das treliças devido às combinações de carga	78
Tabela 23 - Carga de vento atuante na terça.	82
Tabela 24 - Cargas características na ripa para cada combinação possível.	83
Tabela 25 - Carga de projeto	84
Tabela 26 - Combinação de carga crítica de sucção e peso próprio da terça	85
Tabela 27 - Combinação de carga crítica de sobrepressão e peso próprio da terça	85
Tabela 28- Combinações da carga característica atuantes sobre a terça.	89
Tabela 29 - Cargas permanentes características	89
Tabela 30 - Cargas acidentais características positivas	90
Tabela 31 - Cargas acidentais características negativas	90
Tabela 32 - Cálculo de flechas na terça biapoiada	90
Tabela 33 - Valores característicos das cargas para diversas combinações com o vento	93
Tabela 34 – Cargas pontuais em nós da treliça resultantes das combinações de carga.....	93
Tabela 35 - Tensões críticas nas barras das treliças devido às combinações de carga.....	100
Tabela 36 - Composição própria de serviço - Trama de telhado cerâmico.	107
Tabela 37 - Composição própria de serviço - Trama de telhado fibrocimento 6mm.....	107
Tabela 38 - Composição própria de serviço - Treliça de telhado cerâmico	108
Tabela 39 - Composição própria de serviço - Treliça de telhado fibrocimento 6mm	109
Tabela 40 - Composição própria de serviço - Telhamento com telha cerâmica.....	109
Tabela 41 - Composição própria de serviço - Telhamento com telha fibrocimento 6mm	110
Tabela 42 - Orçamento de cobertura com telha cerâmica	110
Tabela 43 - Orçamento de cobertura com telha de fibrocimento	111
Tabela 44 - Custo de manutenção da cobertura de telha cerâmica em 30 anos	112
Tabela 45 - Custo de manutenção da cobertura de telha de fibrocimento em 30 anos	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Textos que norteadores para manutenção em edificações	25
Quadro 2 - Dimensões da edificação.....	33
Quadro 3 - Propriedades do Eucalipto citridora.....	34
Quadro 4 - Resistências de projeto da madeira de eucalipto.....	35
Quadro 5 - Características técnicas da telha cerâmica esmaltada tipo americana.....	37
Quadro 6 - Parâmetros do vento.....	38
Quadro 7 - Propriedades geométricas da ripa	45
Quadro 8 - Resumo da análise da ripa na direção y (FTOOL, 2021).....	49
Quadro 10 - Reação de apoio da ripa como carga concentrada sobre o caibro.....	54
Quadro 11 - Propriedades geométricas do caibro	54
Quadro 12 - Dados da análise no software Ftool (FTOOL, 2021).....	57
Quadro 14 - Reação de apoio do caibro como carga concentrada sobre a terço	62
Quadro 15 - Propriedades geométricas da terço	62
Quadro 16 - Dados da análise no software Ftool (FTOOL, 2021).....	65
Quadro 17 - Cargas permanentes características atuantes na terço	65
Quadro 19 - Valores críticos de esforços normais na terço devido às combinações de carga.....	78
Quadro 20 - Características técnicas da telha fibrocimento Ondulada 6mm.	81
Quadro 21 - Parâmetros do vento.....	82
Quadro 22 - Propriedades geométricas da terço	85
Quadro 23 - Resumo da análise da ripa na direção y (FTOOL, 2021).....	88
Quadro 25 - Reações nos apoios da terço devido às cargas características	92
Quadro 26 - Propriedades geométricas das barras da treliça.....	92
Quadro 27 - Valores críticos de esforços normais na terço devido às combinações de carga.....	100
Quadro 28 - Quantidade de madeira para cobertura de telha cerâmica.....	102
Quadro 29 - Quantidade de madeira para cobertura de telha de fibrocimento.....	103
Quadro 30 - Cotações de sarrafo 2,5x5,0cm	104
Quadro 31 - Cotações de caibro 5,0x5,0cm	104
Quadro 32 - Cotações de tábuas 5,0x15,0cm.....	104
Quadro 33 - Cotações de telha cerâmica esmaltada tipo americana	105
Quadro 34 - Cotações de telha de fibrocimento ondulada, espessura 6mm, dimensões 2,44x1,10m ..	105
Quadro 35 - Lista de insumos de material e mão de obra	106

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Custos de implantação e manutenção ao longo da vida útil de coberturas	113
--	-----

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

PVA – Acetado de Polivinila

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

IFPR – Instituto Federal do Paraná

USP – Universidade de São Paulo

NASA – Agência Espacial Norte-Americana

LISTA DE SÍMBOLOS

f : resistência

E : módulo de elasticidade

f_{12} : resistência na umidade de 12%

f_U : resistência medida na umidade U

$f_{c0,k}$: resistência característica à compressão paralela às fibras

$f_{t0,k}$: resistência característica à tração paralela às fibras

$f_{M,k}$: resistência característica à flexão

$f_{V0,k}$: resistência característica ao cisalhamento paralela às fibras

$f_{c0,d}$: resistência à compressão de projeto

$f_{t0,d}$: resistência à tração de projeto

$f_{b,d}$: resistência à flexão de projeto

$f_{v,d}$: resistência ao cisalhamento de projeto

γ_c : coeficiente de minoração para compressão das propriedades da madeira

γ_t : coeficiente de minoração para tração das propriedades da madeira

γ_v : coeficiente de minoração para cisalhamento das propriedades da madeira

E_0 : módulo de elasticidade característica

ρ_{12} : densidade aparente na umidade 12%

C_{ep} : Coeficiente externo de pressão

C_{ip} : Coeficiente interno de pressão

C_p : Coeficiente de pressão

V_0 : velocidade básica do vento

S_1 : fator de topográfico

S_2 : classe de rugosidade do terreno, das dimensões da edificação e da altura sobre o terreno

S_3 : fator estatístico

i : inclinação da cobertura

$F_{w,k}$: carga de vento atuante sobre a cobertura

F_d : carga de projeto

$F_{G1,k}$: valor característico das ações permanente

$F_{Q1,k}$: valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação

$\Psi_{0j} F_{Qj,k}$: valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis

γ : coeficiente de ponderação

K_{mod} : coeficiente de modificação

$K_{mod,1}$: coeficiente de modificação da madeira devido ao fator do tempo de carregamento

$K_{mod,2}$: coeficiente de modificação da madeira devido ao fator umidade

I : momento de inércia para seção retangular

W: módulo de resistência para seção retangular

X: dimensão geométrica no eixo x da seção retangular

Y: dimensão geométrica no eixo y da seção retangular

σ_d : tensão normal máxima de projeto

M_d : momento fletor de projeto

V_d : esforço cortante de projeto

δ : flecha

δ_{ime} : flecha imediata

δ_g : flecha devido à carga permanente

δ_q : flecha devido à carga variável

δ_c : flecha devido à fluência

δ_{fin} : flecha final

Ψ_2 : 0,80, coeficiente de fluência

β : $\frac{5}{384}$ para vigas biapoiadas

ϕ : coeficiente de fluência

PP_{barra} : peso próprio da barra

b_{barra} : base da seção transversal da barra

h_{barra} : altura da seção transversal da barra

SUMÁRIO

1. Introdução	13
1.1 Contextualização	13
1.2 Objetivo.....	13
1.3 Delimitações e limitações.....	14
1.4 Metodologia	14
2. Materiais para sistemas de cobertura	15
2.1 Madeira	15
2.1.1 Classificação da madeira.....	15
2.1.2 Características da madeira.....	16
2.2 Telha cerâmica	18
2.2.1 Modelos de telhas cerâmicas.....	18
2.2.2 Características das telhas cerâmicas.....	20
2.3 Telha de fibrocimento	22
2.3.1 Composição das telhas de fibrocimento.....	22
2.3.2 Requisitos mínimos	23
2.3.3 Efeitos do envelhecimento	24
3. Manutenção.....	24
3.1 Manutenção em edificações	24
3.1.1 Responsabilidade civil e penal	25
3.1.2 Classificação dos tipos de manutenção	25
4. Fatores metereológicos	27
4.1 Chuva ácida.....	27
4.2 Granizo.....	27
4.3 Vento.....	30
5. Dimensionamento das coberturas	33
5.1 Dados do projeto	33
5.2 Determinação das resistências da madeira	34
5.3 Cobertura com telhado cerâmico e madeiramento em eucalipto.....	36
5.3.1 Carga devido o vento.....	38
5.3.2 Carga acidental.....	41
5.3.3 Combinações de cargas	42
5.3.4 Dimensionamento das ripas.....	44
5.3.5 Dimensionamento dos caibros.....	53
5.3.6 Dimensionamento das terças	61
5.3.7 Dimensionamento das treliças.....	69
5.4 Cobertura com telha de fibrocimento e madeiramento em eucalipto.....	80
5.4.1 Carga devido ao vento.....	81

5.4.2	Carga acidental.....	83
5.4.3	Combinações de cargas	83
5.4.4	Dimensionamento das terças.....	84
5.4.5	Dimensionamento das treliças.....	91
6.	Orçamento.....	102
6.1	Quantitativo.....	102
6.1.1	Cobertura com telha cerâmica.....	102
6.1.2	Cobertura com telha de fibrocimento.....	103
6.2	Cotações de materiais.....	103
6.3	Composição de serviço e custo	105
6.4	Orçamento para execução	110
6.5	Custos de manutenção.....	111
6.6	Custos finais	112
7.	Conclusão.....	114
	REFERÊNCIAS	115
	ANEXO A – Orçamentos recebidos	119

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Desde os primeiros abrigos construídos pelo homem, já se buscava a proteção dos usuários contra chuva, vento e radiação solar. Ainda hoje se busca atender esse objetivo de preservação à vida, saúde e bem-estar os usuários de uma edificação, dispondo de diferentes materiais e tecnologias para melhor atender esses requisitos. A norma brasileira NBR 15575-5 – Edificações habitacionais – Desempenho - Requisitos para sistemas de cobertura (ABNT, 2021), aponta a importância deste sistema e especifica os pontos a serem considerados para o correto dimensionamento deste sistema.

Em vista de um mercado que vem apresentando novas tecnologias na construção civil e tornando-se tão vasto em opções de materiais a serem utilizados para sistemas de coberturas, gera-se a dúvida de qual sistema de cobertura melhor satisfará a necessidade do cliente/usuário. Ainda dentro da definição de satisfação do usuário/cliente, é importante atentar para o impacto financeiro ao longo da vida útil da edificação, tendo a ciência que uma edificação residencial é construída para ser habitada por muitos anos, e que durante esse tempo manutenções deverão ser realizadas para a preservação do funcionamento do sistema implantado. Essas manutenções têm custos e períodos diferentes para cada material e sistema implantado na edificação.

No estado do Rio Grande do Sul, semelhantemente ao restante do país, o uso da telha cerâmica está consolidado devido à tradição da construção e facilidade de encontrá-la no mercado em seus diferentes modelos e cores. Já a telha de fibrocimento por muitas vezes é escolhida pelo seu baixo custo de implementação.

Assim, este trabalho irá comparar os custos de implantação e manutenção ao longo da vida útil da edificação desses dois sistemas de coberturas.

1.2 OBJETIVO

Analisar os custos de implantação e manutenção de dois sistemas de cobertura. O primeiro sistema de cobertura em telha cerâmica e estrutura de madeira, e o segundo sistema de cobertura em telha de fibrocimento e estrutura de madeira. O objetivo da análise é auxiliar na escolha do sistema com menor custo ao longo da vida útil da edificação.

1.3 DELIMITAÇÕES E LIMITAÇÕES

Neste trabalho foi calculado o custo de execução e manutenção do sistema de cobertura com telhas cerâmicas e de fibrocimento e estrutura de madeira para um projeto hipotético simplificado de 200m² de projeção e altura de piso à cumieira de 6,90m, locado na região metropolitana de Porto Alegre/RS.

Como limitação do trabalho, não foi considerado o custo dispendido com a climatização necessária em caso de baixo desempenho térmico.

Foi considerada a mesma inclinação para ambas as coberturas (30%).

O modelo estrutural das ripas, caibro e terças é de uma viga bi-apoiada e da tesoura uma treliça em regime elástico linear.

1.4 METODOLOGIA

Para a análise dos custos de implantação e manutenção de dois sistemas de cobertura, foram definidos dois sistemas de cobertura para o estudo:

- cobertura com estrutura de madeira e telhas cerâmicas;
- cobertura com estrutura de madeira e telhas de fibrocimento.

A madeira para as estruturas será de eucalipto por ser uma opção usualmente comercializada no mercado da construção civil no estado do Rio Grande do Sul.

A espessura da telha de fibrocimento será de 6mm.

A telha cerâmica será do modelo americana.

A edificação será de 2 pavimentos para que seja considerado coeficientes de pressões de vento mais críticos, em comparação aos coeficientes de pressões que atuariam em uma residência térrea.

Dando sequência a análise, foram definidos períodos de manutenção de cada sistema dentro dos 30 anos de vida útil da edificação.

Para elaborar o orçamento para implantação e manutenção para cada um dos dois sistemas definidos no escopo deste trabalho, foram dimensionados os dois sistemas de cobertura para um projeto arquitetônico hipotético, para então realizar o comparativo de custos dos sistemas.

Os custos das madeiras de eucalipto e as telhas serão cotadas no mercado local para assumir valores reais praticados.

A manutenção abrange limpeza e inspeção da cobertura. Esse serviço deverá ser realizado por profissional especializado. A limpeza eliminará agentes biológicos causadores de degradação. Deverá ser feita a substituição de peças de cobertura que apresentarem avaria.

2. MATERIAIS PARA SISTEMAS DE COBERTURA

Neste trabalho serão estudados sistemas de cobertura com telha cerâmica e telha de fibrocimento sobre estruturas treliçada de madeira. Para isso é necessário entender as características e comportamento físico destes materiais.

2.1 MADEIRA

Conforme Cruz e Nunes (2005), mesmo a madeira sendo um material empregado na construção civil pelo homem a muitos anos, já não se trata de um material tradicional com apenas um mínimo de modificação. Esse insumo fornece uma crescente diversidade de produtos. Ainda segundo Cruz e Nunes (2005, p.2): “A madeira é um material de origem biológica, formado por uma matéria heterogênea e anisotrópica elaborada por um organismo vivo, que é a árvore.”

Zenid (2011, p.1) também discorre sobre a origem e propriedades da madeira, e acrescenta:

A madeira é um material higroscópico, sendo que várias de suas propriedades são afetadas pelo teor de umidade presente. Sua natureza biológica, submete-a aos diversos mecanismos de deterioração existentes na natureza. [...] Essas desvantagens da madeira podem ser eliminadas ou, ao menos, minimizadas, bastando para tal o emprego de tecnologias já disponíveis e de uso consagrado nos países desenvolvidos.

Sendo o Brasil um país de vasto território, e agraciado com bioclimas que comportam a possibilidade de cultivo de variadas espécies de árvores, além da grande diversidade propiciada pela floresta amazônica, o mercado é abastecido com uma variedade bastante grande de opções de madeira para o uso comercial. Portanto torna-se imprescindível o conhecimento da classificação, das propriedades e os respectivos níveis requeridos, e da boa prática na construção civil (desde o projeto até a execução) para que a madeira possa entregar o desempenho satisfatório.

2.1.1 Classificação da madeira

As duas principais categorias da classificação de madeiras são as coníferas e as dicotiledônias. Estas categorias diferem-se não necessariamente pela resistência, mas principalmente pela estrutura celular dos troncos (PFEIL e PFEIL, 2003).

As coníferas são a ordem principal da qual as árvores da classe Gimnosperma (do grego *gymno* = nu e *sperma* = semente) fazem parte, elas não produzem frutos, sendo suas sementes descobertas. As Gimnospermas, que têm como características folhas em forma de agulhas ou escamas, sementes agrupadas em formas de cones e raízes pivotantes. Estas árvores apresentam crescimento rápido e são típicas de climas frios e temperados (SZUCS *et al.*, 2015). Um exemplo desta classificação é o Pinus.

Ainda segundo Szucs (2015), as Angiospermas (do grego *aggeoin* = urna e *sperma* = semente) são árvores que possuem frutos e compreendem duas grandes classes: monocotiledôneas e dicotiledôneas. Nesta primeira classe estão englobadas as palmas e gramíneas, não serão abordadas neste trabalho. As dicotiledôneas folhosas são os objetos de interesse, visto que estas produzem madeira. Um exemplo de madeira desta classificação é o Eucalipto.

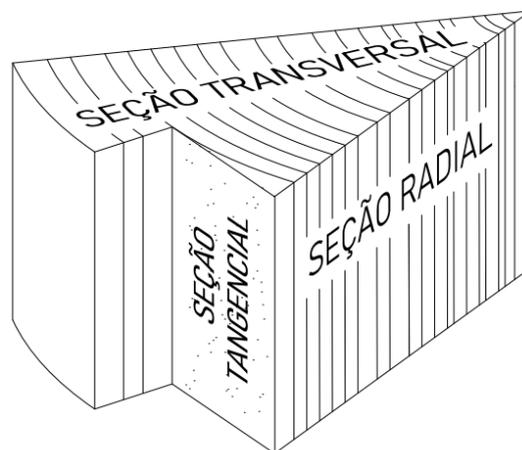
2.1.2 Características da madeira

Por se tratar de um material de origem biológica, as propriedades da madeira podem variar bastante entre as espécies de árvores. Dentre essas características que variam entre espécies estão a densidade, resistência e cor.

2.1.2.1 ANISOTROPIA

A direção das fibras da peça de madeira influencia na sua resistência. Isso se dá pela madeira se tratar de um material anisotrópico, ou seja, as propriedades variam com a direção considerada. Para fins estruturais a diferenciação das propriedades é feita para direção paralela (longitudinal ou axial) e perpendicular (radial e tangencial) às fibras (Figura 1). Para a direção longitudinal usa-se o índice “0”, e para a direção perpendicular (ou normal) usa-se o índice “90”. Na direção da fibra a resistência e rigidez são maiores, e na direção radial e na direção tangencial os valores de resistência e rigidez possuem valores próximos entre si e valores bastante abaixo se comparado ao da direção paralela já citada (MARTINS, 2020).

Figura 1 - Planos da madeira



Fonte: Adaptado de Machado (1999).

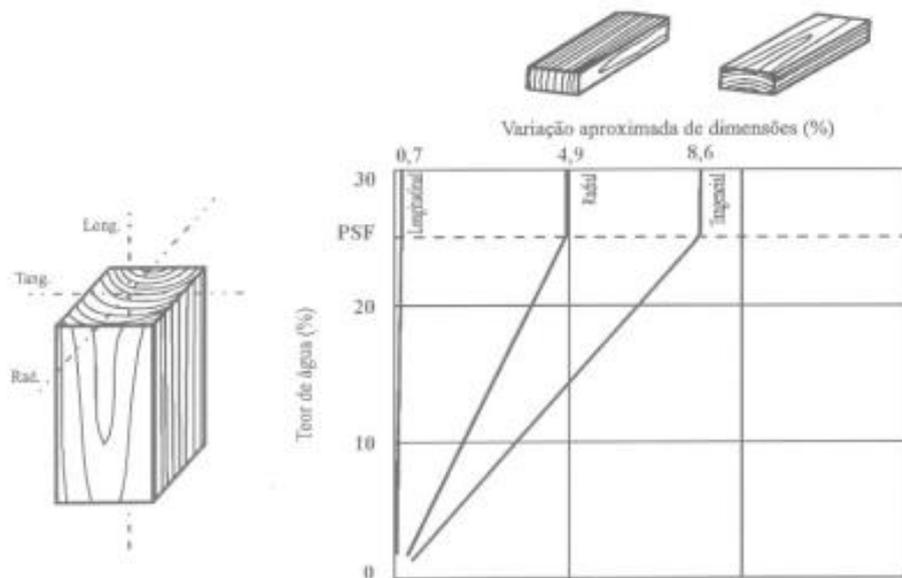
2.1.2.2 TEOR DE UMIDADE

Como já mencionado a madeira é um material higroscópico, ou seja, absorve umidade do ar. O teor de umidade na madeira altera significativamente suas propriedades.

Segundo Cruz e Nunes (2005), classifica-se a água da madeira em três categorias distintas: água de constituição, água de impregnação e água livre. Logo após o abate, a madeira perde rapidamente a água livre que preenche os espaços vazios da sua estrutura alveolar. A perda desta água não altera o volume da madeira, assim como não altera sua resistência mecânica. O Ponto de Saturação das Fibras (PSF) está ligado à perda da água livre que representa cerca de 28 a 30% de teor em água da madeira.

Ainda segundo Cruz e Nunes (2005), a água de impregnação preenche os espaços entre os constituintes da parede celular, a perda dessa água provoca a aproximação das fibras e das micelas, causando o aumento da resistência e rigidez da peça (Figura 2).

Figura 2 - Direções tangencial, radial e longitudinal e respectivos coeficientes de retração em termos relativos (valores médios para o pinho bravo)



Fonte: LNEC (1997) apud Cruz e Nunes(2005)

A água de impregnação está ligada à substância lenhosa, e não pode ser removida sem que ocorra decomposição química da madeira (CRUZ E NUNES, 2005).

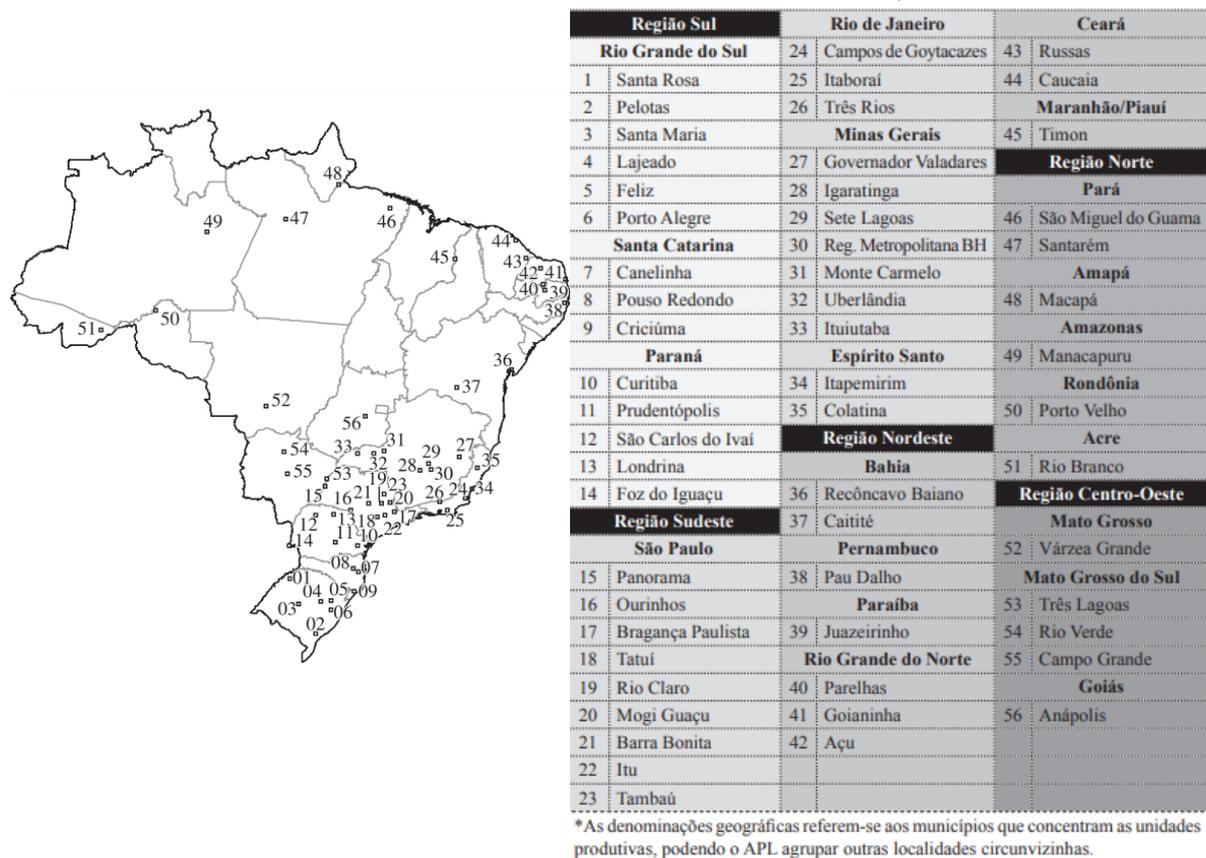
A NBR 7190-1 – Projetos de estruturas de madeira – parte 1: critérios de dimensionamento (ABNT, 2022) determina como condição padrão de referência o teor de umidade de equilíbrio da madeira de 12% para todos os valores de resistência e rigidez nela especificados. Os valores de resistência e rigidez deverão ser corrigidos conforme a classe de umidade ambiental à qual estarão expostas a estrutura de madeira pelas expressões apresentadas no item 6.1.5 da referida norma.

2.2 TELHA CERÂMICA

Segundo os arquivos arqueológicos, a cerâmica era empregada nas construções da Mesopotâmia cerca de 4.000 a.C. somente em estado seco, os tijolos queimados começaram a ser usados por volta de 3.000 a.C. sendo amplamente usado no Egito, Mediterrâneo, Índia e China.

A cerâmica é um material resultante da manufatura da argila, mineral também usado para diversos materiais da construção civil, como tijolos, revestimentos cerâmicos e louças sanitárias (CABRAL et al., 2012). Os maiores parques cerâmicos do Brasil encontram-se nas regiões Sudeste e Sul, locando-se preferencialmente perto de jazidas de extração de argila (Figura 3).

Figura 3 - Principais aglomerações produtivas mínero-cerâmicos brasileiras.



Fonte: Cabral et al. (2012)

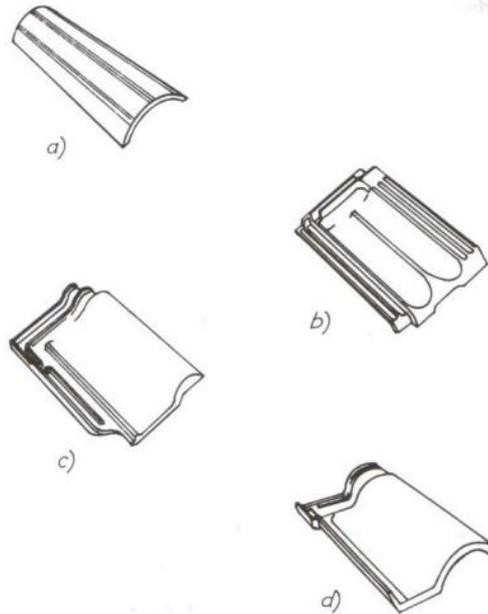
2.2.1 Modelos de telhas cerâmicas

As telhas cerâmicas são elementos modulares com encaixes para montagem de uma trama na dimensão tão grande quanto necessária para cobertura de toda área a ser protegida. São encontrados

diversos modelos no mercado capazes de atender a arquitetura da construção. Contudo, a função primária destas peças é garantir a proteção contra água da chuva, vento e radiação solar.

A Figura 4 apresenta alguns modelos de telhas cerâmicas: a) telha colonial; b) telha francesa; c) telha holandesa; e d) telha portuguesa.

Figura 4 – Modelos de telhas cerâmicas



Fonte: Fancinani (1992) apud Neckel (2003)

A NBR 15310 - Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2009, p.6), contém um item tratando apenas sobre a identificação das telhas cerâmicas. Este trecho traz a o seguinte texto:

“A telha cerâmica deve trazer, a identificação do fabricante e os outros dados gravados em relevo ou reentrância, com caracteres de no mínimo 5 mm de altura, sem que prejudique o seu uso. Nessa inscrição deve constar no mínimo o seguinte:

- a) identificação do fabricante, do município e do estado da federação;
- b) modelo da telha;
- c) rendimento médio (R_m) da telha, expresso em telhas por metro quadrado, com uma casa decimal, sendo obrigatória a gravação T/m^2 ;
- d) dimensões na sequência: largura de fabricação (L) x comprimento de fabricação (C) x posição do pino ou furo de amarração (L_p) (quando não houver pino), expressos em centímetros, podendo ser suprimida a inscrição da unidade de medida;
- e) galga média (G_m), expressa em centímetros, com uma casa decimal, sendo obrigatória a gravação da grandeza G_m ”.

2.2.2 Características das telhas cerâmicas

Todos os requisitos para telhas cerâmicas estão descritos na NBR 15310 (ABNT, 2009), que trata dessas peças como componentes cerâmicos e define as terminologias, os requisitos e os métodos de ensaios para estes. É importante ter atenção na aquisição das peças cerâmicas da cobertura, pois fábricas que não seguem os controles de qualidade específica para esse material, acabam comercializando peças com dimensões variáveis (prejudicando o encaixe e vedação adequadas), porosidade excessiva (consecutivamente absorção maior de água e aumento de peso), e em alguns casos até mesmo o proliferação mais acentuada de agentes biológicos causadores de degradação.

2.2.2.1 RETILINEIDADE E PLANARIEDADE

A propriedade de retilineidade é dada pela flecha máxima medida por um defletômetro em um ponto na borda ou no eixo central, no sentido longitudinal ou no transversal quando em peças planas.

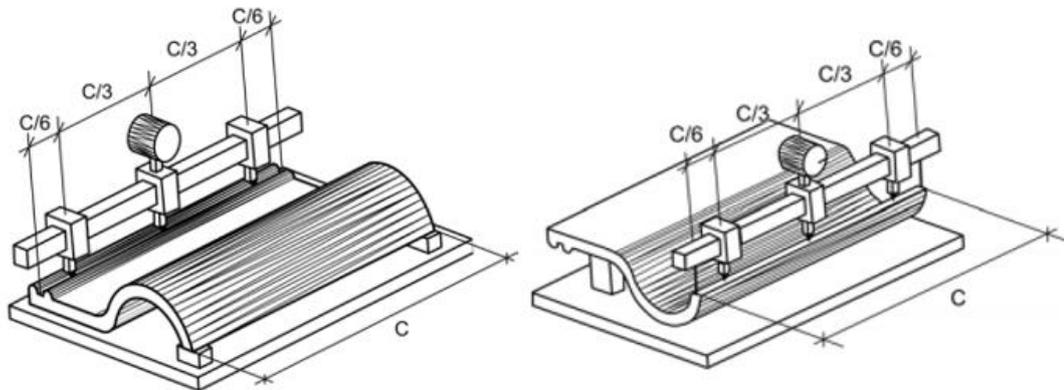
No defletômetro da Figura 5 vemos seus dois apoios na extremidade do equipamento, estes devem ser posicionados paralelamente na borda ou eixo central da telha, a $1/6$ do comprimento da peça (Figura 6). O dispositivo central, disposto no centro da borda da peça, é regulado até que a agulha toque a superfície da telha e então realiza-se a leitura da flecha, dada na unidade mm, no mostrador.

Figura 5 – Defletômetro para determinação de planeza em bloco



Fonte: (SOLOTEST, 2022)

Figura 6 - Determinação da retlineidade (exemplificação esquemática em telha composta de encaixe – Medição no canal e medição na capa)



Fonte: (ABNT, 2009)

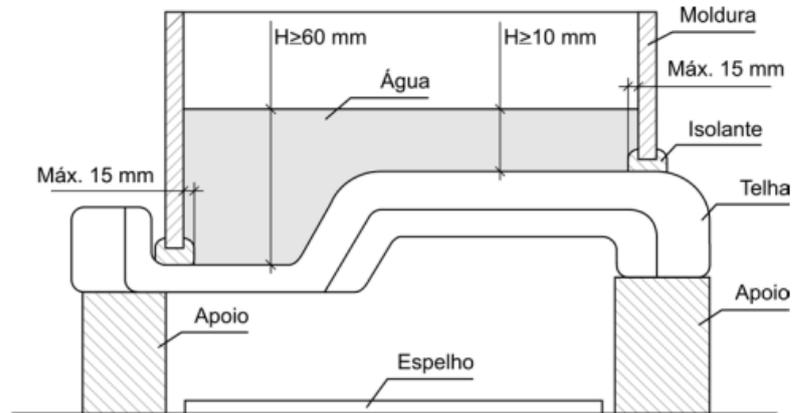
2.2.2.2 MASSA

No capítulo 5.1 da NBR 15310 (ABNT, 2009), versa sobre a determinação da massa da telha cerâmica, onde deve-se primeiramente retirar todo o pó e outras partículas soltas, secar o corpo-de-prova em estufa à 105°C (a tolerância de variação dessa temperatura é de até 5°C). Será feita a determinação da massa individual até que duas pesagens consecutivas de cada um dos corpos-de-prova difiram em no máximo 0,25%, a pesagem deve ser feita imediatamente após a retirada da estufa, e em intervalos de 1 hora. Após essa estabilização das pesagens dos corpos de prova, pode-se pesar e determinar a massa seca dos corpos-de-prova, essa massa deve ser expressada em gramas. A massa da telha seca apresentada no mercado não deve superar mais que 6% da massa indicada na ficha técnica do fabricante.

2.2.2.3 IMPERMEABILIDADE

A NBR 15310 (ABNT, 2009) apresenta os passos para a verificação da impermeabilidade do corpo-de-prova. Deverá ser feita uma moldura que recubra no mínimo 65% da área do corpo-de-prova (Figura 7).

Figura 7 - Aparato para avaliação da impermeabilidade (exemplificação esquemática)



Fonte: (ABNT, 2009)

Os corpos-de-prova deverão ser mergulhados em água em temperatura ambiente por 24 horas, ou 2 horas água fervente. Em seguida deverá realizar-se os mesmos procedimentos de secagem e pesagem descritos para determinação da massa já descritos. Quando o corpo-de-prova estiver com a sua massa estabilizada, deverá esfriar naturalmente até a temperatura ambiente. A moldura deverá ser aplicada sobre a superfície superiores dos corpos-de-prova e selada com isolante, Figura 7. Um espelho com área superficial igual ou superior à área da moldura deverá ser posicionado abaixo do corpo-de-prova. Após a secagem do selante será preenchido com água até que a coluna d'água atinja as indicações da Figura 7, será feita a reposição da água para que essa altura siga constante durante no mínimo 24 horas. As marcas no espelho indicam a permeabilidade da telha. Esse corpo-de-prova não deverá apresentar vazamento ou formação de gotas na face inferior, isso poderá ser averiguado no reflexo do espelho posicionado abaixo deste. O aparecimento de machas de umidade será tolerado.

2.3 TELHA DE FIBROCIMENTO

As telhas de fibrocimento são telhas de baixo custo, portanto bastante utilizado em construções de habitação social no Brasil (COELHO et al., 2017).

2.3.1 Composição das telhas de fibrocimento

A composição original da telha de fibrocimento era cimento, amianto e água.

O cimento Portland foi patenteado em 1824 na Inglaterra por John Aspdin com o método de produção de pedra artificial com a função de dar resistência e aumentar a velocidade de endurecimento (HENRIQUES et al., 2014). A mistura de cimento e água produz uma massa moldável até que se dê o processo de hidratação das partículas, processo isotérmico pela qual as partículas de cimentícias cristalizam e ganham resistência mecânica.

O uso da fibra de amianto foi proibido no ano de 2017 no país após o Supremo Tribunal de Federal por determinação judicial devido à sua natureza tóxica. Embora esta fibra possua alta resistência mecânica e à temperatura, além de boa qualidade isolante, durabilidade e baixo custo, as partículas liberadas pelo material deposita-se nos pulmões causando reações inflamatórias seguidas de fibrose. Também casos de cânceres de laringe, digestivo e nos ovários são alertados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (REGIONAL TELHAS, 2018).

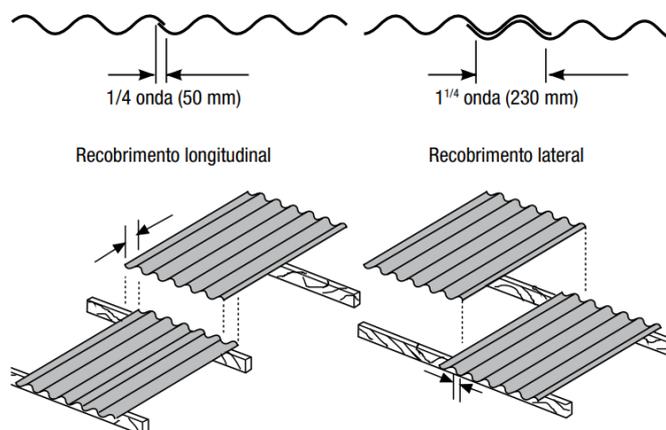
Tonoli (2006) menciona algumas das fibras utilizadas na fabricação de telhas de fibrocimento em opção ao amianto a partir de 2017, dentre elas as fibras de PVA ou de polipropileno e fibras de celulose.

2.3.2 Requisitos mínimos

A NBR 7196 – Telhas de fibrocimento sem amianto – Execução de coberturas e fechamentos laterais (ABNT, 2020) menciona os aspectos a serem considerados no dimensionamento das coberturas de telha de fibrocimento, cuidados a serem tomados na estocagem e durante a execução.

O recobrimento, ou transpasse, é o comprimento de sobreposição de telhas transversal (ou lateral) e longitudinal para que a água não percole (Figura 8).

Figura 8 - Recobrimentos transversal e longitudinal



Fonte: (Brasilit, 2014).

A norma indica como inclinação ideal ângulos acima de 10°, mas aceitando inclinações de até 5° se adotados cuidados especiais de vedação e recobrimento.

A NBR 7196 (ABNT, 2020, p.12) veta o uso de telhas de fibrocimento com espessura de 5mm nos seguintes casos:

- “a) a distância vertical do solo ao ponto mais alto da cobertura seja superior a 7,00 m;
- b) a distância vertical do ponto mais alto ao piso subjacente seja superior a 4,00m.”

2.3.3 Efeitos do envelhecimento

Por ser composto de material cimentício, a telha de fibrocimento está sujeita à deterioração assim como outros produtos com base de cimento Portland. Dias (2007) estudou a deterioração de amostras de telhas de fibrocimento considerando os efeitos da lixiviação e deterioração ácida. A amostra sob efeito das chuvas ácidas do local em estudo, apresentou porosidade e perda de espessura significativas, consecutivamente apresentando perda de resistência mecânica.

Segundo Crisel (2006) são consideradas chuvas ácidas precipitações com pH inferior a 5,6. Conforme Mirlean (2000), os valores de pH baixos encontrados na água da chuva se dão devido à dispersão de poluentes, como óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre providos dos processos de combustão, especialmente combustíveis fósseis.

3. MANUTENÇÃO

A manutenção é um fator fundamental para a conservação e ampliação da vida útil das edificações. A errônea interpretação de manutenção como sendo uma intervenção de um sistema que sofreu danos, faz com que essa prática seja mal executada ou até mesmo negligenciada (LORENCI, 2017).

Segundo Lorenci (2017), as principais causas de patologias nas construções civis se dão por falta de manutenção adequada.

3.1 MANUTENÇÃO EM EDIFICAÇÕES

Como citado por Lorenci (2017), as normas e artigos a serem seguidos para atender os requisitos de manutenção estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Textos que norteadores para manutenção em edificações

Origem	Documento	Publicação	Conteúdo
NBR	5674	2012	Manutenção de Edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção
NBR	14037	2011	Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos
NBR	15575	2021	Norma de Desempenho
Ministério da Justiça	Lei nº 10406	2002	Código Civil Brasileiro

Fonte: Adaptado de Lorenci (2017)

3.1.1 Responsabilidade civil e penal

Segundo art. 186 da Lei nº 10.406, de 10/01/2002, “aquele que, por ação ou omissão voluntária, negligência ou imprudência, violar direito e causar dano a outrem, ainda que exclusivamente moral, comete ato ilícito.”, e o artigo 927 do Código Civil complementa “aquele que, por ato ilícito (arts. 186 e 187), causar dano a outrem, fica obrigado a reparar o dano” (BRASIL, 2002). Em um ato ilícito civil, o causador de algum dano fica obrigado a indenizar, reparar ou compensar outrem, por infringir uma norma de direito privado (DEL MAR, 2015).

A responsabilidade penal, como cita Del Mar (2015), é resultante de ocorrências consideradas como crimes. Como exemplo hipotético, caso haja desabamento de uma estrutura de uma cobertura, e sendo causado pelo construtor, em virtude de uma falha humana, caracteriza-se como responsabilidade criminal em relação às vítimas.

Segundo Del Mar (2015), no ato ilícito penal, o agente do crime ou contravenção sofre uma aplicação de pena, que se caracteriza por reclusão da liberdade, pois houve violação a uma norma de direito público e sua conduta causa transtorno à ordem social.

3.1.2 Classificação dos tipos de manutenção

Lorenci (2017) classifica os tipos de manutenção conforme necessidade, sendo eles: conservação, reparação, restauração e modernização. Estes tipos de manutenção estão detalhados a seguir, segundo Lorenci (2017).

3.1.2.1 CONSERVAÇÃO

Esta manutenção consiste em pequenas tarefas executadas em curtos períodos de tempo pré-programados, desde a limpeza das calhas e poda de vegetação que possa deslocar ou danificar algum elemento da cobertura, por exemplo. Os serviços devem ser realizados por profissionais habilitados e fazendo uso correto de equipamentos de proteção individual (EPI) e equipamentos de proteção coletiva (EPC).

Indica-se fazer registros das datas destas manutenções a fim de manter uma periodicidade para planejamento da próxima manutenção. Como por exemplo, a limpeza e inspeção da cobertura para remoção de agentes biológicos responsáveis pela degradação dos materiais de cobertura.

3.1.2.2 REPARAÇÃO

Associa-se esse tipo de manutenção à procedimentos preventivos que garantam a funcionalidade normal da edificação, fazendo com que estes reparos sejam executados antes de ser alcançado o nível mínimo aceitável e depois de efetuados não ultrapassem o nível de desempenho inicial. Um exemplo de manutenção de reparação é imunização da madeira contra insetos e pragas, e a substituição peças como acessórios de fixação, calhas ou rufos.

3.1.2.3 RESTAURAÇÃO

A restauração compreende ações corretivas, esta é aplicada após um evento de falha da edificação ou de qualquer componente, assim que atingido o desempenho mínimo aceitável. Deve ser executada a fim de minimizar a perda de performance decorrente da degradação dos seus elementos, sem que seja ultrapassado o nível de desempenho inicial da edificação. Alguns exemplos são a substituição de telhas, peças de madeira da trama ou tesoura danificadas. Enfatiza-se que a negligência ou má execução das manutenções mencionadas anteriormente, aceleram a necessidade da manutenção de restauração.

3.1.2.4 MODERNIZAÇÃO

A modernização une os aspectos das manutenções corretivas e preventivas, embora não exista falhas, faz-se uma melhoria da edificação para que se supere o nível de desempenho inicial, estabelecido ao término de sua construção. Esta manutenção estende a vida útil da edificação. Um exemplo a ser citado é a troca de sistema de cobertura, para um novo sistema, seja a substituição do material ou projeto da telha, trama ou tesoura. Lembrando que o dimensionamento, projeto, e execução deverão ser refeitos para o novo sistema, e executados por profissionais habilitados.

4. FATORES METEREOLÓGICOS

A região Sul do Brasil sofre com eventos meteorológicos como chuva ácida, tempestade de granizo e vendavais, segundo Anuário Brasileiro de Desastres Naturais (BRASIL, 2014). Eventos estes que influenciam diretamente no desgaste e quebra dos elementos de cobertura.

4.1 CHUVA ÁCIDA

Robert Angus Smith, químico britânico, foi o pioneiro no estudo e monitoramento da poluição do ar em 1852 e foi o primeiro a usar o termo “chuva ácida”. Mas foi Svante Oden quem apresentou a primeira teoria completa sobre chuvas ácidas em 1967, sendo que um dos questionamentos solucionado por ele foi como compostos de enxofre viajavam por quilômetros da Alemanha e Inglaterra até a Escandinávia, causando esse fenômeno de precipitação ácida (FORNARO, 2006).

Conforme explicado por Svante (1967 apud. FORNARO, 2006), as chuvas ácidas são causadas por poluentes gasosos decorrentes de poluição urbana, principalmente a queima de combustíveis fósseis, mas não estão limitadas aos grandes centros urbanos, pois estes compostos causadores podem ser disseminados por longas distâncias sendo levados por correntes de vento.

A caracterização da acidez de águas de chuva baseia-se no equilíbrio entre água pura e dióxido de carbono (CO₂) atmosférico. Valores de pH abaixo de 5 na água precipitada são consideradas chuvas ácidas, já o pH 5,6 é considerado fronteira natural.

Conforme Mirlean (2000), no município de Porto Alegre foram encontrados valores mínimos de pH na água da chuva de 4,0, pH considerado baixo, determinando assim a região com incidência de chuvas ácidas.

4.2 GRANIZO

De acordo com o Manual de Desastres Naturais (BRASIL, 2003), o granizo pode ser compreendido como a precipitação sólida de grânulos de gelo, transparentes ou translúcidos, de forma esférica ou irregular, raramente cônica, de diâmetro igual ou superior a 5mm, embora usualmente compreendida entre 5 e 15mm. Unidades maiores que 20 mm são consideradas grandes o suficiente para causarem danos materiais.

Segundo Lanzetta (2016), pesquisadores do Instituto Federal do Paraná (IFPR) e da Universidade de São Paulo (USP), em parceria com a agência espacial norte-americana (NASA), identificaram 1.630 tempestades de granizo, nas quais 732 havia informações detalhadas, como data, horário e local de ocorrência, bem como as dimensões dos estragos causados. Consideraram-se dados obtidos da Defesa Civil nacional no período de 1999 a 2012, as quais foram aferidas com os dados mapeados por satélite.

Concluiu-se que pelo mapa obtido desse levantamento que o sul do Brasil é uma das regiões com mais tempestades intensas de granizo.

Werlang (2015), comprovou que esferas de granizo com diâmetro maiores que 45mm são capazes de causar danos em telhados de fibrocimento, uma vez que a NBR 15575-5 (ABNT, 2021) estabelece que as coberturas devem suportar uma carga concentrada de 1KN aplicada na sua seção mais desfavorável, e granizos destas dimensões superam esta carga no impacto com telhados de fibrocimento.

A seguir, nas Figuras 9 a 12 , são apresentadas notícias de ocorrências de tempestade de granizo e os estragos causados.

Figura 9 - Notícia sobre danos causados por tempestade de granizo em outubro de 2019

Governo do Estado homologa decreto de situação de emergência no município de Lagoa Vermelha

Publicação: 24/10/2019 às 09h05min



Em Lagoa Vermelha diversas casas foram atingidas por granizo. - Foto: Defesa Civil RS

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul, 2019.

Figura 10 - Notícia sobre danos causados por tempestade de granizo em julho de 2020.

Estado acompanha situação de municípios atingidos por temporal

Publicação: 01/07/2020 às 13h00min



Defesa Civil Estadual envia ajuda para municípios atingidos por temporal - Foto: Defesa Civil RS

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul, 2020.

Figura 11 - Notícia sobre danos causados por tempestade de granizo em outubro de 2021.

Defesa Civil de Canoas divulga balanço dos estragos provocados por temporal da quinta-feira



Prefeitura segue realizando um mutirão para restauração de todos os serviços públicos e a limpeza da cidade.

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul, 2021.

Figura 12 – Notícia sobre danos causados por tempestade de granizo em fevereiro de 2022.

Granizo intenso causa estragos no interior de São Francisco de Paula

Diversas residências tiveram prejuízos no Distrito do Salto, comunidade de cerca de 500 moradores

18/02/2022 - 16h57min
Atualizado em 18/02/2022 - 20h36min

COMPARTILHE:   

LEONARDO LOPES
[Enviar E-mail](#)



Moradores relatam que o granizo tinha tamanho de bolas de pingue-pongue e acumulou no chão como neve

Publicidade

Nosso compromisso é feito de aço!

SAIBA MAIS

SAMPAIO
DISTRIBUIDORA S.U.A.C.

MAIS LIDAS

TERCEIRA RODADA
Juventude x Cuiabá:
horário, como assistir
e tudo sobre o jogo do
Brasileirão

1

ACIDENTE

2

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul, 2022.

Todas as matérias relatam estragos causados por tempestade de granizo e apresentam vítimas de desalojamento devido destelhamento de suas residências. Pela consecutividade das notícias apresentadas percebe-se que esses eventos ocorrem anualmente. Assim, o uso de telhas de fibrocimento em locais com incidência de tempestades de granizo implica em eventual perda de estanqueidade do telhado e danos ao patrimônio.

4.3 VENTO

Como apresentado no Anuário Brasileiro de Desastres Naturais (BRASIL, 2014), o Rio Grande do Sul é o estado que mais apresenta registros de casos de vendavais no território nacional (Figura 13). E dos casos de desastres relacionados à ocorrência de vendavais no ano de 2013, 62,5% estão na região Sul (Figura 14).

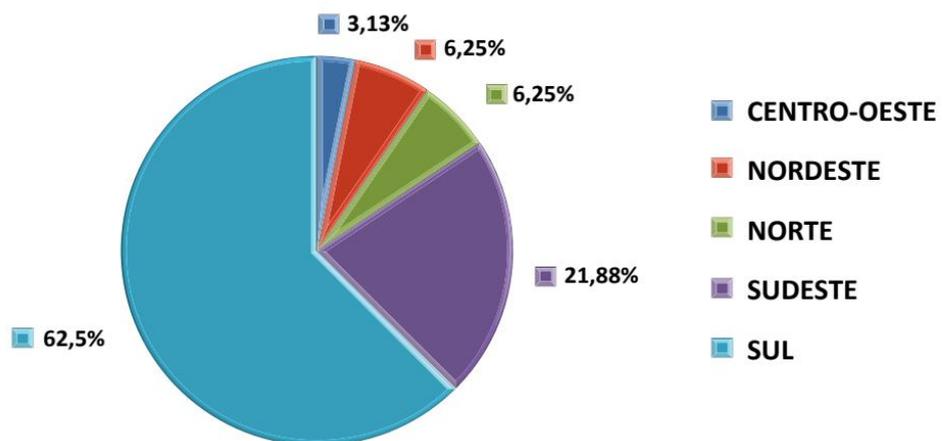
Segundo a Defesa Civil de Santa Catarina (2022), quando uma massa de ar sofre um deslocamento violento de uma área de alta pressão para outra área de baixa pressão, causa uma perturbação marcante no estado normal da atmosfera, desse movimento decorrem os vendavais, que são ventos de velocidades entre 88,0 e 102,0 km/h, também chamados de ventos duros.

Figura 13 – Ocorrências de Vendavais em 2013.



Fonte: (BRASIL, 2014)

Figura 14 – Distribuição Macrorregional dos Desastres Vinculados à Ocorrência de Vendaval em 2013.



Fonte: (BRASIL, 2014)

A NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações (ABNT, 1988) instrui, através do mapa de isopletas, o uso de velocidade básica do vento na região Sul entre 50 e 40m/s para cálculos de pressões

atuantes nas edificações. Em palestra gravada¹ em abril de 2019 ao Instituto de Engenharia o professor Acir Mércio Loredo Souza, presidente da Associação Brasileira de Engenharia do Vento, aponta as principais mudanças propostas na atualização da NBR 6123 (ABNT, 1988), que está em revisão. Dentre as mudanças propostas estão os valores básicos de velocidade e os coeficientes de ponderação.

¹ <https://vimeo.com/328191530>

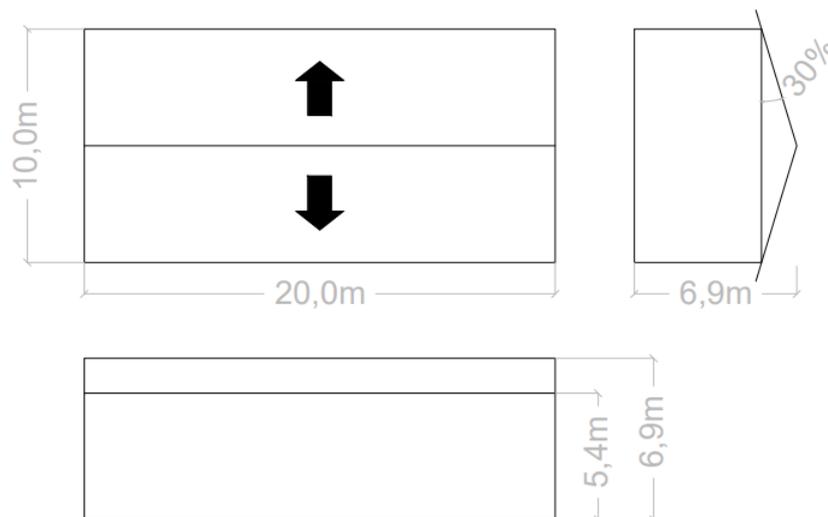
5. DIMENSIONAMENTO DAS COBERTURAS

Os cálculos apresentados a seguir estão em atendimento às normas já citadas anteriormente.

5.1 DADOS DO PROJETO

Adotou-se um projeto fictício para fins de determinação de parâmetros a serem calculados. O projeto de residência unifamiliar de dois pavimentos, será locado na região metropolitana de Porto Alegre/RS, em zona residencial. Comprimento e largura do telhado, altura da edificação e da cobertura estão apresentadas na Figura 15 e Quadro 2.

Figura 15 - Representação das projeções superior e frontal



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Quadro 2 - Dimensões da edificação

DIMENSÕES DA EDIFICAÇÃO	
Vão livre	10,00 m
Comprimento	20,00 m
Altura entre pavimentos	2,70 m
Altura telhado	1,50 m
Inclinação telhado	30,00 %

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.2 DETERMINAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DA MADEIRA

Optou-se pelo uso da madeira de eucalipto, pois se apresentou como uma opção disponível em todas as fornecedoras pesquisadas, e atende as resistências mínimas requeridas na NBR 7190-1 (ABNT, 2022) para o tipo de estrutura a ser dimensionada. O valor da resistência característica à compressão paralela às fibras, densidade aparente e o módulo de elasticidade foram obtidos por ensaios realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2021). As demais resistências foram calculadas a partir da resistência à compressão paralela às fibras dadas pelas Equações 1, 2, 3 e 4, apresentadas pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022).

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(U - 12)}{100} \right] \quad \text{Equação 1}$$

$$f_{t0,k} = 0,77 \times f_{c0,k} \quad \text{Equação 2}$$

$$f_{M,k} = 1,00 f_{t0,k} \quad \text{Equação 3}$$

$$f_{V0,k} = 0,15 f_{c0,k} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

U: teor de umidade multiplicado por 100

f_{12} : resistência na umidade de 12%

f_U : resistência medida na umidade U

$f_{c0,k}$: resistência característica à compressão paralela às fibras

$f_{t0,k}$: resistência característica à tração paralela às fibras

$f_{M,k}$: resistência característica à flexão

$f_{V0,k}$: resistência característica ao cisalhamento paralela às fibras

O Quadro 3 apresenta os valores obtidos do IPT e os valores calculados para umidade à 12%.

Quadro 3 - Propriedades do Eucalipto citridora

Propriedades de <i>Eucalipto citridora</i>	
$F_{c0,k}$	68,45 MPa
$F_{t0,k}$	52,71 MPa
$F_{M,k}$	52,71 MPa
$F_{V0,k}$	10,27 MPa
E_0	16.819,02 MPa
ρ_{12}	1040 kg/m ³

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

E_0 : módulo de elasticidade característica

ρ_{12} : densidade aparente na umidade 12%

As Equações 5 a 9 foram obtidas da NBR 7190-1 (ABNT, 2022) para determinação das resistências de projeto da madeira de eucalipto, Quadro 4.

$$K_{mod} = K_{mod,1} K_{mod,2} \quad \text{Equação 5}$$

$$f_{c0,d} = \frac{K_{mod} f_{c0,k}}{\gamma_c} \quad \text{Equação 6}$$

$$f_{t0,d} = \frac{K_{mod} f_{t0,k}}{\gamma_t} \quad \text{Equação 7}$$

$$f_{b,d} = f_{c0,d} \quad \text{Equação 8}$$

$$f_{v,d} = \frac{K_{mod} f_{v0,k}}{\gamma_v} \quad \text{Equação 9}$$

K_{mod} : Coeficiente de modificação

$K_{mod,1} = 0,70$ (carregamento de longa duração)

$K_{mod,2} = 0,80$ (classe de umidade 3)

$f_{c0,d}$: resistência à compressão de projeto

$f_{t0,d}$: resistência à tração de projeto

$f_{b,d}$: resistência à flexão de projeto

$f_{v,d}$: resistência ao cisalhamento de projeto

γ_c : 1,4, coeficiente de minoração para compressão das propriedades da madeira definido pela NBR7190-1 (ABNT, 2022)

γ_t : 1,8, coeficiente de minoração para tração das propriedades da madeira definido pela NBR7190-1 (ABNT, 2022)

γ_v : 1,8, coeficiente de minoração para cisalhamento das propriedades da madeira definido pela NBR7190-1 (ABNT, 2022)

Quadro 4 - Resistências de projeto da madeira de eucalipto.

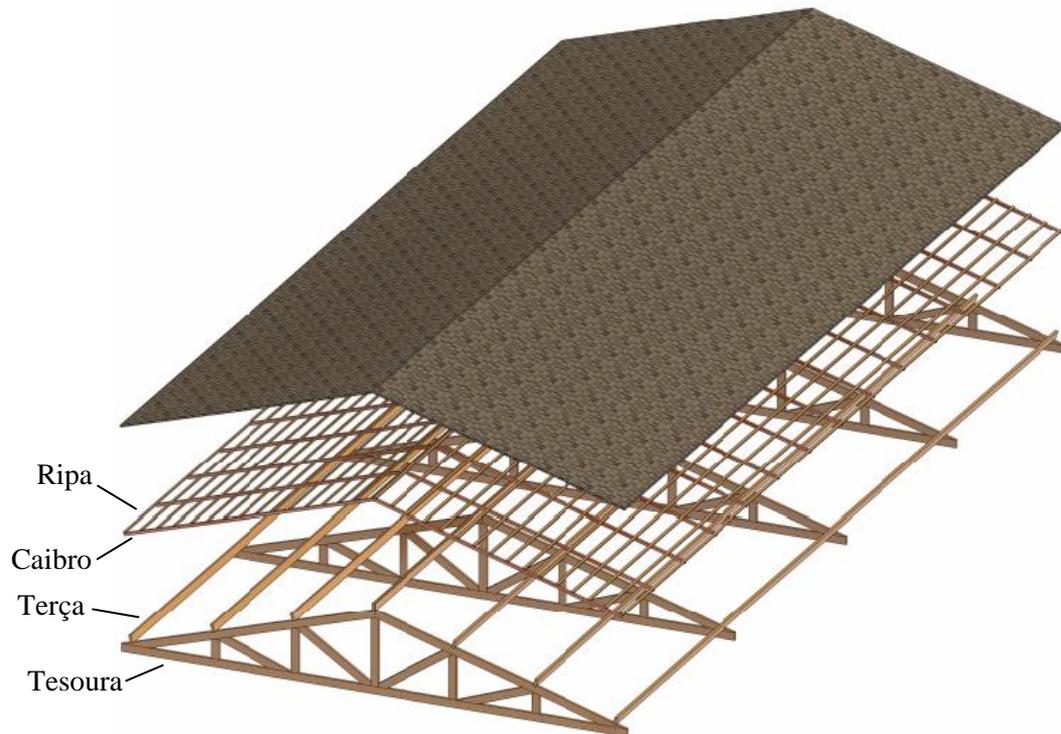
Resistência da madeira de eucalipto	
$f_{c0,d}$	27,38 Mpa
$f_{t0,d}$	21,30 Mpa
$f_{b,d}$	27,38 MPa
$f_{v,d}$	3,19 MPa

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.3 COBERTURA COM TELHADO CERÂMICO E MADEIRAMENTO EM EUCALIPTO

A estrutura de madeira dimensionada no presente projeto é composta por trama e tesouras. A trama é composta por terças, caibros e ripas, conforme indicado na Figura 16.

Figura 16 - Estrutura de telhado esquemático



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Foi adotado o modelo de telha cerâmica tipo americana esmaltada da marca Temax. O modelo dispõe de diversas cores para escolha do cliente como mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Telha cerâmica esmaltada, tipo americana.



Fonte: (Temax, 2022).

As características técnicas apresentadas pelo fabricante em seu site, estão no Quadro 5.

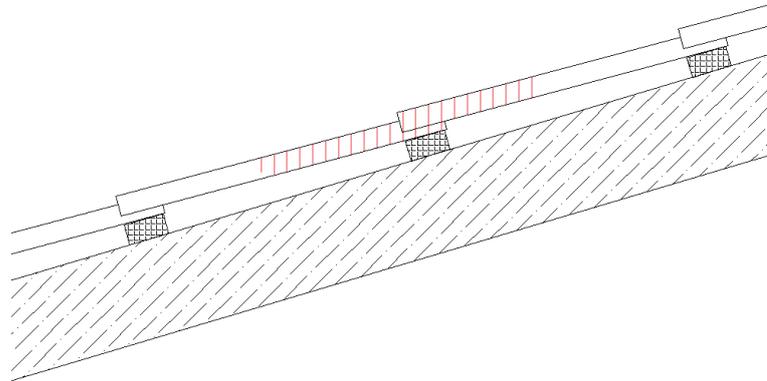
Quadro 5 - Características técnicas da telha cerâmica esmaltada tipo americana.

CARACTERÍSTICAS	
Modelo	Americano
Tamanho	415 x 25 x 405 mm
Peso/un (kgf)	2,05
Peso/m ² (kgf)	25,8
Peças/m ²	12,6
Absorção	≤12%
Carga de ruptura	600N
Galga recomendada	36,2cm
Inclinação mínima	30%
Encaixes perfeitos	sim

Fonte: Adaptado de Temax, (2022).

Para as ripas considerou-se espaçamento de 36,2cm como indicado pelo fabricante, e seção transversal de 2,5x5,0cm. Como a área de atuação das telhas sobre a ripa são de duas metades do espaçamento entre ripas como mostrado na Figura 18, tem-se então o peso 9,34 Kg/m referentes a 36,2cm de telha atuando a cada 1m de ripa.

Figura 18 - Área de atuação de telhas sobre a ripa.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.3.1 Carga devido o vento

O Software Visual Ventos (UPF, 2007), versão 1, foi elaborado pela Universidade de Passo Fundo para o cálculo das pressões internas e externas atuantes na edificação devidas as cargas de vento, baseadas na NBR 6123 (ABNT, 1988). Neste trabalho foi utilizada a versão 2007 desse software.

Para o cálculo de pressões devidas ao vento usou-se o software Visual Ventos (UPF, 2007) com dados de entrada informados no Quadro 6 e as já mencionadas geometrias da construção. Esses valores dos parâmetros são encontrados na NBR 6123 (ABNT, 1988).

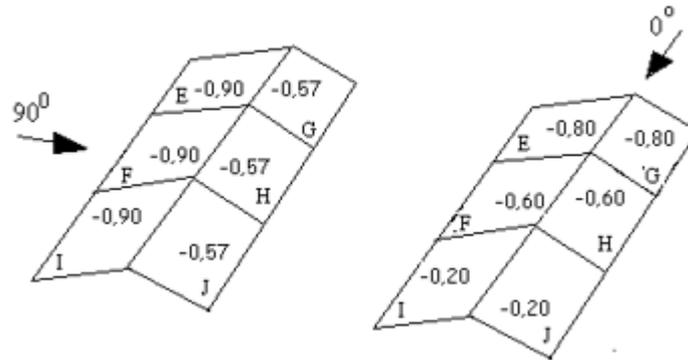
Quadro 6 - Parâmetros do vento

Parâmetros do vento	
V0 - velocidade básica	46,00 m/s
S1 - fator de topográfico	1,00
S2 - classe de rugosidade	0,82
S3 - fator estatístico	1,00
distância entre pórticos	2,00 m

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

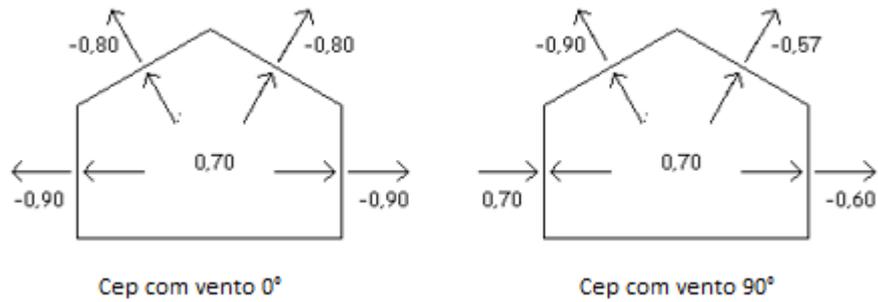
A abertura dominante na face de sotavento foi adotada pois gera o pior caso de pressão interna positiva, bem como a abertura dominante não situada em zona de alta sucção externa pois gera o pior caso de pressão interna negativa. Os dados de saída fornecidos pelo software Visual Ventos (UPF, 2007) são os coeficientes de pressão externas (C_{pe}), Figura 19, e os coeficientes de pressão interna (C_{ip}), Figuras 20 e 21.

Figura 19 - Coeficientes de pressão externa atuantes sobre a cobertura com ventos incidentes à 0° e 90°.



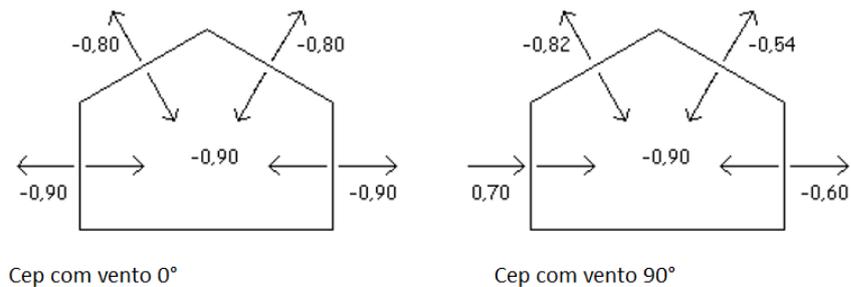
Fonte: Elaborado pela autora através do software Visual Ventos, 2022.

Figura 20 - Coeficientes de pressão interna com ventos incidentes à 0° e 90° e abertura dominante na face de sotavento.



Fonte: Elaborado pela autora através do software Visual Ventos, 2022.

Figura 21 - Coeficientes de pressão interna com ventos incidentes à 0° e 90° e abertura dominante não situada em zona de alta sucção externa



Fonte: Elaborado pela autora através do software Visual Ventos, 2022.

O software Visual Ventos (UPF, 2007), bem como a NBR 6123 (ABNT, 1988) apresentam o sinal negativo para coeficientes que representam sucção sobre a área em que atuam, dessa forma não se pode fazer a soma direta dos valores de C_{ep} e C_{ip} , deve-se fazer a soma vetorial destes valores. A Tabela 1 apresenta os valores coeficiente de pressão (C_p) calculados pela Equação 10.

$$C_p = C_{ep} - C_{ip} \quad \text{Equação 10}$$

Tabela 1 - Combinação de pressões internas e externas

Vento	C_{ep}	C_{ip}	C_p
0° - sucção	-0,80	0,70	-1,50
0° - sobrepressão	-0,80	-0,90	0,10
90° - sucção frente	-0,90	0,70	-1,60
90° - sucção fundos	-0,57	0,70	-1,27
90° - sobrepressão frente	-0,82	-0,90	0,08
90° - sobrepressão fundos	-0,54	-0,90	0,36

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

As Equações 11 e 12 foram obtidas da NBR 6123 (ABNT, 1988) para determinação da carga de vento atuante sobre a cobertura.

$$F_{w,k} = C_p \cdot 0,613 V_k^2 \quad \text{Equação 11}$$

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad \text{Equação 12}$$

$F_{w,k}$: carga de vento atuante sobre a cobertura (N/m²)

C_p : coeficiente de carga de vento sobre a cobertura

V_0 : velocidade básica do vento (m/s)

S_1 : fator de topográfico

S_2 : classe de rugosidade do terreno, das dimensões da edificação e da altura sobre o terreno

S_3 : fator estatístico

Calculou-se a pressão dinâmica atuante sobre a cobertura de 872,18 N/m². Multiplicou-se então este valor pelos coeficientes de pressão da Tabela 1, obtendo-se os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Carga de vento atuantes sobre a cobertura.

Vento	Cp	F _{w,k} [kN/m ²]
0° - sucção	-1,50	-1,31
0° - sobrepressão	0,10	0,09
90° - sucção frente	-1,60	-1,40
90° - sucção fundos	-1,27	-1,11
90° - sobrepressão frente	0,08	0,07
90° - sobrepressão fundos	0,36	0,31

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A pressão de vento atuante sobre a telha, que por sua vez atua sobre a ripa, Tabela 3, foi calculada considerando a área de atuação sobre as ripas. Similar a lógica usada na Figura 18.

Tabela 3 - Carga de vento atuante na ripa.

Vento	Pressão de vento [kN/m]
0° - sucção	-0,47
0° - sobrepressão	0,03
90° - sucção frente	-0,51
90° - sucção fundos	-0,40
90° - sobrepressão frente	0,03
90° - sobrepressão fundos	0,11

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.3.2 Carga accidental

Para a determinação da sobrecarga foi considerada as Equações 13 e 14 da NBR 6120 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 2019).

$$\alpha = \begin{cases} 1,0, & \text{se } 1\% < i \leq 2\% \\ 2,0 - 0,5i, & \text{se } 2\% < i < 3\% \\ 0,5, & \text{se } i \geq 3\% \end{cases} \quad \text{Equação 13}$$

$$F_{s,k} = 0,50 \alpha \quad \text{Equação 14}$$

i: inclinação da cobertura (%)

Da mesma forma como a carga de vento e a carga permanente foram distribuídas sobre a ripa, a sobrecarga será distribuída sobre 36,2cm por metro de ripa, resultando em uma sobrecarga de 90,5 N/m.

5.3.3 Combinações de cargas

Em posse das cargas atuantes já calculadas, segue-se para a análise de combinações de cargas para estado limite último descrita pela NBR 8681– Ações e segurança nas estruturas (ABNT, 2003), Equação 15. Considerando os valores de coeficientes também descritos nesta norma.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} \cdot F_{Gi,k} + \gamma_q \cdot \left(F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j} \cdot F_{Qj,k} \right) \quad \text{Equação 15}$$

F_d : carga de projeto

$F_{G1,k}$: valor característico das ações permanente

$F_{Q1,k}$: valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação

$\Psi_{0j} F_{Qj,k}$: valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis

γ : coeficiente de ponderação

A partir da Equação 15 foram então montadas as 12 possíveis combinações de cargas, Tabelas 4, 5 e 6 , considerando seus respectivos coeficientes de ponderação. Usou-se as siglas “P” para indicar a carga principal e “S” para indicar a carga secundária. A carga de peso próprio é devido ao peso da estrutura de madeira e peso das telhas, será abordado o desenvolvimento desses valores na seção 5.3.4.

Tabela 4 - Cargas características na ripa para cada combinação possível

Combinação		Carga característica [kN/m]				
		Permanente	Vento		Sobrecarga	
0°-sucção	1	0,085	-0,47	P	0,09	S
	2	0,085	-0,47	S	0,09	P
0°-sobrepres.	3	0,085	0,03	P	0,09	S
	4	0,085	0,03	S	0,09	P
90°-sucção frente	5	0,085	-0,51	P	0,09	S
	6	0,085	-0,51	S	0,09	P
90°-sucção fundos	7	0,085	-0,40	P	0,09	S
	8	0,085	-0,40	S	0,09	P
90°-sobrepres frente	9	0,085	0,03	P	0,09	S
	10	0,085	0,03	S	0,09	P
90°-sobrepres fundos	11	0,085	0,11	P	0,09	S
	12	0,085	0,11	S	0,09	P

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 5 - Coeficientes das combinações de cargas para estado limite de último

Combinação		γ			Ψ	
		Permanente	Vento	Sobrecarga	Vento	Sobrecarga
0°-sucção	1	1,00	1,40	0,00	1,00	0,50
	2	1,00	0,00	1,50	0,60	1,00
0°-sobrepres.	3	1,40	1,40	1,50	1,00	0,50
	4	1,40	1,40	1,50	0,60	1,00
90°-sucção frente	5	1,00	1,40	0,00	1,00	0,50
	6	1,00	0,00	1,50	0,60	1,00
90°-sucção fundos	7	1,00	1,40	0,00	1,00	0,50
	8	1,00	0,00	1,50	0,60	1,00
90°-sobrepres frente	9	1,40	1,40	1,50	1,00	0,50
	10	1,40	1,40	1,50	0,60	1,00
90°-sobrepres fundos	11	1,40	1,40	1,50	1,00	0,50
	12	1,40	1,40	1,50	0,60	1,00

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 6 - Carga de projeto

Combinação		Carga [kN/m]	
		Fd,x	Fd,y
0°-sucção	1	0,02	-0,58
	2	0,06	0,21
0°-sobrepres.	3	0,05	0,22
	4	0,07	0,27
90°-sucção frente	5	0,02	-0,63
	6	0,06	0,21
90°-sucção fundos	7	0,02	-0,48
	8	0,06	0,21
90°-sobrepres frente	9	0,05	0,21
	10	0,07	0,27
90°-sobrepres fundos	11	0,05	0,34
	12	0,07	0,34

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.3.4 Dimensionamento das ripas

Para o dimensionamento das ripas foram calculadas as cargas atuantes sobre estas para que então fosse determinado o momento fletor e esforço cortante solicitantes. Feito isso, verificou-se o atendimento quanto ao Estado Limite Último (ELU) dessas peças conforme instruído pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022).

5.3.4.1 CARGAS ATUANTES

Para se obter as propriedades geométricas da ripa, foi pesquisado no mercado local quais as dimensões das peças de madeira de eucalipto oferecidas. Assim adotou-se a peça de 2,5x5,0cm de 5,50m. As demais propriedades geométricas, Quadro 7, foram calculadas pelas Equações 16 a 19.

$$I_x = \frac{X \cdot Y^3}{12} \quad \text{Equação 16}$$

$$I_y = \frac{Y \cdot X^3}{12} \quad \text{Equação 17}$$

$$W_x = \frac{I_x}{Y/2} \quad \text{Equação 18}$$

$$W_y = \frac{I_y}{X/2}$$

Equação 19

I: momento de inércia para seção retangular

W: módulo de resistência para seção retangular

X: dimensão geométrica no eixo x da seção retangular

Y: dimensão geométrica no eixo y da seção retangular

Quadro 7 - Propriedades geométricas da ripa

Propriedades geométricas	
Base - b_{ripa}	5,00 cm
Altura - h_{ripa}	2,50 cm
Comprimento - l_{ripa}	0,50 m
Área - A_{ripa}	12,50 cm ²
Momento de inércia - I_x	6,51 cm ⁴
Momento de inércia - I_y	26,04 cm ⁴
Módulo de resistência - W_x	5,21 cm ³
Módulo de resistência - W_y	10,42 cm ³

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O peso próprio da ripa deve ser considerado como carga permanente distribuída na estrutura. Pela Equação 20 calcula-se o valor do peso próprio da ripa, resultando em 0,13N/cm.

$$PP_{barra} = \rho_{12} \cdot b_{barra} \cdot h_{barra} \quad \text{Equação 20}$$

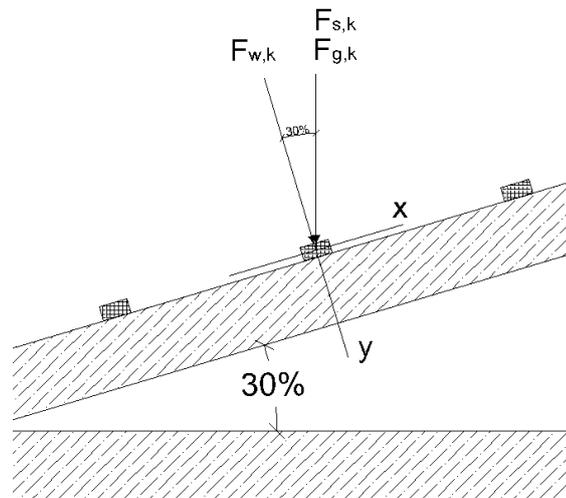
PP_{barra} : peso próprio da barra

b_{barra} : base da seção transversal da barra

h_{barra} : altura da seção transversal da barra

As combinações de cargas críticas estão destacadas na Tabela 6. Em vermelho o maior valor de sucção e, em verde o maior valor de sobrepressão. Essas cargas críticas somadas ao peso próprio da ripa decompostas em forças horizontal e vertical, Figura 22, resultam nos valores apresentados nas Tabelas 7 e 8

Figura 22 - Decomposição de cargas atuantes sobre a ripa



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 7 - Combinação de carga crítica de sucção e peso próprio da ripa

	F_x	F_y
Peso próprio da ripa [kN/cm]	$3,88 \cdot 10^{-5}$	$1,21 \cdot 10^{-4}$
Carga da combinação crítica de sucção [kN/cm]	$7,86 \cdot 10^{-5}$	$-5,63 \cdot 10^{-3}$
Carga total negativa [kN/cm]	0,0001	- 0,0055

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 8 - Combinação de carga crítica de sobrepressão e peso próprio da ripa

	F_x	F_y
Peso próprio da ripa [kN/cm]	$3,88 \cdot 10^{-5}$	$1,21 \cdot 10^{-4}$
Carga da combinação crítica de sobrepressão [kN/cm]	$1,98 \cdot 10^{-4}$	$3,46 \cdot 10^{-3}$
Carga total positiva [kN/cm]	0,0002	0,0036

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para o cálculo das reações nos apoios, dos momentos fletores e dos esforços cortantes foi utilizado o software Ftool (FTOOL, 2021). Este software foi desenvolvido pela Universidade Pontifícia Universidade Católica Rio (PUC Rio), para a análise de reticulados 2D.

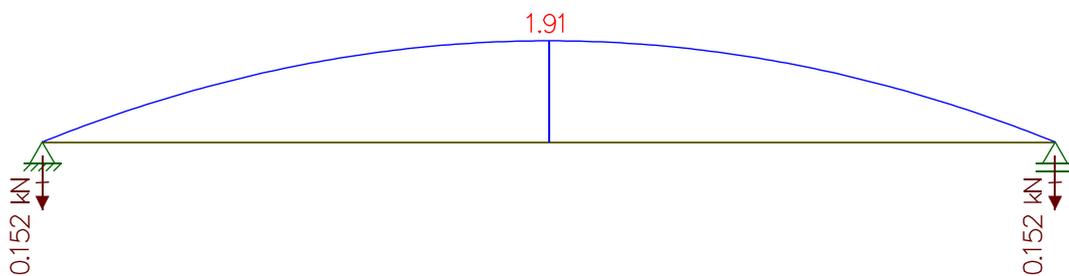
São inseridos os dados de entrada, carga distribuída total negativa (sucção) (Figura 23), e o software Ftool (FTOOL, 2021) calcula o momento fletor (Figura 24) e o esforço cortante (Figura 25).

Figura 23 – Modelo estrutural da ripa bi-apoiada com a carga de projeto total negativa



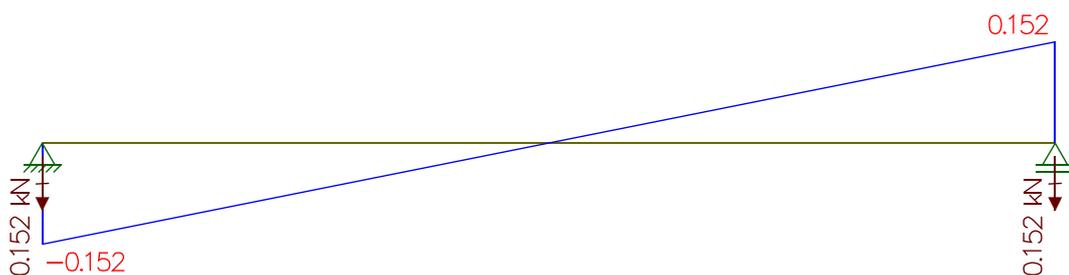
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 24 - Diagrama de momento fletor para carga negativa distribuída na ripa



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 25 - Diagrama de esforço cortante para carga negativa distribuída na ripa



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

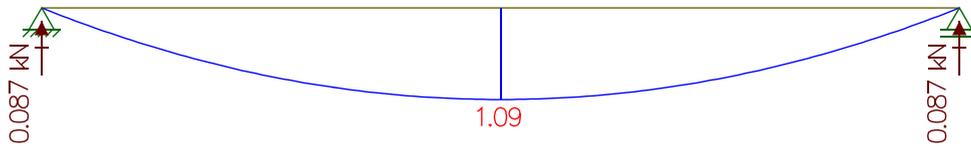
Da mesma forma foram inseridos os dados de entrada, Figura 26, e obtidos os dados de saída, Figuras 27 e 28, para a análise da carga total de positiva (sobrepessão). A seguir são apresentados os dados das análises das cargas negativas e positivas distribuídas, Quadro 8.

Figura 26 - Modelo estrutural da ripa bi-apoiada com a carga de projeto total positiva



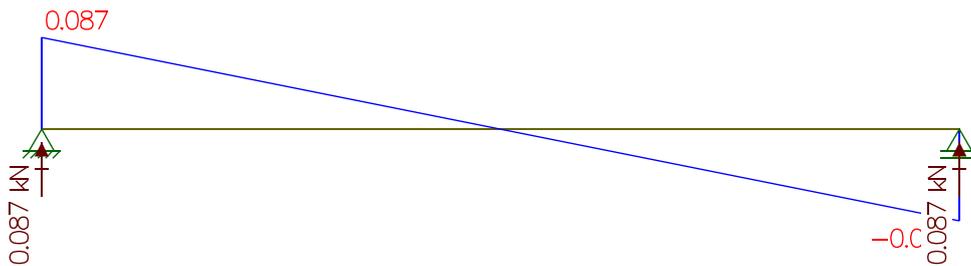
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 27 - Diagrama de momento fletor para carga positiva distribuída na ripa



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 28 - Diagrama de esforço cortante para carga positiva distribuída na ripa



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Quadro 8 - Resumo da análise da ripa na direção y (FTOOL, 2021)

	Carga total negativa	Carga total positiva
Carga distribuída (kN/cm)	-0,0061	0,0035
Momento Fletor (kN.cm)	-1,92	1,09
Esforço cortante (kN)	0,15	0,09
Reação no apoio (kN)	-0,15	0,09

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.3.4.2 VERIFICAÇÕES QUANTO AO ELU

A tensão normal máxima devido ao momento fletor é calculada pela Equação 21, considerando o maior valor absoluto de momento fletor, Quadro 8. A tensão normal máxima deve atender as condições de segurança indicadas pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022) apresentadas nas Equações 22 e 23.

$$\sigma_d = \frac{M_d}{W} \quad \text{Equação 21}$$

$$\sigma_d \leq f_{c,d} \quad \text{Equação 22}$$

$$\sigma_d \leq f_{t,d} \quad \text{Equação 23}$$

σ_d : tensão normal máxima de projeto

M_d : momento fletor de projeto

O maior valor absoluto de momento fletor analisado foi causada pela carga negativa distribuída no eixo y. Calculou-se a tensão normal máxima, resultando no valor de 0,184kN/cm². Esse valor de tensão normal máxima é menor que os valores de resistência à compressão e de resistência à tração indicada no Quadro 4.

Como o momento de inércia no eixo x é maior que o momento fletor de inércia no eixo y, e as forças atuantes são vetorialmente menores no eixo x, logo as tensões máximas devido aos momentos fletores no eixo x são menores que as tensões máximas devido aos momentos fletores no eixo y. Se o eixo y passou nesse critério de verificação, logo o eixo x também está verificado.

A tensão de cisalhamento para seção transversal retangular é dada pela Equação 24. E deve atender a condição de segurança indicada pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022) apresentada na Equação 25.

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{A} \quad \text{Equação 24}$$

$$\tau_d \leq f_{v0,d} \quad \text{Equação 25}$$

V_d : esforço cortante de projeto

A tensão de cisalhamento calculada é 0,18 kN/cm². Sendo assim, a tensão de cisalhamento é menor que a resistência ao cisalhamento da madeira. Logo, a ripa de madeira de eucalipto, nas dimensões adotadas, passa nos critérios de segurança para o estado limite último indicados na NBR 7190-1 (ABNT, 2022).

Sendo a constante 1,5 e a área, variáveis em comum entre os eixos x e y na Equação 24, esta equação é proporcional ao esforço cortante dos eixos. Portanto, sendo a carga distribuída, e consequentemente o esforço cortante, maiores no eixo y, as verificações no eixo x estão garantidas.

A flexão simples oblíqua para seção transversal retangular deve atender a condição de segurança Equação 24 indicada pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022) apresentada na Equação 28 e na Equação 29.

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + K_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{Equação 26}$$

$$K_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{Equação 27}$$

A Equação 28 resultou no valor adimensional de 0,08 e a Equação 29 resultou no valor adimensional 0,06. Ambos menores que 1,00, portanto passam na verificação quanto à flexão simples oblíqua.

5.3.4.3 VERIFICAÇÕES QUANTO AO ELS

Para as verificações de segurança quanto ao estado limite de serviço deve-se considerar as combinações de carga em seus valores característicos. São apresentados os valores dessas combinações de carga calculados, Tabela 9. A combinações de cargas variáveis (vento e sobrecarga) com sinais opostos não são somados, como é o caso das combinações 1, 2, 5, 6, 7 e 8. As combinações 4, 10 e 12 são iguais as combinações antecessoras, e as combinações 8 e 6 são iguais a combinação 2. Estas foram apenas tachadas para não se perder a sequência e fórmula de cálculos e análises feitas em planilha, e para clareza dos valores de cada combinação apresentados neste presente trabalho.

Tabela 9- Combinações da carga característica atuantes sobre a ripa.

Combinação		Carga característica [kN/m]			Carga característica projetada na viga [kN/m]	
		Perman.	Vento	Sobrecarga	Fd,x	Fd,y
0°-sucção	1	0,12	-0,98		0,04	-0,86
	2	0,12		0,19	0,09	0,30
0°-sobrepres.	3	0,12	0,07	0,19	0,09	0,36
	4=3	0,12	0,07	0,19	0,09	0,36
90°-sucção frente	5	0,12	-0,99		0,04	-0,88
	6=2	0,12		0,19	0,09	0,30
90°-sucção fundos	7	0,12	-0,81		0,04	-0,69
	8=2	0,12		0,19	0,09	0,30
90°-sobrepres frente	9	0,12	0,05	0,19	0,09	0,35
	10=9	0,12	0,05	0,19	0,09	0,35
90°-sobrepres fundos	11	0,12	0,24	0,19	0,09	0,53
	12=11	0,12	0,24	0,19	0,09	0,53

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para se fazer a verificação de flechas na ripa biapoiada em estado limite de serviço, precisa-se separar as cargas em permanentes e acidentais. Os valores característicos e a soma constam nas Tabelas 10 11 e 12 .

Tabela 10 - Cargas permanentes características

	F _x	F _y
Peso próprio da ripa (ações permanentes)	2,33.10 ⁻⁰⁴	7,29.10 ⁻⁰⁴
Peso próprio de telha (ações permanentes)	3,73.10 ⁻⁰⁴	1,17.10 ⁻⁰³
Carga total permanente [kN/cm]	0,0006	0,0019

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 11 - Cargas acidentais características positivas

	F _x	F _y
Carga devido ao vento sobrepresão (ações acidentais)	9,44.10 ⁻⁰⁴	5,31.10 ⁻⁰³
Carga devido à sobrecarga (ações acidentais)	5,71.10 ⁻⁰⁴	1,79.10 ⁻⁰³
Carga total [kN/cm]	0,0015	0,0071

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 12 - Cargas acidentais características negativas

	F_x	F_y
Carga devido ao vento sucção (ações acidentais)	3,73.10 ⁻⁰⁴	-8,77.10 ⁻⁰³
Carga total [kN/cm]	0,0004	-0,0088

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Calcula-se a flecha devido à carga permanente e a flecha devido à carga variável, ambas pela Equação 28 considerando as devidas cargas distribuídas. De posse desses valores, determina-se o valor de flecha imediata e flecha devido à fluência, respectivamente pelas Equações 29 a 31, posteriormente a flecha final pela Equação 32. Na Tabela 13 são apresentados os valores das flechas calculadas.

$$\delta = \frac{\beta \cdot q \cdot l^4}{E \cdot I_x} \quad \text{Equação 28}$$

$$\delta_{inst} = \delta_g + \delta_{q1} + \Psi_1 \cdot \delta_{q2} \quad \text{Equação 29}$$

$$\delta_{fin,g} = \delta_{inst,g} \cdot (1 + \phi) \quad \text{Equação 30}$$

$$\delta_{fin,q} = \delta_{inst,q} \cdot \Psi_2 \cdot (1 + \phi) \quad \text{Equação 31}$$

$$\delta_{fin} = \delta_{fin,g} + \delta_{fin,q} \quad \text{Equação 32}$$

δ : flecha

δ_{inst} : flecha instantânea

δ_g : flecha devido à carga permanente

δ_q : flecha devido à carga variável

δ_c : flecha devido à fluência

δ_{fin} : flecha final

Ψ_1' : 0,3, fator de redução para as combinações de grande frequência para cargas de vento definido pela NBR 8681 (ABNT, 2003)

Ψ_1'' : 0,4, fator de redução para as combinações de grande frequência para cargas acidentais definido pela NBR 8681 (ABNT, 2003)

Ψ_2' : 0, fator de redução para combinações quase permanente para cargas de vento definido pela NBR 8681 (ABNT, 2003)

Ψ_2'' : 0,3, fator de redução para combinações quase permanente para cargas acidentais definido pela NBR 8681 (ABNT, 2003)

β : $\frac{5}{384}$ para vigas biapoiadas

ϕ : coeficiente de fluência (0,80 classe de carregamento permanente ou de longa duração)

Tabela 13 - Cálculo de flechas na ripa biapoiada

Classificação da carga	Deslocamento devido à carga (mm)				Ψ_1	$\delta_{inst,q}$ (mm)	δ_{inst} (mm)	Ψ_2	δ_{fin} (mm)
	Perman	Vento (+)	Vento (-)	Acidental					
principal acidental	0,069	0,015		0,005	0,30	0,009	0,079	0,30	0,13
principal vento	0,069	0,015		0,005	0,40	0,017	0,086	0,00	0,13
principal acidental	0,069	0,015		0,005	0,30	0,009	0,079	0,30	0,13
principal vento	0,069	0,015		0,005	0,40	0,017	0,086	0,00	0,13
principal acidental	0,069		-0,023		0,30	-0,007	0,063	0,30	0,12
principal vento	0,069		-0,023		0,40	-0,023	0,047	0,00	0,13
principal acidental	0,069		-0,023		0,30	-0,007	0,063	0,30	0,12
principal vento	0,069		-0,023		0,40	-0,023	0,047	0,00	0,13

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Segundo a NBR 7190-1 (ABNT, 2022), a flecha final não deve superar 1/300 dos vãos, e a flecha instantânea não deve superar 1/500 dos vãos. Neste caso o vão é de 362mm. Logo a flecha final admissível é de 1,21mm, e a flecha instantânea admissível é de 0,72mm. As flechas finais e instantâneas para os carregamentos positivos e negativos estão dentro do limite admissível para a verificação de estado limite de serviço.

5.3.5 Dimensionamento dos caibros

Para o dimensionamento dos caibros foram calculadas as cargas atuantes sobre estas para que então fosse determinado o momento fletor e esforço cortante solicitantes. Feito isso, verificou-se o atendimento quanto ao Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS) dessas peças conforme instruído pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022).

5.3.5.1 CARGAS ATUANTES

Seguindo o dimensionamento da cobertura, considera-se o valor calculado nas reações de apoio das ripas descarregando sobre o caibro. Analogamente ao raciocínio da carga da telha sobre a ripa, na Figura 18, descarrega-se duas vezes o valor da reação calculada no apoio da ripa, pois esse apoio da ripa é o próprio caibro que recebe esta carga vinda nos dois sentidos, Quadro 9.

Quadro 9 - Reação de apoio da ripa como carga concentrada sobre o caibro

	carga crítica de sucção	Carga crítica de sobrepessão
$R_{l,ripa}$ (reação do apoio da ripa) – kN	-0,15	0,09
F_{ripa} (carga concentrada no caibro) – kN	-0,31	0,18

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Semelhante à ripa, adotou-se dimensões disponíveis no mercado para os caibros. Peças de 5,50m e seção transversal de 5,0x5,0cm. Espaçamento será um múltiplo de 36,2cm, espaçamento das ripas, neste caso optou-se por 144,8cm. As medidas adotadas e as propriedades geométricas obtidas através desses parâmetros iniciais, Quadro 10.

Quadro 10 - Propriedades geométricas do caibro

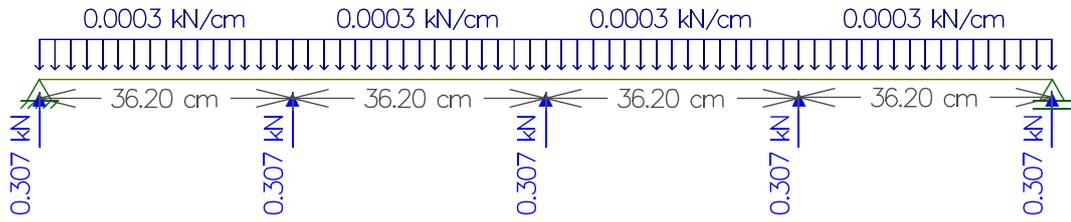
Propriedades geométricas	
Base - b_{caibro}	5,00 cm
Altura - h_{caibro}	5,00 cm
Comprimento - l_{caibro}	144,8 m
Área - A_{caibro}	25,00 cm ²
Momento de inércia – I_x	52,08 cm ⁴
Momento de inércia – I_y	52,08 cm ⁴
Módulo de resistência - W_x	20,83 cm ³
Módulo de resistência - W_y	20,83 cm ³

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O peso próprio do caibro de 0,3N/cm foi obtido pela Equação 20, da mesma forma ao adotado para ripa, usando-se devidamente a geometria do caibro.

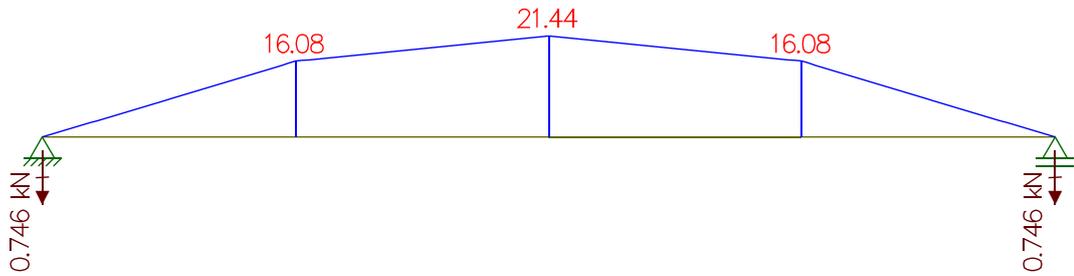
Novamente usa-se o software Ftool (FTOOL, 2021) para análise de cargas de sucção e sobrepessão em viga biapoiada para obtenção dos valores de momento fletor, esforço cortante e reações nos apoios dos caibros, conforme Figuras 29 a 34 . A seguir, estão apresentados os valores de entrada usados e de saída obtidos do software, Quadro 11.

Figura 29 - Cargas no caibro biapoado com carregamento de sucção



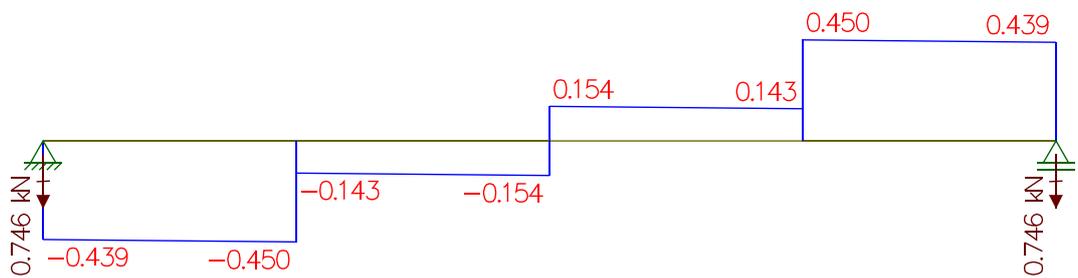
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 30 - Momento fletor no caibro biapoado com carregamento de sucção



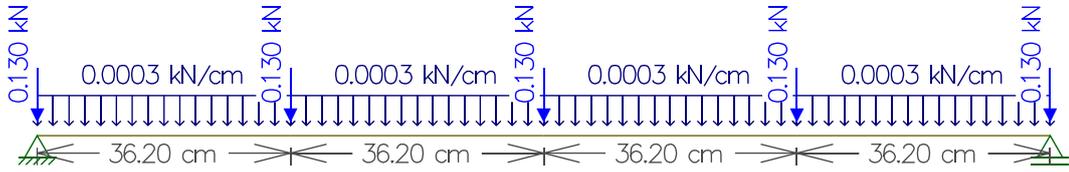
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 31 - Esforço cortante no caibro biapoado com carregamento de sucção



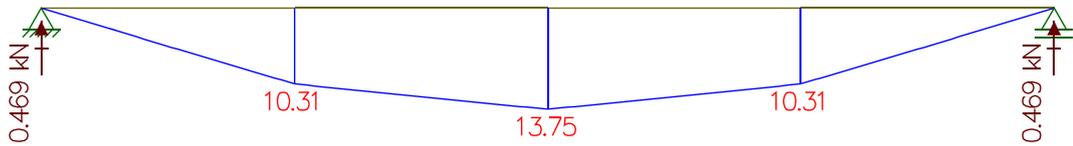
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 32 - Cargas no caibro biapoado com carregamento de sobrepressão



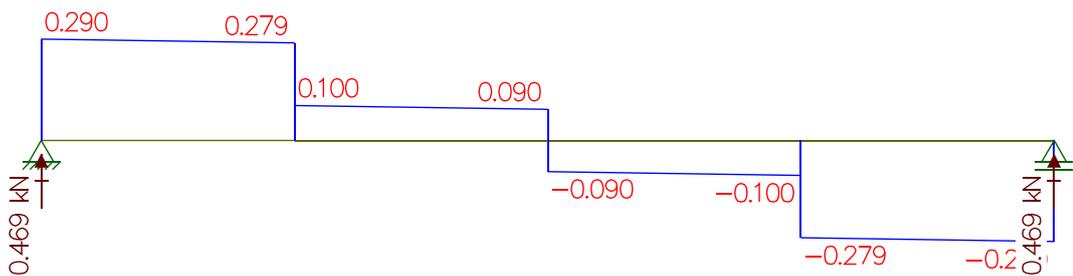
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 33 - Momento fletor no caibro biapoado com carregamento de sobrepressão



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 34 - Esforço cortante no caibro biapoado com carregamento de sobrepressão



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Quadro 11 - Dados da análise no software Ftool (FTOOL, 2021)

	Carga crítica de sucção	Carga crítica de sobrepressão
Carga distribuída - PP_{caibro} (kN/cm)	0,0003	0,0003
Carga concentrada (kN)	-0,307	0,130
Momento Fletor (kN.cm)	-21,44	13,75
Esforço cortante (kN)	0,450	0,290
Reação no apoio (kN)	-0,746	0,469

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.3.5.2 VERIFICAÇÃO QUANTO AO ELU

Os limites das verificações das Equações 22, 23 e 25, são atendidos para o caibro. Sendo os valores de tensão normal e tensão de cisalhamento respectivamente $1,03\text{kN/cm}^2$ e $0,03\text{kN/cm}^2$, calculados pelas Equações 21 e 24, similarmente ao calculado para a ripa.

5.3.5.3 VERIFICAÇÃO QUANTO AO ELS

São calculadas as cargas das combinações pontuais e distribuídas características atuantes sobre o caibro, Tabelas 14, 15 e 16.

Tabela 14- Soma das cargas permanentes características

	F_x	F_y
Carga devido ao caibro (ações permanentes) [kN]	0,0018	0,0061
Carga devido às telhas e ripas (ações permanentes) [kN]	0,0122	0,0406
Σ Carga total [kN]	0,0140	0,0467
Carga devido ao caibro (ações permanentes) [kN/cm]	0,0001	0,0003

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 15 - Soma das cargas acidentais características para o caso de sobrepressão

	F_x	F_y
Carga de vento sobrepressão (ações acidentais)	0,00	$5,68 \cdot 10^{-2}$
Carga de sobrecarga (ações acidentais)	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$4,33 \cdot 10^{-2}$
Σ Carga total [kN]	0,0130	0,1002

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

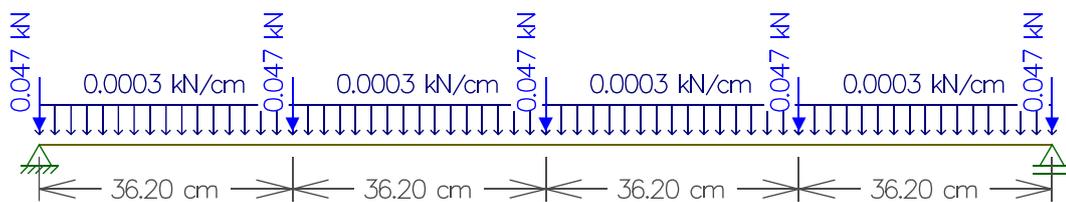
Tabela 16 - Soma das cargas acidentais características para o caso de sucção

	F_x	F_y
Carga de vento sucção (ações acidentais)	0,00	-0,2526
Σ Carga total [kN]	0,0094	- 0,2526

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

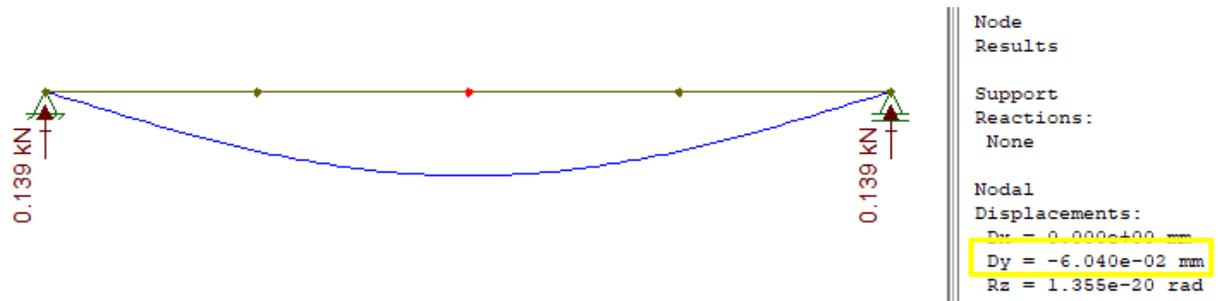
Essas cargas características foram lançadas no software Ftool (FTOOL, 2021) para obtenção da flecha do caibro biapoiado, as propriedades da madeira e da seção transversal já citados também foram inseridos no software. As Figuras 35 , 37 , 39 e 41 mostram as cargas inseridas, e as Figuras 36 , 38 , 40 e 42 a flecha da viga.

Figura 35 - Carga permanente característica no caibro



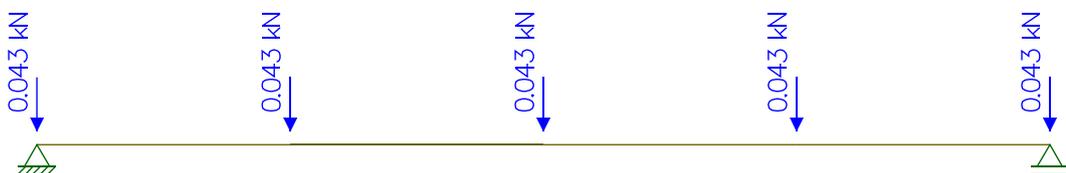
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 36 - Deslocamento devido à carga permanente característica no caibro



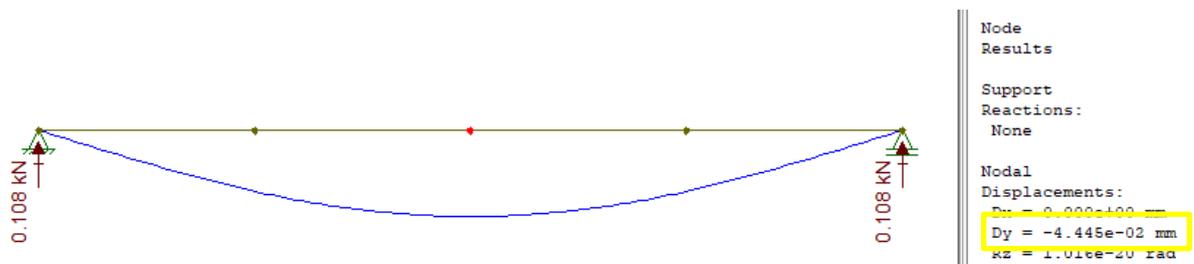
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 37 - Carga acidental concentrada característica no caibro



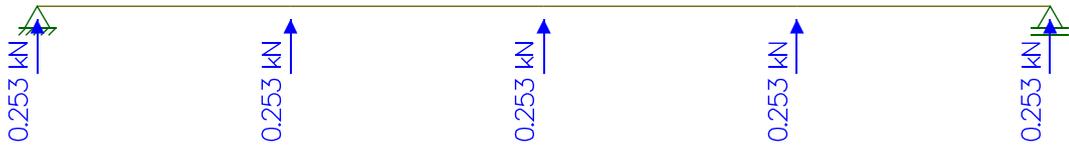
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 38 - Deslocamento devido à carga acidental concentrada característica no caibro



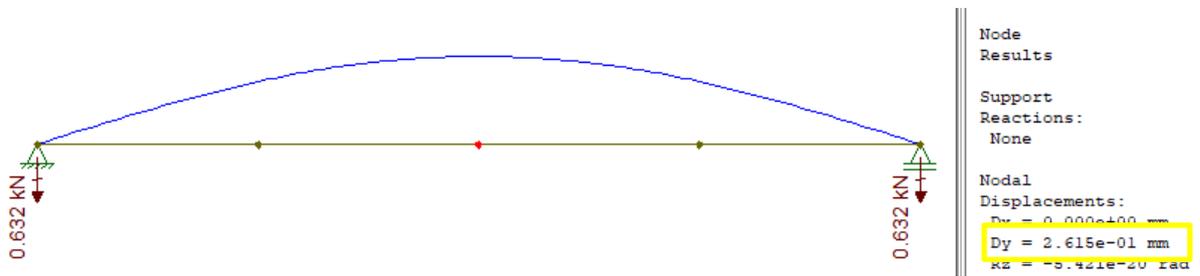
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 39 - Carga concentrada de sucção característica no caibro



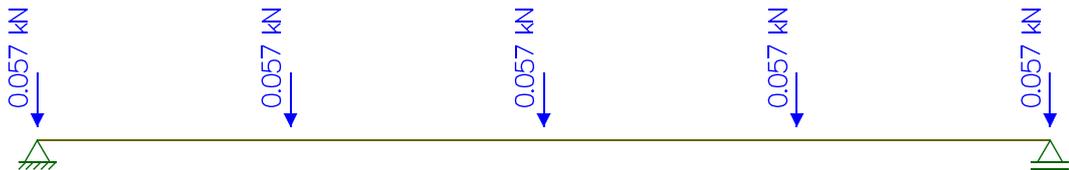
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 40 - Deslocamento devido à carga concentrada de sucção característica no caibro



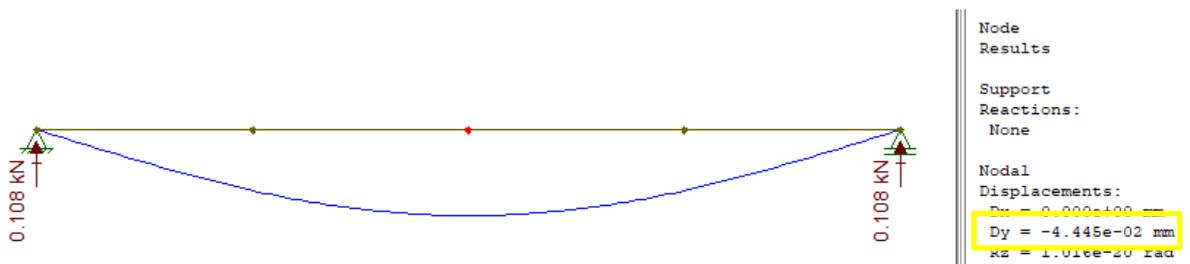
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 41 - Carga concentrada de sobrepressão característica no caibro



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 42 - Deslocamento devido à carga concentrada de sobrepressão característica no caibro



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os valores de flecha devido à carga permanente e flecha devido às cargas variáveis negativas e positivas obtidas das Figuras 36 , 38 , 40 e 42, bem como as flechas imediatas, devida à fluência e final calculadas a partir destas, pelas Equações 29, 30 e 32, seguem na Tabela 17.

Tabela 17 - Cálculo de flechas no caibro biapoiada

Classificação da carga	Deslocamento devido à carga (mm)				Ψ_1	$\delta_{inst,q}$ (mm)	δ_{inst} (mm)	Ψ_2	δ_{fin} (mm)
	Perman	Vento (+)	Vento (-)	Acidental					
principal acidental	0,060	0,059		0,044	0,30	0,062	0,123	0,30	0,14
principal vento	0,060	0,059		0,044	0,40	0,077	0,137	0,00	0,11
principal acidental	0,060	0,059		0,044	0,30	0,062	0,123	0,30	0,14
principal vento	0,060	0,059		0,044	0,40	0,077	0,137	0,00	0,11
principal acidental	0,060		-0,262		0,30	-0,078	-0,018	0,30	0,07
principal vento	0,060		-0,262		0,40	-0,262	-0,201	0,00	0,11
principal acidental	0,060		-0,262		0,30	-0,078	-0,018	0,30	0,07
principal vento	0,060		-0,262		0,40	-0,262	-0,201	0,00	0,11

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Semelhantemente aos cálculos apresentados de flecha admissível para a verificação da ripa, a flecha final não deve superar 1/300 dos vãos, e a flecha instantânea não deve superar 1/500 dos vãos. Neste caso o vão é de 1448mm. Logo a flecha final admissível é de 4,83mm, e a flecha instantânea admissível é de 2,89mm. As flechas finais e instantâneas para os carregamentos positivos e negativos estão dentro do limite admissível para a verificação de estado limite de serviço.

5.3.6 Dimensionamento das terças

Para o dimensionamento das terças foram calculadas as cargas atuantes sobre estas para que então fosse determinado o momento fletor e esforço cortante solicitantes. Feito isso, verificou-se o atendimento quanto ao Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS) dessas peças conforme instruído pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022).

5.3.6.1 CARGAS ATUANTES

O mesmo procedimento de distribuição de cargas utilizados para o dimensionamento do caibro deve ser aplicado à verificação das terças. Assim, seguem no Quadro 12 as cargas devidas aos apoios dos caibros, e no Quadro 13 as propriedades geométricas adotadas para a terça.

Quadro 12 - Reação de apoio do caibro como carga concentrada sobre a terça

	carga crítica de sucção	carga crítica de sobrepressão
$R_{2,caibro}$ (reação do apoio do caibro) – kN	-0,746	0,469
F_{caibro} (carga concentrada na terça) – kN	-1,492	0,938

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

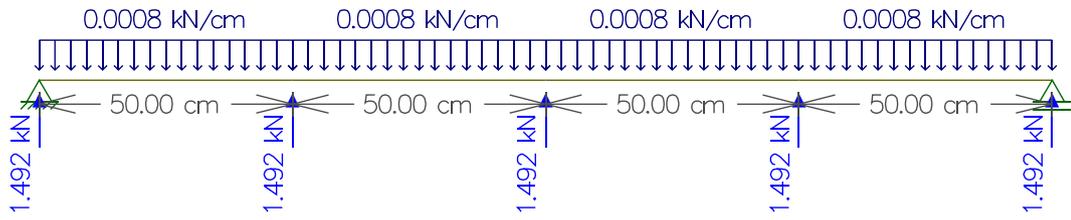
Quadro 13 - Propriedades geométricas da terça

Propriedades geométricas	
Base – $b_{terça}$	5,00 cm
Altura - $h_{terça}$	15,00 cm
Comprimento - $l_{terça}$	200,00 cm
Área - $A_{terça}$	75,00 cm ²
Momento de inércia – I_x	1406,25 cm ⁴
Momento de inércia – I_y	156,25 cm ⁴
Módulo de resistência - W_x	187,50 cm ³
Módulo de resistência - W_y	62,50 cm ³

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

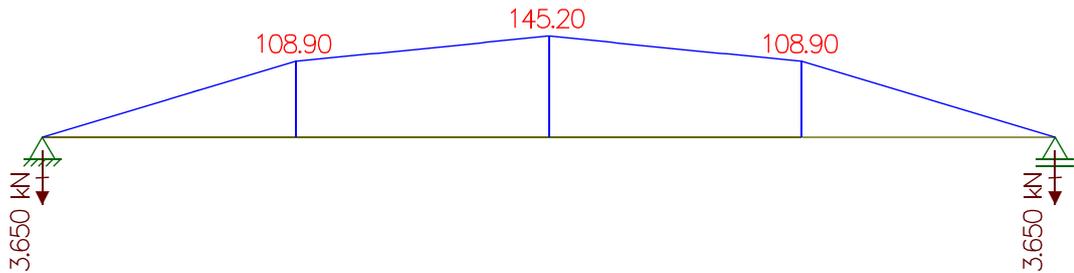
O valor calculado do peso próprio da terça é 0,8N/cm. As análises de momento fletor, esforço cortante e reações nos apoios foram calculadas no software Ftool (FTOOL, 2021), Figuras 43 a 48

Figura 43 - Carregamento de sucção na terça.



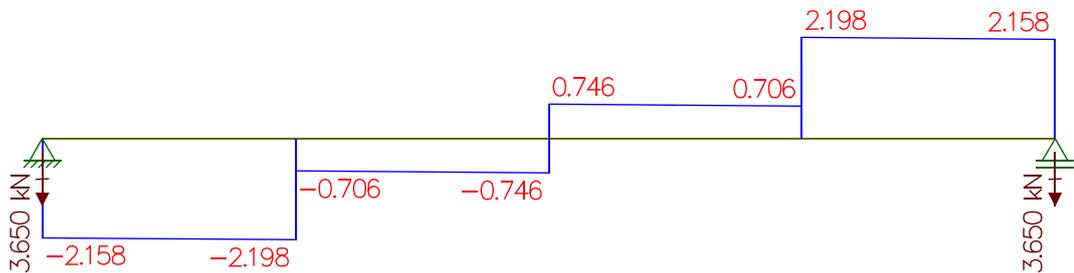
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 44 - Momento fleto devida carga de sucção atuante na terça.



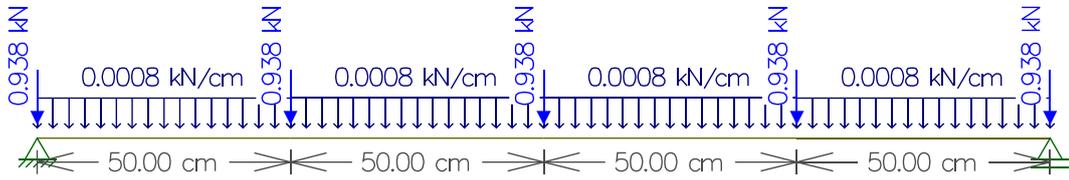
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 45 - Esforço cortante devida carga de sucção atuante na terça.



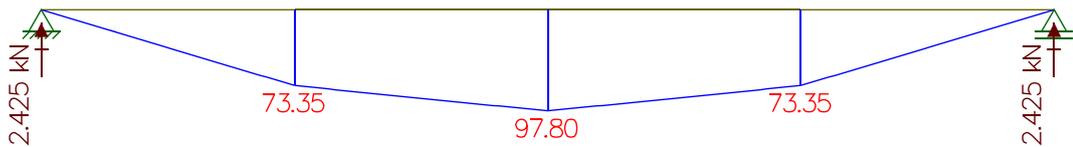
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 46 - Carregamento de sobrepressão em terça



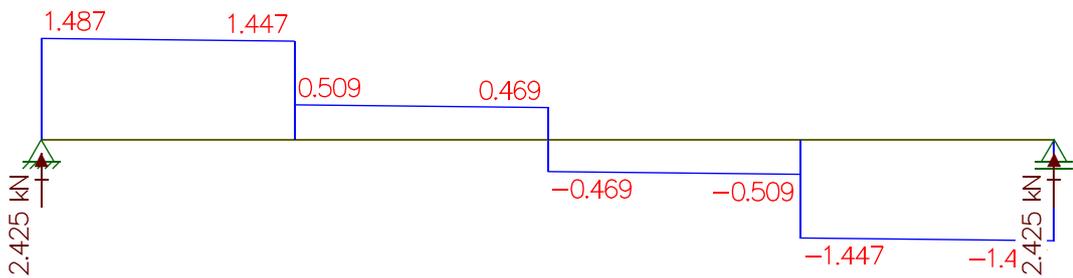
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 47 - Momento fletor devido carga de sobrepressão na terça



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 48 - Esforço cortante devida carga de sobrepressão na terça



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os valores de entrada usados e de saída obtidos do software estão apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 - Dados da análise no software Ftool (FTOOL, 2021)

	Carga crítica de sucção	Carga crítica de sobrepressão
Carga distribuída - $PP_{terça}$ (kN/cm)	0,0008	0,0008
Carga concentrada (kN)	-1,492	0,938
Momento Fletor (kN.cm)	-145,200	97,800
Esforço cortante (kN)	2,198	1,487
Reação no apoio (kN)	-3,650	2,425

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.3.6.2 VERIFICAÇÃO QUANTO AO ELU

Os limites das verificações das Equações 22, 23 e 25, são atendidos para a terça. Sendo os valores de tensão normal e tensão de cisalhamento respectivamente 2,32 kN/cm² e 0,02 kN/cm², calculados pelas Equações 21 e 24, similarmente ao calculado para a ripa.

5.3.6.3 VERIFICAÇÃO QUANTO AO ELS

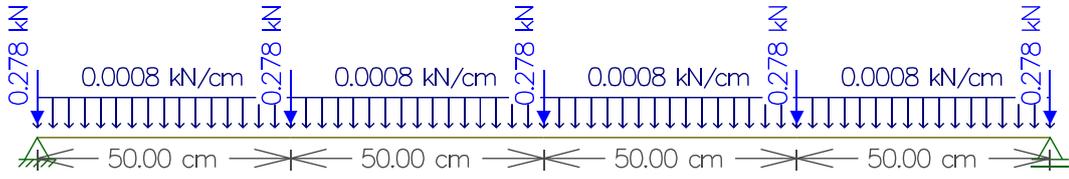
A carga permanente pontual característica, 0,278 kN, atuante na terça foi obtida da reação de apoio calculada pelo software Ftool (FTOOL, 2021), Figura 35. Semelhantemente as cargas variáveis de sucção e de sobrepressão foram obtidas das reações dos apoios, Figuras 37 e 39. As cargas características são dadas pelas reações de dois apoios dos caibros, Quadro 15. Os carregamentos, as flechas devidas às cargas permanentes, as devidas às cargas variáveis e as devidas às cargas variáveis negativas, foram calculados usando-se novamente o software Ftool (FTOOL, 2021), Figuras 49 a 56.

Quadro 15 - Cargas permanentes características atuantes na terça

Cargas características na terça		
$2x R_{caibro,perm}$	0,278	kN
$2x R_{caibro,pos s}$	0,216	kN
$2x R_{caibro,neg w}$	1,264	kN
$2x R_{caibro,pos w}$	0,284	kN

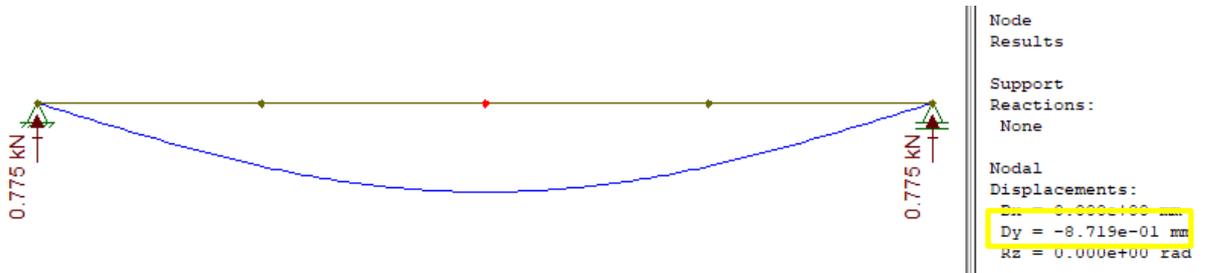
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 49 - Carga permanente característica na terça



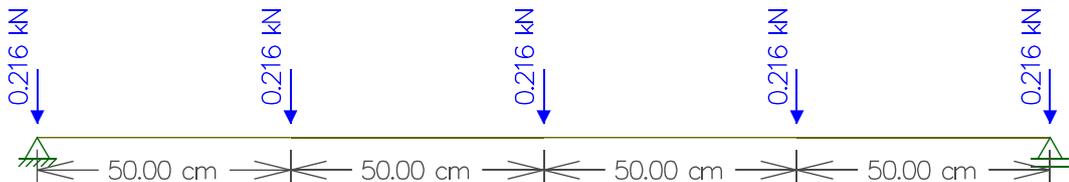
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 50 - Flecha devida à carga permanente característica atuante na terça



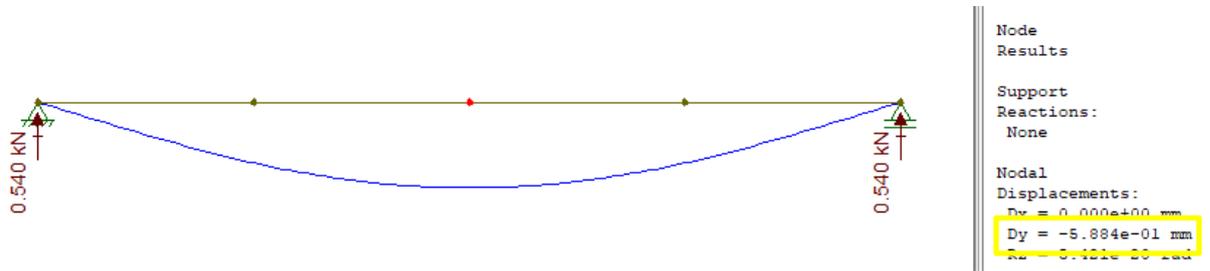
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 51 - Carga variável positiva característica atuante na terça



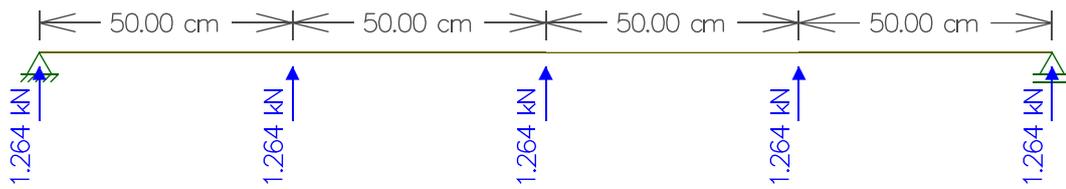
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 52 - Flecha devido à carga positiva variável característica atuante na telha



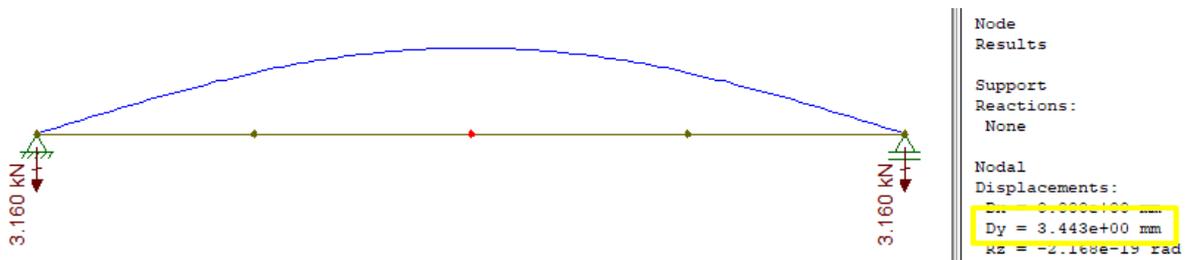
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 53 - Carga de sucção característica atuante na telha



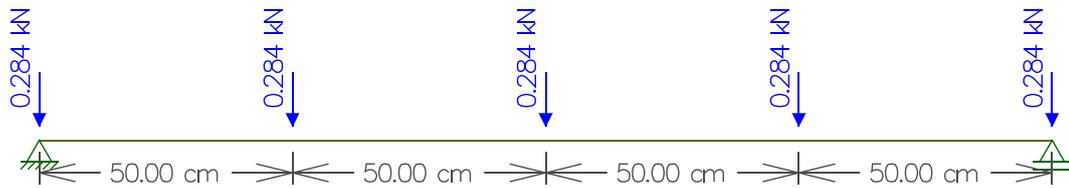
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 54 - Flecha devido carga de sucção característica atuante na telha



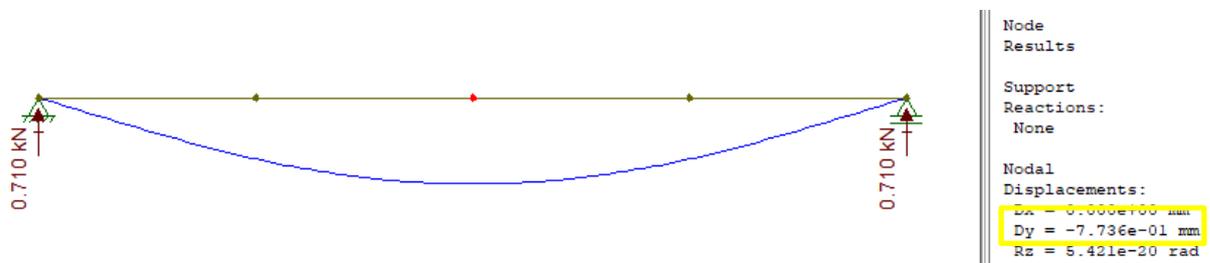
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 55 - Carga de sobrepressão característica atuante na terça



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 56 - Flecha devido carga de sobrepressão característica atuante na terça



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os valores de flecha devido à carga permanente (Figura 49 e Figura 50) e flecha devido às cargas variáveis negativas e positivas (Figuras 51 a 56), foram obtidos como dados de saída do software Ftool (FTOOL, 2021). A partir desses valores, foram calculadas pelas Equações 29, 30 e 32, a flecha imediata, a flecha devida à fluência e a flecha final (Tabela 18).

Tabela 18 - Cálculo de flechas na treliça biapoiada

Classificação da carga	Deslocamento devido à carga (mm)				ψ_1	$\delta_{inst,q}$ (mm)	δ_{inst} (mm)	ψ_2	δ_{fin} (mm)
	Perman	Vento (+)	Vento (-)	Acidental					
principal acidental	0,872	0,774		0,044	0,30	0,277	1,148	0,30	1,72
principal vento	0,872	0,774		0,044	0,40	0,791	1,663	0,00	1,57
principal acidental	0,872	0,774		0,044	0,30	0,277	1,148	0,30	1,72
principal vento	0,872	0,774		0,044	0,40	0,791	1,663	0,00	1,57
principal acidental	0,872		-3,443		0,30	-1,033	-0,161	0,30	1,01
principal vento	0,872		-3,443		0,40	-3,443	-2,571	0,00	1,57
principal acidental	0,872		-3,443		0,30	-1,033	-0,161	0,30	1,01
principal vento	0,872		-3,443		0,40	-3,443	-2,571	0,00	1,57

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Semelhantemente aos cálculos apresentados de flecha admissível para a verificação da ripa, a flecha final não deve superar 1/300 dos vãos, e a flecha instantânea não deve superar 1/500 dos vãos. Neste caso o vão é de 2000mm. Logo a flecha final admissível é de 6,67mm, e a flecha instantânea admissível é de 4,00mm. As flechas finais e instantâneas para os carregamentos positivos e negativos estão dentro do limite admissível para a verificação de estado limite de serviço.

5.3.7 Dimensionamento das treliças

Para o dimensionamento das treliças foram calculadas as cargas atuantes para a determinar as solicitações de tração ou compressão atuantes em cada barra da estrutura. Esses dados então são utilizados para fazer as verificações quanto à resistência à compressão e tração axial das peças.

5.3.7.1 CARGAS ATUANTES

Para a treliça optou-se pela peça de madeira de eucalipto de comprimento 5,50m e seção transversal de 5,0x15,0cm. Logo, o peso próprio das barras da treliça é 0,8N/cm.

Monta-se todas as possibilidades de combinações de carga atuantes para a verificação de carga, Tabela 19.

Tabela 19 - Valores característicos das cargas para diversas combinações com o vento

Combinação		Carga [kN]				
		Permanente	Vento		Sobrecarga	
0°-sucção	1	0,775	-2,960	P	0,566	S
	2	0,775	0,00	S	0,566	P
0°-sobrepres.	3	0,775	0,197	P	0,566	S
	4	0,775	0,197	S	0,566	P
90°-sucção frente	5	0,775	-3,157	P	0,566	S
	6	0,775	0,00	S	0,566	P
90°-sucção fundos	7	0,775	-2,506	P	0,566	S
	8	0,775	0,00	S	0,566	P
90°-sobrepres frente	9	0,775	0,158	P	0,566	S
	10	0,775	0,158	S	0,566	P
90°-sobrepres fundos	11	0,775	0,710	P	0,566	S
	12	0,775	0,710	S	0,566	P

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

As linhas cinzas representam combinações de cargas repetidas, pois quando a carga variável secundária é favorável, ou seja, minimiza as cargas permanentes, deve ser desconsiderada, como observado nas combinações 2, 6 e 8, desta forma todas essas combinações têm apenas as parcelas de peso próprio e de sobrecarga. As linhas de mesma cor representam cargas complementares na treliça, como por exemplo a combinação 5 e 7, são cargas complementares, a combinação 5 atua na água frontal da cobertura, já a combinação 7 atua na água posterior da cobertura.

Os coeficientes de ponderação de cada uma das combinações da estão listadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Coeficientes de ponderação das combinações de carga

Combinação		γ			Ψ	
		Permanente	Vento	Sobrecarga	Vento	Sobrecarga
0°-sucção	1	1,000	1,400	0,00	1,000	0,700
	2	1,400	1,400	1,500	0,00	1,000
0°-sobrepres.	3	1,400	1,400	1,500	1,000	0,700
	4	1,400	1,400	1,500	0,600	1,000
90°-sucção frente	5	1,000	1,400	0,00	1,000	0,700
	6	1,400	1,400	1,500	0,00	1,000
90°-sucção fundos	7	1,000	1,400	0,00	1,000	0,700
	8	1,400	1,400	1,500	0,00	1,000
90°-sobrepres frente	9	1,400	1,400	1,500	1,000	0,700
	10	1,400	1,400	1,500	0,600	1,000
90°-sobrepres fundos	11	1,400	1,400	1,500	1,000	0,700
	12	1,400	1,400	1,500	0,600	1,000

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Obtêm-se o resultado das combinações de cargas pontuais nos nós das treliças, Tabela 21, calculadas segundo a Equação 15.

Tabela 21 – Combinações de cargas pontuais nos nós da treliça devido às terças, cargas de vento e cargas acidentais

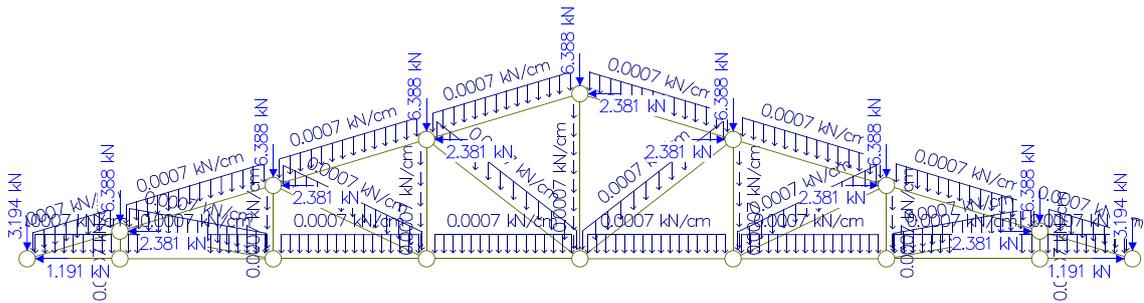
Combinação		Carga [kN]		2x Carga [kN]	
		Fd,x	Fd,y	Fd,x	Fd,y
0°-sucção	1	-1,191	-3,194	-2,381	-6,388
	2	0,000	1,933	0,000	3,867
0°-sobrepres.	3	0,079	1,944	0,159	3,887
	4	0,048	2,092	0,095	4,184
90°-sucção frente	5	-1,270	-3,459	-2,540	-6,918
	6	0,000	1,933	0,000	3,867
90°-sucção fundos	7	-1,008	-2,586	-2,016	-5,171
	8	0,000	1,933	0,000	3,867
90°-sobrepres frente	9	0,064	1,891	0,127	3,781
	10	0,038	2,060	0,076	4,121
90°-sobrepres fundos	11	0,286	2,632	0,572	5,263
	12	0,171	2,505	0,343	5,010

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Como as combinações 1, 2, 3 e 4 são combinações de cargas simétricas, ou seja, as mesmas cargas são aplicadas nas duas águas, dessa forma serão apresentados os carregamentos e os valores de esforço

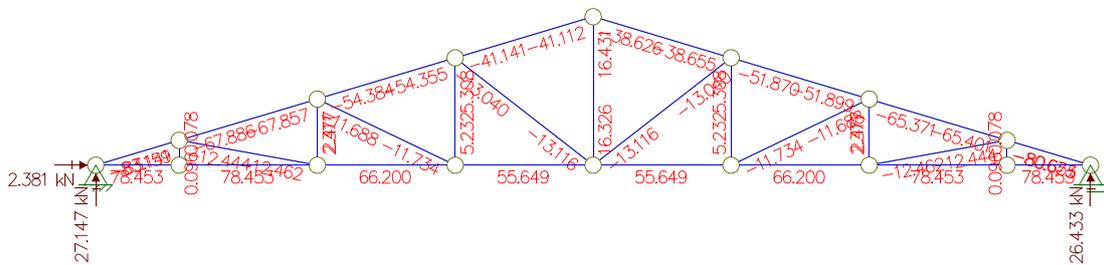
normal apenas o lado da frente da cobertura, mostram o carregamento e os valores de esforço normal (o diagrama foi ocultado para melhorar a visualização dos valores nas barras, pois para esse caso apenas os valores são relevantes) (Figura 57 a 70). Os valores críticos de esforços normais das barras da treliça foram listados para as suas respectivas combinações (Quadro 16).

Figura 57 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 1 simétrica



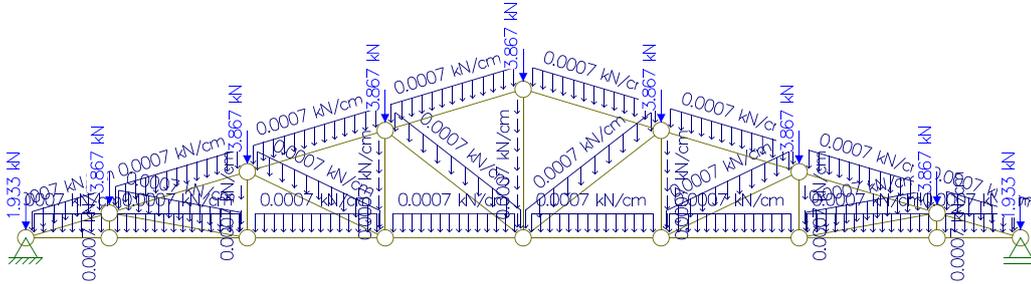
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 58 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 1 simétrica



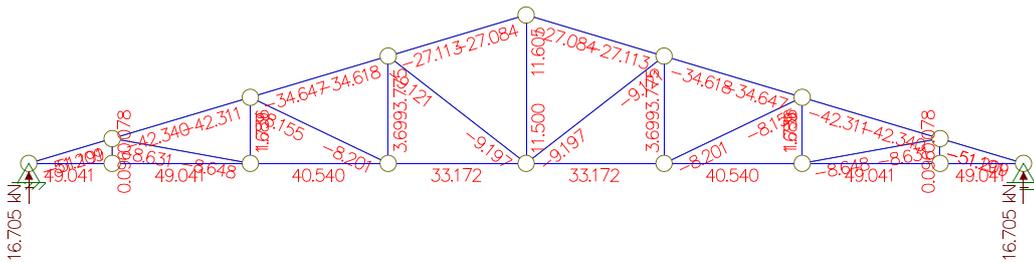
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 59 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 2 simétrica



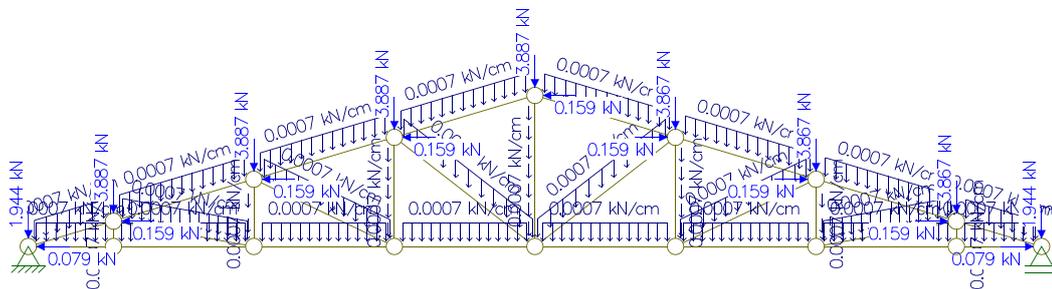
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 60 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 2 simétrica



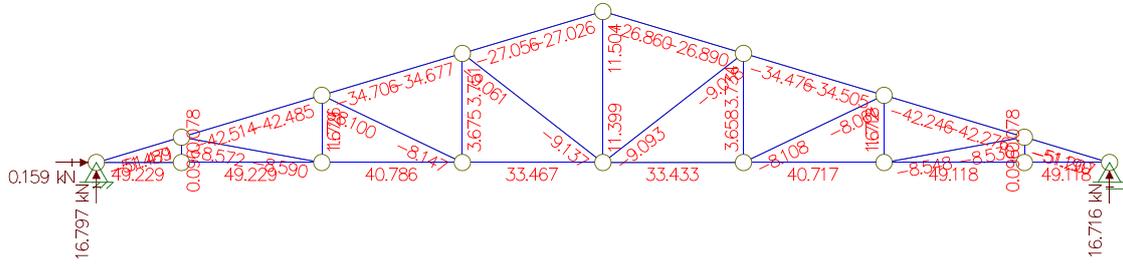
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 61 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 3 simétrica



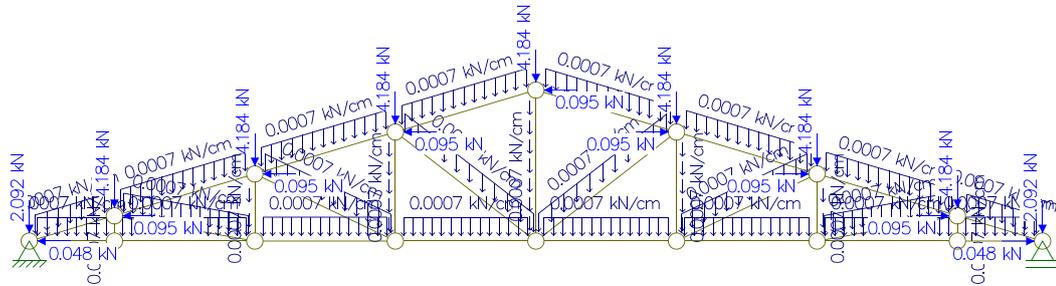
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 62 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 3 simétrica



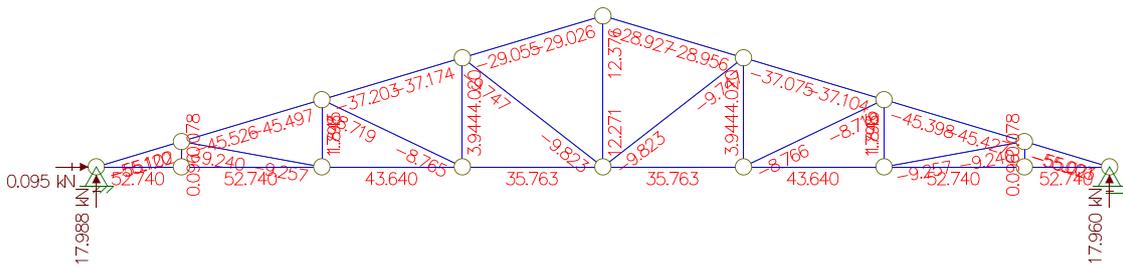
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 63 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 4 simétrica



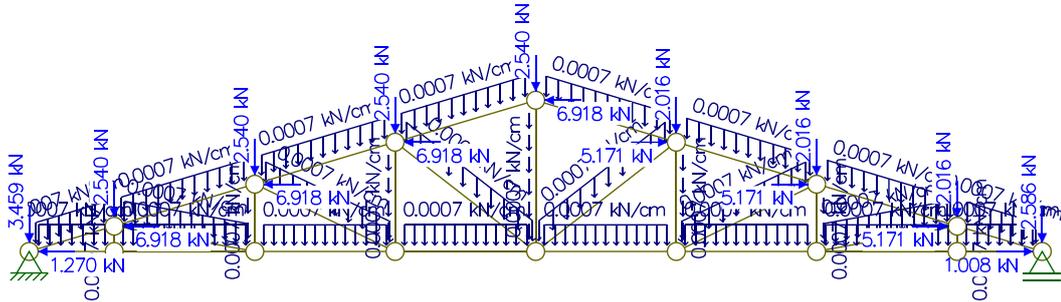
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 64 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 4 simétrica



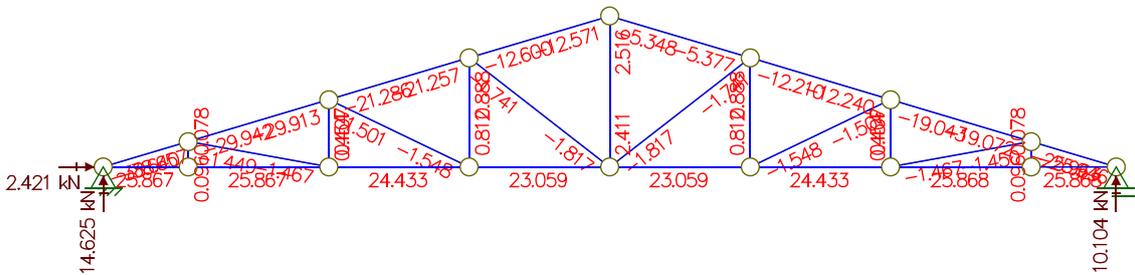
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 65 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação assimétrica 5 (frente) e 7 (fundos)



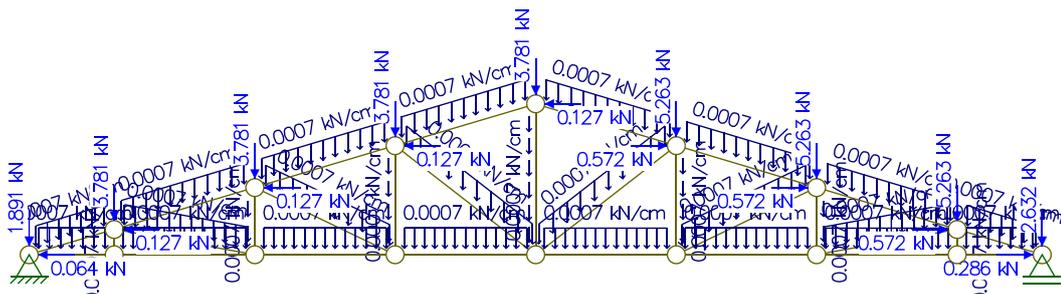
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 66 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação assimétrica 5 (frente) e 7 (fundos)



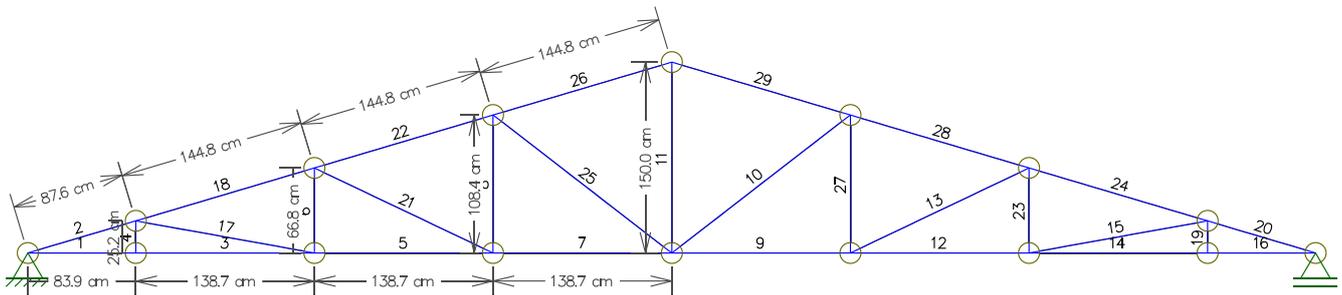
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 67 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação assimétrica 9 (frente) e 11 (fundos)



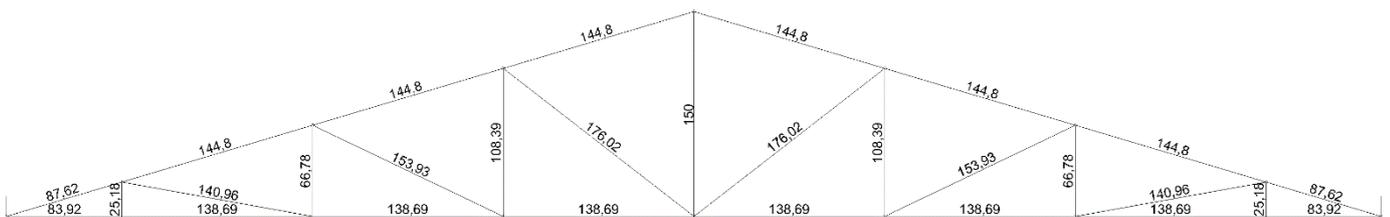
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 71 - Número das barras da treliça



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 72 - Comprimento das barras da treliça (cm)



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

São apresentadas as tensões críticas nas barras da treliça, para cada combinação de cargas serão analisadas dois esforços normais, a maior compressão e a maior tração (Quadro 16). Os valores de esforços normais foram agrupados pelos tamanhos das barras (Tabela 22) e calculado o seu valor de tensão pela Equação 33.

Quadro 16 - Valores críticos de esforços normais na terça devido às combinações de carga

Combinação		BARRAS COM VALORES CRÍTICOS [kN]			
		Barra 1	Barra 2	Barra 29	Barra 32
0°-sucção	1	78,453	-83,159	78,453	-80,655
	2	49,041	-51,209	49,401	-51,209
0°-sobrepres.	3	49,229	-51,489	49,118	-51,207
	4	77,85	-74,49	74,49	-77,85
90°-sucção frente	5	25,867	-38,657		
	6				
90°-sucção fundos	7			25,858	-25,963
	8				
90°-sobrepres frente	9	52,597	-53,362		
	10	56,222	-54,739		
90°-sobrepres fundos	11			60,078	-62,433
	12			59,226	-61,664

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 22 - Tensões críticas nas barras das treliças devido às combinações de carga

Combinação		Barras com valores críticos [kN]				Tensão (kN/cm ²)			
		83,92 cm		87,62 cm					
		Barra 1	Barra 20	Barra 2	Barra 16	Barra 1	Barra 20	Barra 2	Barra 16
0°-sucção	1	78,45	-80,66	-83,16	78,45	1,05	-1,08	-1,11	1,05
	2	49,04	-51,21	-51,21	49,40	0,65	-0,68	-0,68	0,66
0°-sobrepres.	3	49,23	-51,21	-51,49	49,12	0,66	-0,68	-0,69	0,65
	4	77,85	-77,85	-74,49	74,49	1,04	-1,04	-0,99	0,99
90°-sucção frente	5	25,87	-	-38,66	-	0,34	-	-0,52	-
	6	-	-	-	-	-	-	-	-
90°-sucção fundos	7	-	-25,96	-	25,86	-	-0,35	-	0,34
	8	-	-	-	-	-	-	-	-
90°-sobrepres frente	9	52,60	-	-53,36	-	0,70	-	-0,71	-
	10	56,22	-	-54,74	-	0,75	-	-0,73	-
90°-sobrepres fundos	11	-	-62,43	-	60,08	-	-0,83	-	0,80
	12	-	-61,66	-	59,23	-	-0,82	-	0,79

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

$$\sigma = \frac{F_{0,d}}{A}$$

Equação 33

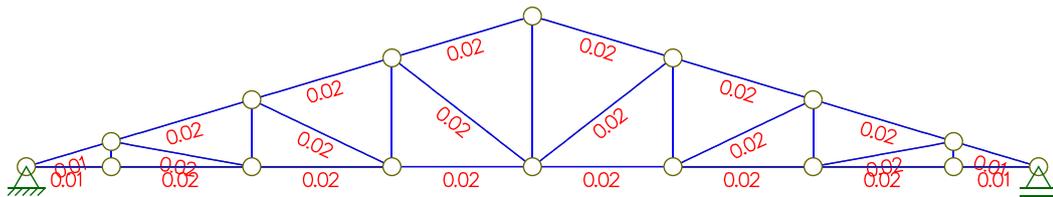
σ: tensão [kN/cm²]F_{0,d}: Esforço normal [kN]

A: área da seção transversal [cm²]

5.3.7.2 VERIFICAÇÃO QUANTO À TRAÇÃO, COMPRESSÃO

As cargas pontuais estão sobre os nós da treliça, assim as barras sofrem apenas esforços normais, não há esforços cortantes, nem momentos fletores devido a estas cargas. A única carga distribuída atuante nas barras da treliça é seu peso próprio. Então o momento fletor gerado por esse carregamento será o mesmo em todas as combinações de cargas (Figura 73). Considerando que as treliças têm estabilidade estática entre si, dessa forma não haverá momento nos eixos x das barras. Sendo a tensão de resistência à tração da madeira de eucalipto de 2,13 kN/cm², e a tensão de resistência à compressão de 2,74 kN/cm², todas as tensões críticas da Tabela 22 passam na verificação à compressão e à tração.

Figura 73 - Momento fletor devido ao peso próprio da treliça.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Devido aos valores de momentos fletores serem baixos as verificações de flexocompressão e flexotração, são desnecessárias.

Os elementos da cobertura com telha cerâmica com madeiramento de eucalipto atendem as verificações de segurança exigidas pelas normas já mencionadas.

5.3.7.3 VERIFICAÇÃO QUANTO À ESBELTEZ

Para verificação quanto à esbeltez, a NBR 7190-1 (ABNT, 2022), apresenta a Equação 34.

$$\lambda = \frac{L_0}{\sqrt{I/A}} \quad \text{Equação 34}$$

λ : esbeltez

L_0 : comprimento de flambagem

I: momento de inércia na direção analisada

A: área da seção transversal

Figura 74 - Valores dos coeficientes K_E

Modos de flambagem						
Valores de projeto para K_E	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,40
Código das condições de extremidade		Rotação e translação lateral impedidas, translação vertical livre				
		Rotação e translação vertical livres, translação lateral impedida				
		Rotação livre e translações impedidas				
		Rotação impedida e translações livres				
		Rotação e translações livres				

Fonte: NBR7190-1 (ABNT, 2022)

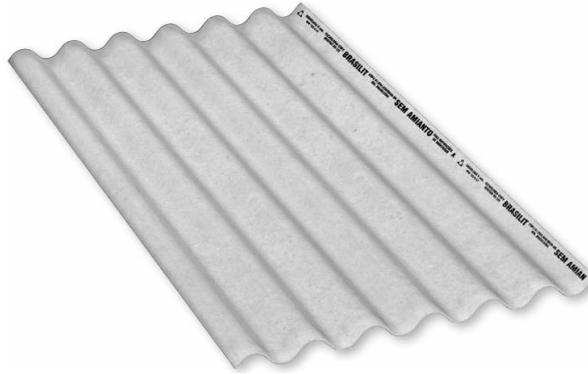
As vinculações das barras são rotuladas, logo o coeficiente K_E é 1,00 (Figura 74). Como o momento de inércia e a área da seção transversal é a mesma em todas as barras da treliça, então a esbeltez a ser analisada será da barra com maior comprimento. A maior barra para análise tem 150cm, logo a esbeltez é de 103,92. O limite estabelecido pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022) para a esbeltez é 140, assim a estabilidade da estrutura da treliça quanto à esbeltez está garantida.

5.4 COBERTURA COM TELHA DE FIBROCIMENTO E MADEIRAMENTO EM EUCALIPTO

Foi adotado a telha de fibrocimento do modelo ondulada de espessura 6mm da marca Brasilit, Figura 75, e suas características, Quadro 17. As propriedades da madeira de eucalipto são as mesmas usadas na cobertura com telha cerâmica, Quadro 3.

Como já abordado neste trabalho a telha de 5mm pode ser adotada para construções onde o ponto mais alto da edificação não ultrapasse 7m do solo. Sendo a distância vertical do solo até a parte mais alta da edificação de 6,90m, limiar da exceção, optou-se por adotar a telha de 6mm.

Figura 75 - Telha de fibrocimento modelo Ondulada 6mm da marca Brasilit.



Fonte: Brasilit, 2014.

Quadro 17 - Características técnicas da telha fibrocimento Ondulada 6mm.

CARACTERÍSTICAS	
Modelo	Ondulada
Tamanho	2440 x 1100 x 6 mm
Peso/un (kgf)	25,8
Peso para cálculo/m ² (kgf)	18,0
Absorção	25-30%
Inclinação mínima	17%
Vão máximo	½ telha
Transpasse longitudinal	190 mm
Transpasse lateral	¼ de onda

Fonte: Adaptado de Brasilit, 2014.

Para as terças considerou-se espaçamento de 75,0cm como indicado pelo fabricante. Como a área de atuação das telhas sobre a terça são de duas metades do espaçamento entre terças, Figura 18, então tem-se 75,0cm/m a cada 1m de terça.

5.4.1 Carga devido ao vento

Para o cálculo de pressões devidas ao vento usou-se o software Visual Ventos (UPF, 2007) com dados de entrada e as já mencionadas geometrias da construção, Quadro 18. Esses valores são encontrados na NBR 6123 (ABNT, 1988).

Quadro 18 - Parâmetros do vento

Parâmetros do vento	
V0 - velocidade básica	46,00 m/s
S1 - fator de topográfico	1,00
S2 - classe de rugosidade	0,82
S3 - fator estatístico	1,00
distância entre pórticos	2,50 m

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Note que a distância entre os pórticos (treliças) aumentou em relação à distância entre os pórticos da cobertura de telha cerâmica. Contudo, as pressões internas e externas permaneceram inalteradas neste caso.

Os dados de saída fornecidos pelo software Visual Ventos (UPF, 2007) são os coeficientes de pressão externas (C_{pe}), Figura 19, e os coeficientes de pressão interna (C_{ip}), Figura 20 e 21, idênticos aos calculados para a cobertura de telha cerâmica.

Como já explicado nos procedimentos de cálculo da cobertura de telha cerâmica, o software Visual Ventos (UPF, 2007) e a NBR 6123 (ABNT, 1987), apresentam o sinal negativo para coeficientes que representam sucção sobre a área em que atuam, dessa forma não se pode fazer a soma direta dos valores de C_{ep} e C_{ip} , devendo-se utilizar a Equação 10 para obter o valor de C_p . Os valores obtidos de C_p são os mesmos listados na Tabela 1 de combinação de pressões internas e externas dos cálculos para o telhado cerâmico, da mesma forma as cargas de vento atuantes sobre a estrutura mantem-se iguais (Tabela 2).

A pressão de vento atua sobre a telha que atua sobre a terça (Tabela 23) foi calculada considerando a área de atuação sobre as terças, similarmente calculado para a carga permanente das telhas sobre as terças.

Tabela 23 - Carga de vento atuante na terça.

Vento	Pressão de vento [kN/m]
0° - sucção	-0,98
0° - sobrepressão	0,07
90° - sucção frente	-1,05
90° - sucção fundos	-0,83
90° - sobrepressão frente	0,05
90° - sobrepressão fundos	0,24

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.4.2 Carga accidental

Para a determinação da sobrecarga, as mesmas considerações de inclinação foram aplicadas. Portanto, a sobrecarga resultante é a mesma apresentada para a sobrecarga na cobertura de telha cerâmica.

Da mesma forma como a carga de vento e a carga permanente foram distribuídas sobre a terço, a sobrecarga será distribuída sobre 75,0cm por metro de terço, resultando em uma sobrecarga de 0,19kN/m.

A carga accidental atuante sobre a cobertura de telha de fibrocimento é idêntica à carga accidental atuante sobre a cobertura de telha cerâmica, visto que a variável que determina a carga é a inclinação, e ambas as coberturas possuem a mesma inclinação de 30%.

5.4.3 Combinações de cargas

Semelhante aos processos de cálculo nas ripas da cobertura de telha cerâmica, as combinações de carga serão consideradas segundo a Equação 15.

Assim foram obtidas as combinações de cargas (Tabelas 24 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**e 25). Usou-se as siglas “P” para indicar a carga principal e “S” para indicar a carga secundária. Os coeficientes das combinações de cargas para estado limite último, são os mesmos adotados na Tabela 5 para as combinações de cargas atuantes na cobertura cerâmica.

Tabela 24 - Cargas características na ripa para cada combinação possível.

Combinação		Carga [kN/m]				
		Permanente	Vento		Sobrecarga	
0°-sucção	1	0,12	-0,98	P	0,19	S
	2	0,12	-0,98	S	0,19	P
0°-sobrepres.	3	0,12	0,07	P	0,19	S
	4	0,12	0,07	S	0,19	P
90°-sucção frente	5	0,12	-1,05	P	0,19	S
	6	0,12	-1,05	S	0,19	P
90°-sucção fundos	7	0,12	-0,83	P	0,19	S
	8	0,12	-0,83	S	0,19	P
90°-sobrepres frente	9	0,12	0,05	P	0,19	S
	10	0,12	0,05	S	0,19	P
90°-sobrepres fundos	11	0,12	0,24	P	0,19	S
	12	0,12	0,24	S	0,19	P

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 25 - Carga de projeto

Combinação		Carga [kN/m]	
		Fd,x	Fd,y
0°-sucção	1	0,04	-1,26
	2	0,12	0,38
0°-sobrepres.	3	0,10	0,39
	4	0,14	0,49
90°-sucção frente	5	0,04	-1,35
	6	0,12	0,38
90°-sucção fundos	7	0,04	-1,05
	8	0,12	0,38
90°-sobrepres frente	9	0,10	0,37
	10	0,14	0,48
90°-sobrepres fundos	11	0,10	0,63
	12	0,14	0,63

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os valores de resistência de projeto da madeira de eucalipto são os mesmos calculados anteriormente, visto que a madeira usada para ambos os projetos é a mesma.

5.4.4 Dimensionamento das terças

Para o dimensionamento das terças foram calculadas as cargas atuantes sobre estas para que então fosse determinado o momento fletor e esforço cortante solicitantes. Feito isso, verificou-se o atendimento quanto ao Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS) dessas peças conforme instruído pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022).

5.4.4.1 CARGAS ATUANTES

Para se obter as propriedades geométricas da terça, pesquisou-se quais as dimensões das peças de madeira de eucalipto oferecidas pelo mercado local. Adotou-se a peça de 5,0x15,0cm de 5,50m, as demais propriedades apresentadas foram calculadas a partir dessas dimensões oferecidas pelas madeiras (Quadro 19) e através das Equações 16 a 19.

Quadro 19 - Propriedades geométricas da terça

Propriedades geométricas	
Base - $b_{\text{terça}}$	5,00 cm
Altura - $h_{\text{terça}}$	15,00 cm
Comprimento - $l_{\text{terça}}$	250,00 cm
Área - $A_{\text{terça}}$	75,00 cm^2
Momento de inércia - I_x	1406,25 cm^4
Momento de inércia - I_y	156,25 cm^4
Módulo de resistência - W_x	187,50 cm^3
Módulo de resistência - W_y	62,50 cm^3

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O peso próprio da terça deve ser considerado como carga permanente distribuída na estrutura. O valor calculado para o peso próprio da terça é de 0,8N/cm (Equação 20).

As combinações críticas estão destacadas na Tabela 25, em vermelho o maior valor de sucção e, em verde o maior valor de sobrepressão. Essas cargas críticas somadas ao peso próprio da terça são decompostas em forças horizontal e vertical (Tabelas 26 e 27)

Tabela 26 - Combinação de carga crítica de sucção e peso próprio da terça

	F_x	F_y
Peso próprio devido à ripa [kN/cm]	$2,33 \cdot 10^{-4}$	$7,29 \cdot 10^{-4}$
Carga da combinação crítica de sucção [kN/cm]	$3,73 \cdot 10^{-4}$	$-1,35 \cdot 10^{-2}$
Carga total negativa [kN/cm]	0,0006	- 0,0128

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 27 - Combinação de carga crítica de sobrepressão e peso próprio da terça

	F_x	F_y
Peso próprio devido à ripa [kN/cm]	$2,33 \cdot 10^{-4}$	$7,29 \cdot 10^{-4}$
Carga da combinação crítica de sobrepressão [kN/cm]	$1,38 \cdot 10^{-3}$	$6,29 \cdot 10^{-3}$
Carga total positiva [kN/cm]	0,0016	0,0070

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para o cálculo das reações nos apoios, dos momentos fletores e dos esforços cortantes foi utilizado o software Ftool (FTOOL, 2021).

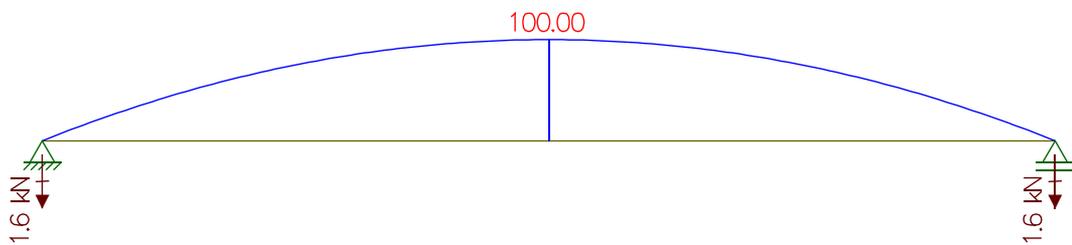
Inseriu-se dados de entrada (Figura 76) e pelos dados de saída (Figuras 77 e 78) fez-se a análise da carga total negativa (de sucção).

Figura 76 – Modelo estrutural da ripa bi-apoiada com a carga de projeto total negativa na direção y



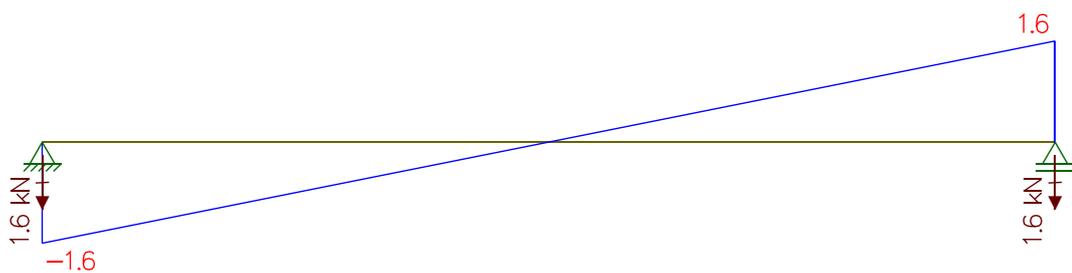
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 77 - Diagrama de momento fletor para carga negativa distribuída na terça na direção y



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 78 - Diagrama de esforço cortante para carga negativa distribuída na terça na direção y



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

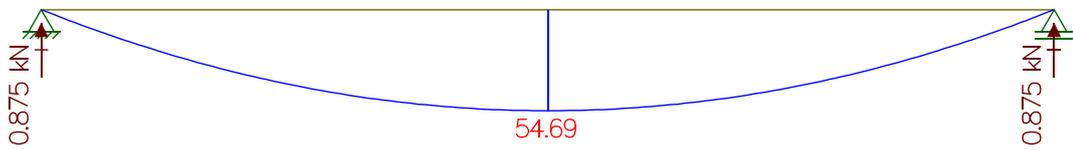
O mesmo procedimento foi realizado com dados de entrada e de saída no software Ftool (FTOOL, 2021) para a análise de carga total positiva (de sobrepressão), Figuras 79, 80 e 81 Os valores das cargas negativas e positivas distribuídas foram obtidos dos dados de saída do Ftool (FTOOL, 2021) (Quadro 20).

Figura 79 - Modelo estrutural da ripa bi-apoiada com a carga de projeto total positiva na direção y



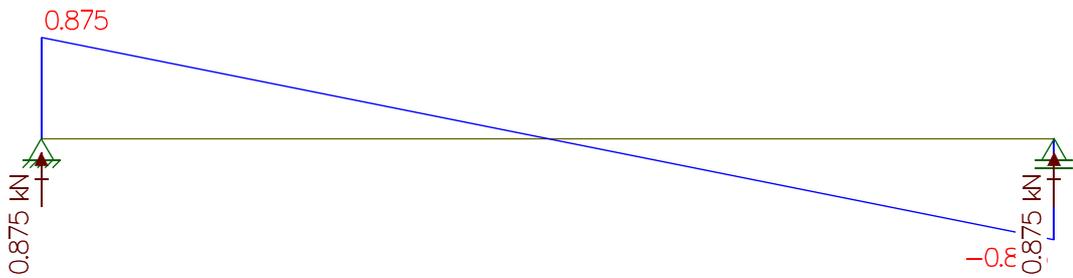
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 80 - Diagrama de momento fletor para carga positiva distribuída em terça na direção y



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 81 - Diagrama de esforço cortante para carga positiva distribuída em terça na direção y



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Quadro 20 - Resumo da análise da ripa na direção y (FTOOL, 2021)

	Carga total negativa	Carga total positiva
Carga distribuída (kN/cm)	-0,0121	0,0070
Momento Fletor (kN.cm)	-100,00	54,69
Esforço cortante (kN)	1,60	0,88
Reação no apoio (kN)	-1,60	0,88

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.4.4.2 VERIFICAÇÕES QUANTO AO ELU

As tensões normais máximas devido ao momento fletor são calculadas pela Equação 21, considerando os maiores valores absolutos de momentos fletores apresentados no Quadro 20. As tensões normais máximas devem atender as condições de segurança indicadas pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022) apresentadas nas Equações 22 e 23.

O maior valor absoluto de momento fletor na direção y analisado foi causado pela carga negativa distribuída. Calculou-se a tensão normal máxima, resultando no valor de 1,59kN/cm². Esse valor de tensão normal máxima é menor que os valores de resistência à compressão e de resistência à tração.

A tensão solicitante no eixo x é menor que a tensão solicitante no eixo y, pelas mesmas considerações feitas para o caso da ripa da estrutura de madeira do telhado cerâmico. Sendo então a tensão solicitante da terça no eixo x menor que a tensão solicitante no eixo y, e se a tensão solicitante no eixo y é menor que a tensão resistente à compressão e à tração da madeira, logo ambos os eixos passam nas verificações.

As tensões de cisalhamento para as seções transversais retangulares são dadas pela Equação 24. E devem atender a condição de segurança indicada pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022) apresentada na Equação 25.

A tensão de cisalhamento no eixo y calculada é 0,031kN/cm². Sendo assim, a tensão de cisalhamento é menor que a resistência ao cisalhamento da madeira.

As mesmas considerações feitas quanto ao cisalhamento no eixo x feitas para verificação das tensões no eixo x da ripa da estrutura de madeira para telhado cerâmico são aplicadas aqui. Logo, a terça de madeira de eucalipto, nas dimensões adotadas, passa nos critérios de segurança para o estado limite último indicados na NBR 7190-1 (ABNT, 2022).

5.4.4.3 VERIFICAÇÕES QUANTO AO ELS

Para as verificações de segurança quanto ao estado limite de serviço deve-se considerar as combinações de carga em seus valores característicos. Elaboram-se as possíveis combinações de carga característica, Tabela 28. As combinações de cargas variáveis (vento e sobrecarga) com sinais opostos não são somadas, como é o caso das combinações 1, 2, 5, 6, 7 e 8. As combinações 4, 10 e 12 são iguais as combinações antecessoras, e as combinações 6 e 8 iguais a combinação 2. Estas foram apenas tachadas para não se perder a sequência de cálculos e análises feitas em planilha Excel.

Tabela 28- Combinações da carga característica atuantes sobre a terça.

Combinação	Carga [kN/m]			Carga [kN/m]		
	Perman.	Vento	Sobrecarga	Fd,x	Fd,y	
0°-sucção	1	0,12	-0,98	-	0,04	-0,86
	2	0,12	-	0,19	0,09	0,30
0°-sobrepres.	3	0,12	0,07	0,19	0,09	0,36
	4=3	0,12	0,07	0,19	0,09	0,36
90°-sucção frente	5	0,12	-1,05	-	0,04	-0,93
	6=2	0,12	-	0,19	0,09	0,30
90°-sucção fundos	7	0,12	-0,83	-	0,04	-0,71
	8=2	0,12	-	0,19	0,09	0,30
90°-sobrepres frente	9	0,12	0,05	0,19	0,09	0,35
	10=9	0,12	0,05	0,19	0,09	0,35
90°-sobrepres fundos	11	0,12	0,24	0,19	0,09	0,53
	12=11	0,12	0,24	0,19	0,09	0,53

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para se fazer a verificação de flechas na terça biapoiada em estado limite de serviço, precisa-se separar as cargas em permanentes e acidentais. Os valores característicos e a soma constam nas Tabelas 29, 30 e 31

Tabela 29 - Cargas permanentes características

	Fx	Fy
Peso próprio da terça (ações permanentes)	2,33E-04	7,29E-04
Peso próprio da telha (ações permanentes)	3,73E-04	1,17E-03
Carga total permanente [kN/cm]	0,0006	0,0019

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 30 - Cargas acidentais características positivas

	F _x	F _y
Carga devido ao vento sobrepressão (ações acidentais)	0,00	5,31E-03
Carga devida à sobrecarga (ações acidentais)	5,71E-04	1,79E-03
Carga acidental total positiva com a combinação crítica positiva [kN/cm]	0,0015	0,0071

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 31 - Cargas acidentais características negativas

	F _x	F _y
Carga de vento sucção (ações acidentais)	0,00	-9,30.10 ⁻⁰³
Carga total negativa [kN/cm]	0,00	- 0,0093

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Calcula-se a flecha devido à carga permanente e a flecha devido à carga variável, ambas pela Equação 28 considerando as devidas cargas distribuídas. De posse desses valores, determina-se o valor de flecha imediata e flecha devido à fluência, respectivamente pelas Equações 29 a 31, posteriormente a flecha final pela Equação 32. Na Tabela 32 são apresentados os valores das flechas calculadas.

Tabela 32 - Cálculo de flechas na terça biapoiada

Classificação da carga	Deslocamento devido à carga (mm)				Ψ_1	$\delta_{inst,q}$ (mm)	δ_{inst} (mm)	Ψ_2	δ_{fin} (mm)
	Perman	Vento (+)	Vento (-)	Acidental					
principal acidental	0,04	0,11		0,04	0,30	0,07	0,11	0,30	0,1127
principal vento	0,04	0,11		0,04	0,40	0,13	0,17	0,00	0,0734
principal acidental	0,04	0,11		0,04	0,30	0,07	0,11	0,30	0,1127
principal vento	0,04	0,11		0,04	0,40	0,13	0,17	0,00	0,0734
principal acidental	0,04		-0,20		0,30	-0,06	-0,02	0,30	0,0410
principal vento	0,04		-0,20		0,40	-0,20	-0,16	0,00	0,0734
principal acidental	0,04		-0,20		0,30	-0,06	-0,02	0,30	0,0410
principal vento	0,04		-0,20		0,40	-0,20	-0,16	0,00	0,0734

Segundo a NBR 7190-1 (ABNT, 2022), a flecha final não deve superar 1/300 dos vãos, e a flecha instantânea não deve superar 1/500 dos vãos. Neste caso o vão é de 2000mm. Logo a flecha final admissível é de 6,67mm, e a flecha instantânea admissível é de 4,00mm. As flechas finais e instantâneas para os carregamentos positivos e negativos estão dentro do limite admissível para a verificação de estado limite de serviço.

5.4.5 Dimensionamento das treliças

Para a o dimensionamento das treliças foram calculadas as cargas atuantes para a determinar as solicitações de tração ou compressão atuantes em cada barra da estrutura. Esses dados então são utilizados para verificar a flexotração e flexocompressão das peças.

5.4.5.1 CARGAS ATUANTES

Seguindo o dimensionamento da cobertura, considera-se o valor calculado nas reações de apoio das terças descarregando sobre os nós da treliça. Analogamente ao raciocínio da carga da telha sobre a ripa, Figura 18, descarrega-se duas vezes o valor da reação calculada no apoio da terça, pois esse apoio da terça é o próprio nó da treliça que recebe esta carga vinda nos dois sentidos. Para se determinar o valor característico de cada ação atuante na treliça para a determinação das combinações, calculou-se as reações nos apoios da terça para cada ação no seu valor característico através da Equação 35.

$$R_{i,k} = \frac{q_{i,k} \cdot l_{terça}}{2} \quad \text{Equação 35}$$

$R_{i,k}$: reação no apoio devido à carga i

$q_{i,k}$: carga distribuída característica i

Têm-se então lista as cargas distribuídas características e as suas reações (Quadro 21). E as propriedades geométricas das barras da treliça (Quadro 22).

Quadro 21 - Reações nos apoios da terça devido às cargas características

	$q_{i,k}$ [kN/cm]	$R_{i,k}$ [kN]
PP terça	0,001	0,029
Sobrecarga	0,002	0,070
Vento 0° sucção	-0,010	-0,368
Vento 0° sobrepress	0,001	0,025
Vento 90° sucção frente	-0,010	-0,392
Vento 90° sucção fundo	-0,008	-0,312
Vento 90° sobrepressão frente	0,001	0,020
Vento 90° sobrepressão fundo	0,002	0,088

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Quadro 22 - Propriedades geométricas das barras da treliça

Propriedades geométricas	
Base - $b_{treliça}$	5,00 cm
Altura - $h_{treliça}$	15,00 cm
Peso próprio - $PP_{treliça}$	0,000765 kN/cm
Área - $A_{treliça}$	75,00 cm ²
Momento de inércia - I_x	1406,25 cm ⁴
Momento de inércia - I_y	156,25 cm ⁴
Módulo de resistência - W_x	187,50 cm ³
Módulo de resistência - W_y	62,50 cm ³

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

As combinações de cargas atuantes para as verificações quanto ao estado limite último da treliça (Tabelas 33 e 34) são calculadas segundo a Equação 15. Os coeficientes adotados são os mesmos da Tabela 5. A Tabela 34 apresenta primeiro as cargas das reações dos apoios da terça sobre o nó da treliça, nas colunas seguintes são apresentados os valores duplicados, pois em cada nó existem o equivalente às cargas de 2 apoios.

Tabela 33 - Valores característicos das cargas para diversas combinações com o vento

Combinação		Carga [kN]				
		Permanente	Vento		Sobrecarga	
0°-sucção	1	0,03	-0,37	P	0,19	S
	2	0,03	-0,37	S	0,19	P
0°-sobrepres.	3	0,03	0,02	P	0,19	S
	4	0,03	0,02	S	0,19	P
90°-sucção frente	5	0,03	-0,39	P	0,19	S
	6	0,03	-0,39	S	0,19	P
90°-sucção fundos	7	0,03	-0,31	P	0,19	S
	8	0,03	-0,31	S	0,19	P
90°-sobrepres frente	9	0,03	0,02	P	0,19	S
	10	0,03	0,02	S	0,19	P
90°-sobrepres fundos	11	0,03	0,09	P	0,19	S
	12	0,03	0,09	S	0,19	P

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 34 – Cargas pontuais em nós da treliça resultantes das combinações de carga

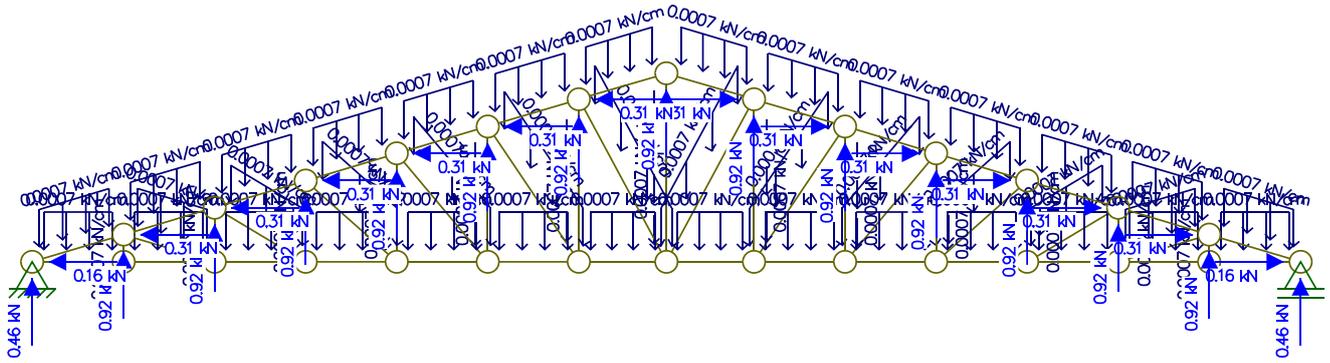
Combinação		Carga [kN]		2x Carga [kN]	
		Fd,x	Fd,y	Fd,x	Fd,y
0°-sucção	1	-0,16	-0,46	-0,31	-0,92
	2	-	0,31	-	0,62
0°-sobrepres.	3	0,01	0,27	0,02	0,54
	4	0,01	0,34	0,01	0,68
90°-sucção frente	5	-0,17	-0,49	-0,33	-0,99
	6	-	0,31	-	0,62
90°-sucção fundos	7	-0,13	-0,39	-0,27	-0,77
	8	-	0,31	-	0,62
90°-sobrepres frente	9	0,01	0,26	0,02	0,53
	10	0,01	0,34	0,01	0,67
90°-sobrepres fundos	11	0,04	0,35	0,08	0,71
	12	0,02	0,39	0,05	0,78

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

As linhas cinzas representam combinações de cargas repetidas, pois quando a carga variável secundária é favorável, ou seja, minimiza as cargas permanentes, deve ser desconsiderada, como observado nas combinações 2, 6 e 8. As linhas de mesma cor representam cargas complementares na treliça, como por exemplo a combinação 5 e 7, são cargas complementares, a combinação 5 atua na água frontal da cobertura (sotavento), já a combinação 7 atua na água posterior da cobertura (barlavento).

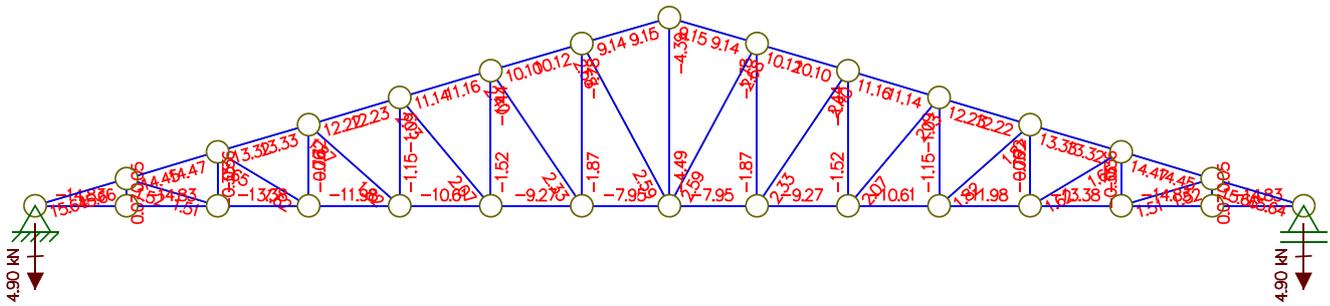
As Figuras 82 a 95 apresentam os carregamentos e os valores de esforços normais (o diagrama foi ocultado para melhorar a visualização dos valores nas barras, pois para esse caso apenas os valores são relevantes). As tensões críticas estão resumidas no Quadro 23.

Figura 82 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 1 simétrica



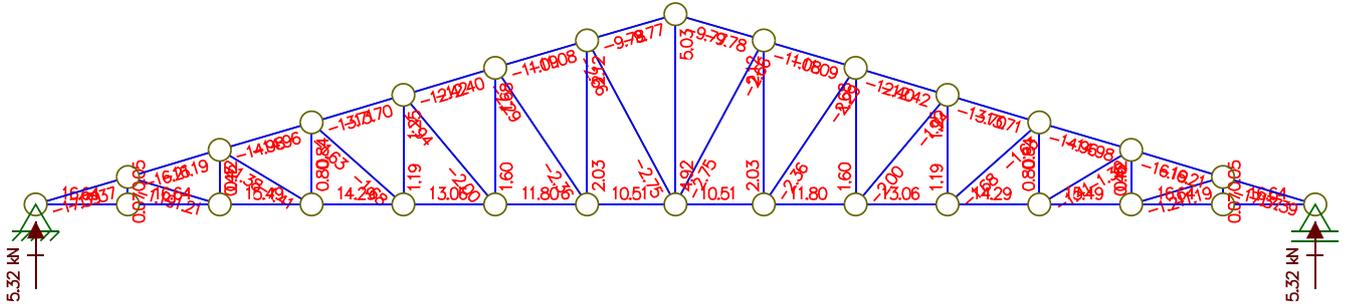
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 83 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 1 simétrica



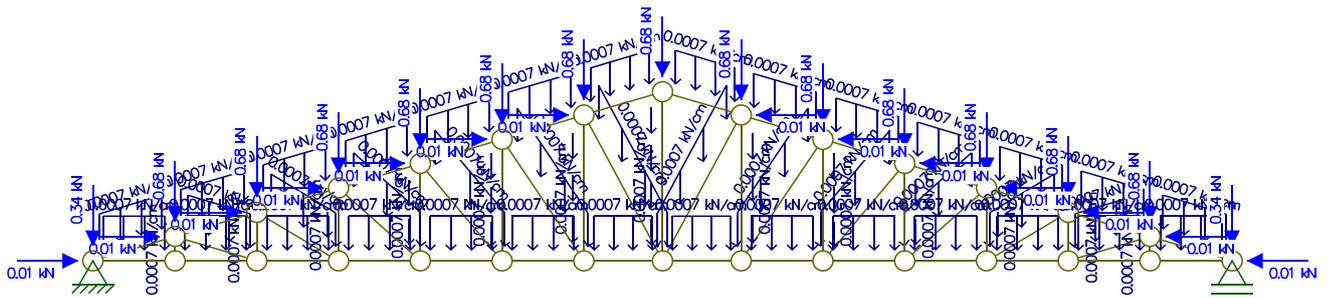
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 87 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 3 simétrica



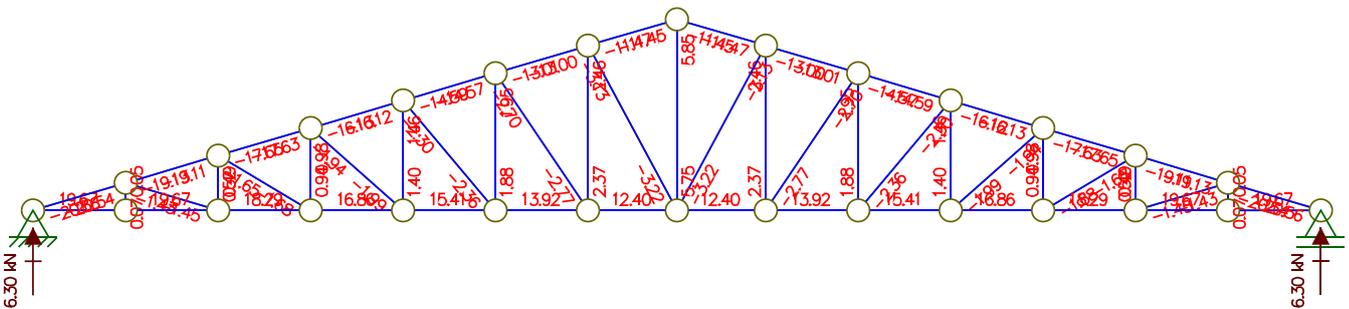
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 88 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação 4 simétrica



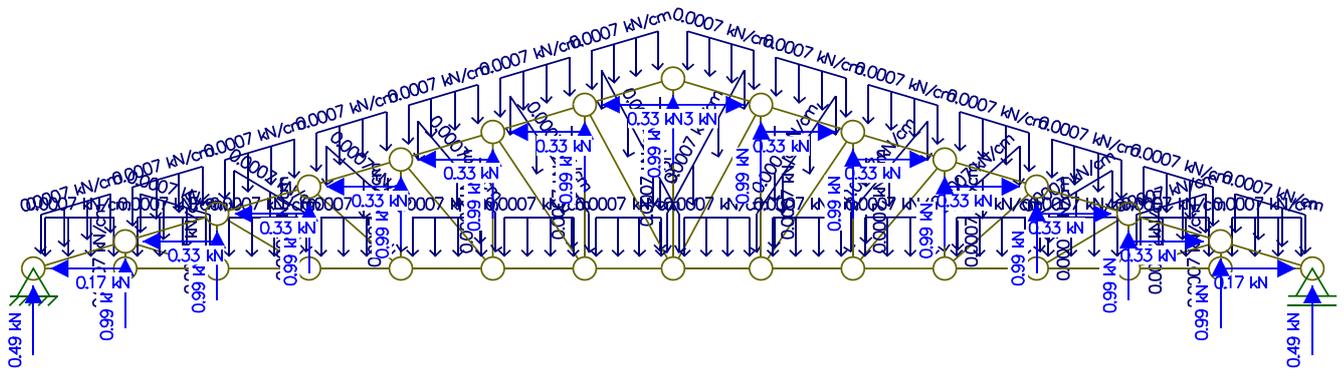
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 89 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação 4 simétrica



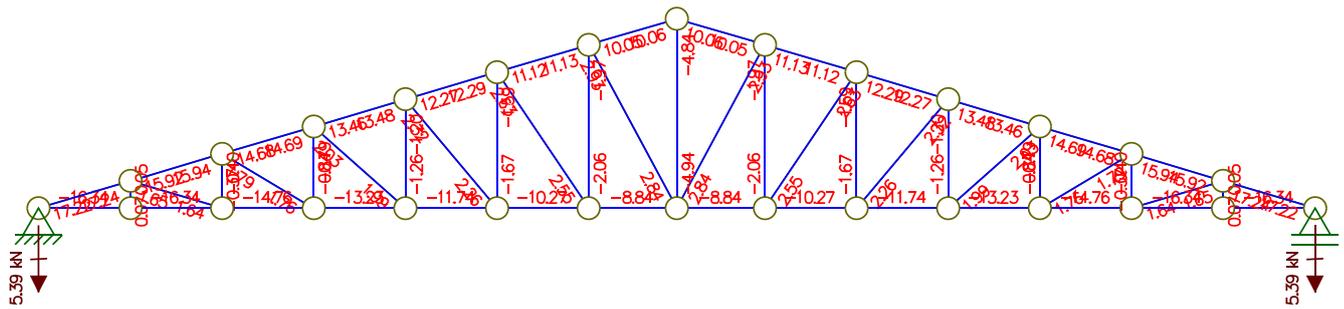
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 90 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação assimétrica 5 (frente) e 7 (fundos)



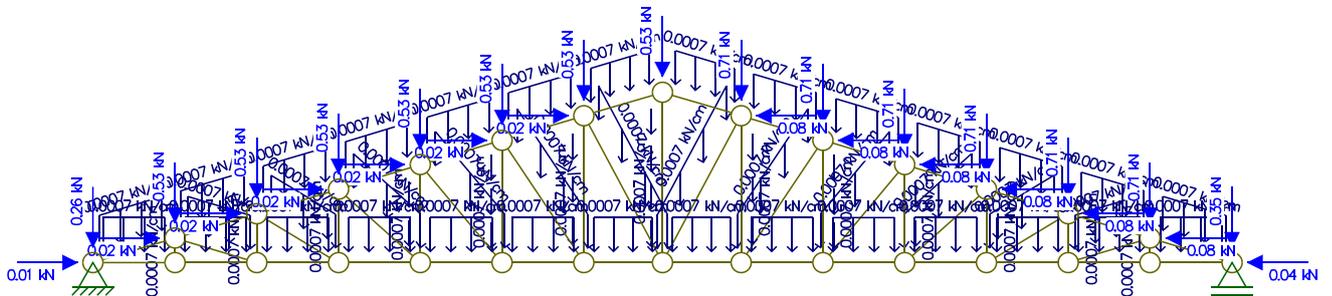
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 91 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação assimétrica 5 (frente) e 7 (fundos)



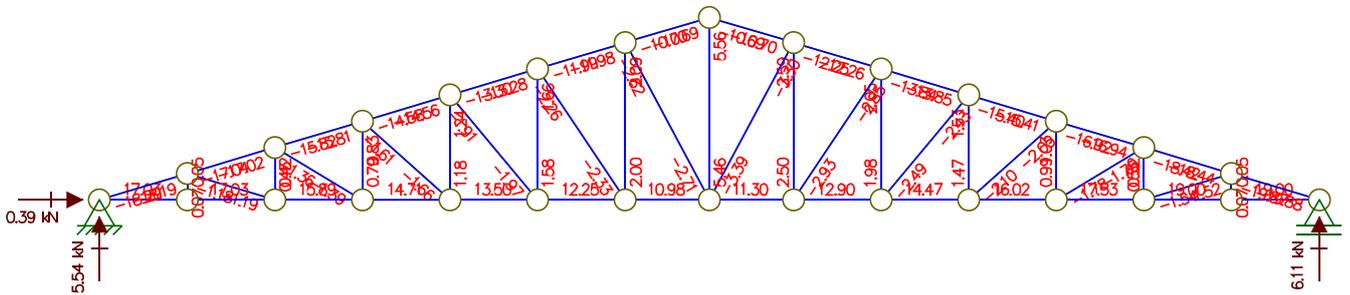
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 92 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação assimétrica 9 (frente) e 11 (fundos)



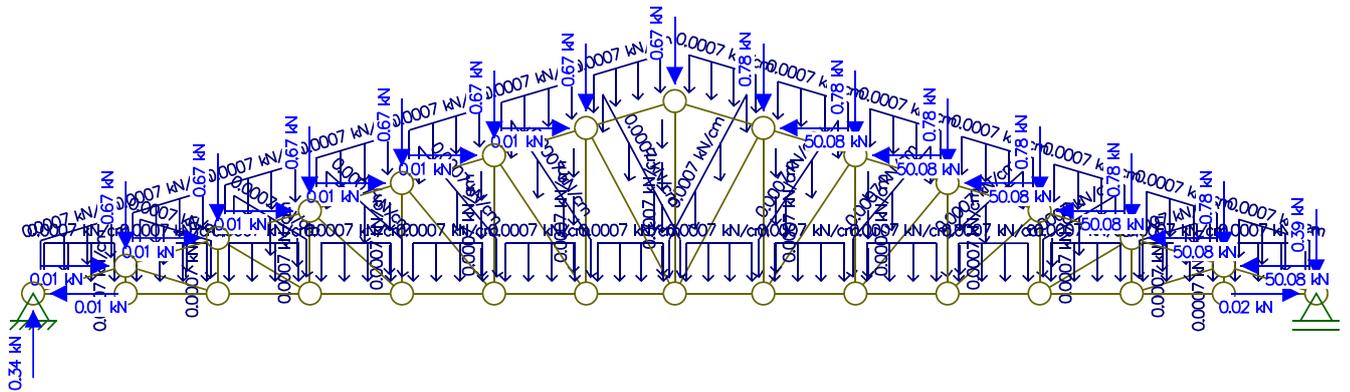
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 93 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação assimétrica 9 (frente) e 11 (fundos)



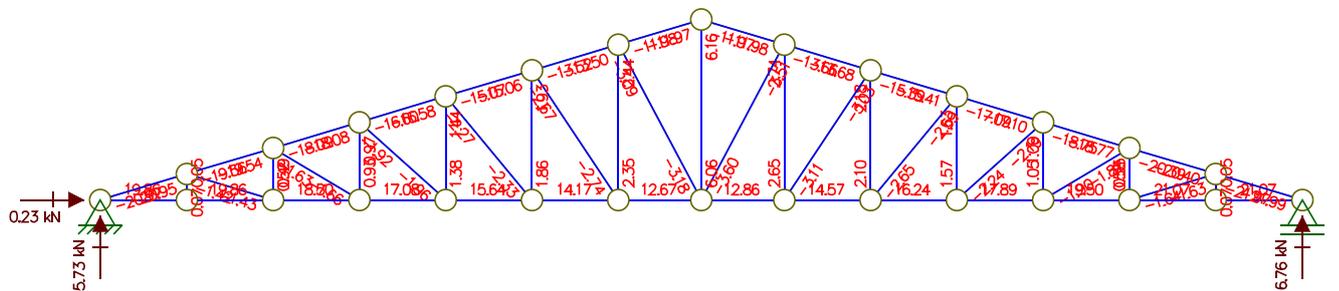
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 94 - Carregamento de cargas na treliça - Combinação assimétrica 10 (frente) e 12 (fundos)



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

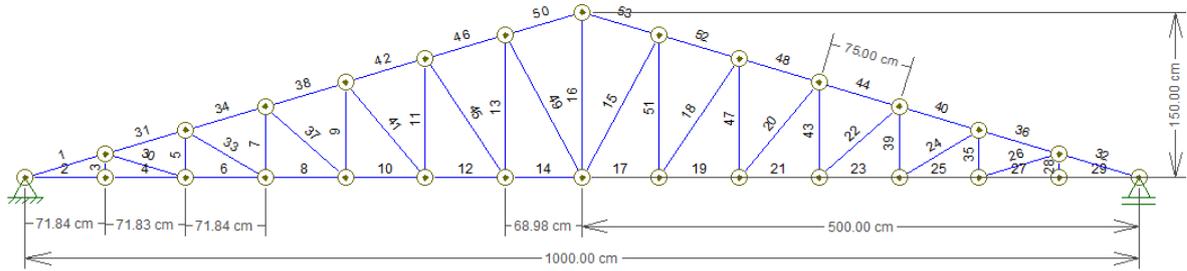
Figura 95 - Esforço normal nas barras da treliça - Combinação assimétrica 10 (frente) e 12 (fundos)



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

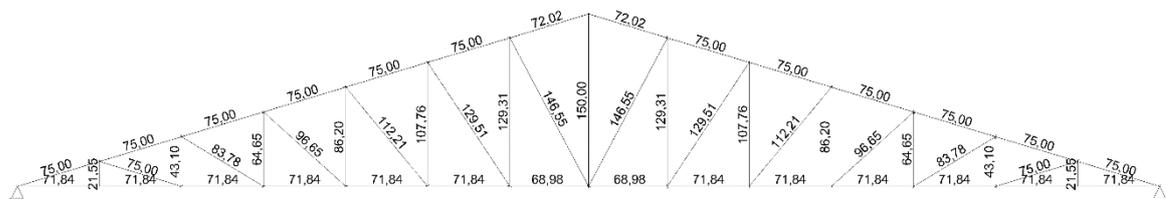
Na Figura 96 estão apresentadas as barras da treliça, e na Figura 97, os comprimentos dessas barras.

Figura 96 - Identificação das barras da treliça



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 97 - Comprimentos das barras da treliça da cobertura em telha de fibrocimento



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

São apresentadas as tensões críticas nas barras da treliça, para cada combinação de cargas serão analisados dois esforços normais, a maior compressão e a maior tração (Quadro 23).

Quadro 23 - Valores críticos de esforços normais na terça devido às combinações de carga

Combinação	BARRAS COM VALORES CRÍTICOS [kN]				
	Barra 1	Barra 2	Barra 29	Barra 32	
0°-sucção	1	-14,83	15,66	-14,83	15,66
	2	-8,49	8,87	-8,49	8,87
0°-sobrepres.	3	16,64	-17,39	16,64	-17,39
	4	19,67	-20,56	19,67	-20,56
90°-sucção frente	5	-16,34	17,24		
	6				
90°-sucção fundos	7			-16,34	17,22
	8				
90°-sobrepres frente	9	17,03	-18,20		
	10	19,88	-20,97		
90°-sobrepres fundos	11			19,00	-19,88
	12			21,07	-21,99

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 35 - Tensões críticas nas barras das treliças devido às combinações de carga

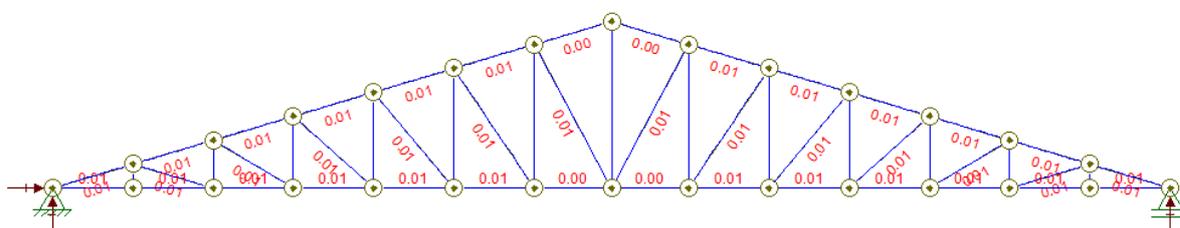
Combinação		BARRAS COM VALORES CRÍTICOS [kN]				Tensão (kN/cm ²)			
		75,00 cm		71,84 cm		Barra 1	Barra 16	Barra 2	Barra 20
		Barra 1	Barra 16	Barra 2	Barra 20				
0°-sucção	1	-14,83	15,66	15,66	-14,83	-0,20	0,21	0,21	-0,20
	2	-8,49	8,87	8,87	-8,49	-0,11	0,12	0,12	-0,11
0°-sobrepres.	3	16,64	-17,39	-17,39	16,64	0,22	-0,23	-0,23	0,22
	4	19,67	-20,56	-20,56	19,67	0,26	-0,27	-0,27	0,26
90°-sucção frente	5	-16,34	-	17,24	-	-0,22	-	0,23	-
	6	-	-	-	-	-	-	-	-
90°-sucção fundos	7	-	17,22	-	-16,34	-	0,23	-	-0,22
	8	-	-	-	-	-	-	-	-
90°-sobrepres frente	9	17,03	-	-18,20	-	0,23	-	-0,24	-
	10	19,88	-	-20,97	-	0,27	-	-0,28	-
90°-sobrepres fundos	11	-	-19,88	-	19,00	-	-0,27	-	0,25
	12	-	-21,99	-	21,07	-	-0,29	-	0,28

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.4.5.2 VERIFICAÇÃO QUANTO À TRAÇÃO, COMPRESSÃO

As cargas pontuais estão sobre os nós da treliça, assim as barras sofrem apenas esforços normais, não há esforços cortantes, nem momentos fletores devido a estas cargas. A única carga distribuída atuante nas barras da treliça é seu peso próprio. Então o momento fletor gerado por esse carregamento será o mesmo em todas as combinações de cargas (Figura 73). Considerando que as treliças têm estabilidade estática entre si, dessa forma não haverá momento nos eixos x das barras. Sendo a tensão de resistência à tração da madeira de eucalipto de 2,13 kN/cm², e a tensão de resistência à compressão de 2,74 kN/cm², todas as tensões críticas da Tabela 35 passam na verificação à compressão e à tração.

Figura 98 - Momento fletor devido ao peso próprio da treliça.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Devido aos valores de momentos fletores serem baixos as verificações de flexocompressão e flexotração, são desnecessárias.

Os elementos da cobertura com telha de fibrocimento com madeiramento de eucalipto atendem as verificações de segurança exigidas pelas normas já mencionadas.

5.4.5.3 VERIFICAÇÃO QUANTO À ESBELTEZ

Para verificação quanto à esbeltez, seguiu-se o mesmo procedimento adotado na verificação das barras da cobertura de telha cerâmica. A esbeltez foi calculada pela Equação 34.

As vinculações das barras são rotuladas, logo o coeficiente K_E é 1,00 (Figura 74). Como o momento de inércia e a área da seção transversal é a mesma em todas as barras da treliça, então a esbeltez a ser analisada será da barra com maior comprimento. A maior barra para análise tem 150cm, logo a esbeltez a ser analisada será da barra com maior comprimento. A maior barra para análise tem 150cm, logo a esbeltez a ser analisada será da barra com maior comprimento. A maior barra para análise tem 150cm, logo a esbeltez a ser analisada será da barra com maior comprimento. O limite estabelecido pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022) para a esbeltez é 140, assim a estabilidade da estrutura da treliça quanto à esbeltez está garantida.

6. ORÇAMENTO

O objetivo deste trabalho é verificar o sistema de cobertura com melhor desempenho econômico dentro do período de vida útil da edificação. A NBR 15575 (ABNT, 2021) determina que a vida útil do sistema de cobertura seja no mínimo 20 anos, então neste estudo será adotado o valor de 30 anos para o cálculo dos custos de manutenção do telhamento, materiais que ficam expostos às intempéries.

6.1 QUANTITATIVO

Para se fazer o orçamento das coberturas em estudo, deve-se conhecer as quantidades de material necessários para os serviços.

6.1.1 Cobertura com telha cerâmica

O trecho inclinado da treliça tem 5,22m de comprimento, o espaçamento dimensionado da ripa é de 0,362m dessa forma temos 15 ripas de cada lado da treliça. Logo, são necessárias 30 ripas de 20m para toda a cobertura.

O espaçamento entre caibros é de 0,50m, sendo o comprimento da edificação de 20,00m precisa-se de 40 caibros de cada água da cobertura. O trecho inclinado do telhado é de 5,22m, então são necessários 80 caibros de 5,22m para toda a cobertura.

Cada nó da treliça recebe uma terça, logo tem-se 9 terças de 20m para toda a cobertura.

Para quantificação das barras da treliça, somou-se os comprimentos apresentados na Figura 72, totalizando 374m.

Listou-se o resumo das madeiras necessárias para a execução da cobertura, Quadro 24.

Quadro 24 - Quantidade de madeira para cobertura de telha cerâmica

Madeira para cobertura		
Tipo	Comprimento	Seção
ripa	600,0 m	5,0x2,5
caibro	417,6 m	5,0x5,0
terça	180,0 m	5,0x15,0
treliça	389,0 m	5,0x15,0

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para a quantidade de telha cerâmica, foi utilizada a área inclinada da cobertura, produto do trecho inclinado de 5,22m e o comprimento de 20m, esta área resultante das duas águas da cobertura. Área total

da cobertura é de 208,8m². Como indicado pelo fabricante, são necessárias 12,6 peças por m² de cobertura. Logo serão necessárias 2.631 telhas para atender toda a cobertura.

O comprimento da cumeeira é equivalente a toda extensão da cobertura, 20m.

6.1.2 Cobertura com telha de fibrocimento

Cada nó da treliça recebe uma terça, logo tem-se 15 terças de 20m para toda a cobertura.

Para quantificação das barras da treliça, somou-se os comprimentos apresentados na Figura 72, totalizando 374m.

Listou-se o resumo das madeiras necessárias para a execução da cobertura (Quadro 25).

Quadro 25 - Quantidade de madeira para cobertura de telha de fibrocimento

Madeira para cobertura		
Tipo	Comprimento	Seção
terça	300,0 m	5,0x15,0
treliça	394,8 m	5,0x15,0

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para a quantidade de telha de fibrocimento, foi utilizada a área inclinada da cobertura, produto do trecho inclinado de 5,22m e o comprimento de 20m, esta área resultante nas duas águas da cobertura. Área total da cobertura é de 208,8m². Como indicado pelo fabricante, o recobrimento longitudinal mínimo é de 50mm e o recobrimento lateral mínimo é de 140mm, para uma telha de fibrocimento de dimensões 2,44x1,10m, a sua área efetiva é de 2,415m². Serão necessárias 87 unidades de telhas de fibrocimento.

O comprimento da cumeeira é equivalente a toda extensão da cobertura, 20m.

6.2 COTAÇÕES DE MATERIAIS

Foram consultados fornecedores 1, 2 e 3 de madeira de eucalipto, respectivamente nos Anexos A, B e C. Todos orçaram as 3 peças de madeira necessárias, Quadros 26, 27 e 28, sendo elas:

- Sarrafo de madeira bruta de eucalipto de seção transversal de 2,50x5,00cm;
- Caibro de madeira bruta de eucalipto de seção transversal de 5,00x5,00cm;
- Tábua de madeira bruta de eucalipto de seção transversal de 5,00x15,00cm.

Foram adotadas as medianas dos preços de mercado para que fosse tomado o valor intermediário praticado no mercado local. Calculou-se a variação dos valores em relação ao preço adotado para

entender se os preços dos demais fornecedores estariam adequados, e se não há discrepâncias entre as propostas recebidas.

Quadro 26 - Cotações de sarrafo 2,5x5,0cm

Sarrafo 2,5x5cm (m)	FORNECEDOR	R\$ unitário	variação
	1	R\$ 1,27	9,1%
	2	R\$ 1,17	0,0%
	3	R\$ 1,10	-5,7%
	Preço adotado	R\$	1,17

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Quadro 27 - Cotações de caibro 5,0x5,0cm

Caibro 5x5cm (m)	FORNECEDOR	R\$ unitário	variação
	1	R\$ 2,18	-0,8%
	2	R\$ 2,58	17,4%
	3	R\$ 2,20	0,0%
	Preço adotado	R\$	2,20

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Quadro 28 - Cotações de tábua 5,0x15,0cm

Tábua 5x15cm (m)	FORNECEDOR	R\$ unitário	variação
	1	R\$ 6,38	-3%
	2	R\$ 7,39	12%
	3	R\$ 6,60	0%
	Preço adotado	R\$	6,60

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O fornecedor 5 orçou a telha cerâmica e a telha de fibrocimento, Anexo E. Fornecedores 4 e 6, Anexos D e F respectivamente, orçaram somente a telha cerâmica, e fornecedores 7 e 8, Anexos G e H, orçaram somente a telha de fibrocimento, Quadros 29 e 30.

O preço adotado de cada insumo é dado pela mediana dos 3 preços orçados.

Quadro 29 - Cotações de telha cerâmica esmaltada tipo americana

Telha cerâmica (m ²)	FORNECEDOR	R\$ unitário	variação
	4	R\$ 51,00	9,0%
	5	R\$ 46,80	0,0%
	6	R\$ 46,56	-0,5%
Preço adotado	R\$	46,80	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Quadro 30 - Cotações de telha de fibrocimento ondulada, espessura 6mm, dimensões 2,44x1,10m

Telha fibrocim. (m ²)	FORNECEDOR	R\$ unitário	variação
	7	R\$ 23,44	-18,2%
	5	R\$ 30,51	6,5%
	8	R\$ 28,65	0,0%
Preço adotado	R\$	28,65	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os demais insumos das coberturas, bem como os custos de mão de obra para execução das coberturas foram obtidos do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) com data base de março de 2022. O custo da mão de obra informada pelo SINAPI contempla os encargos sociais.

6.3 COMPOSIÇÃO DE SERVIÇO E CUSTO

Todos os insumos utilizados para a elaboração das composições próprias de serviços foram listados (Quadro 31).

Quadro 31 - Lista de insumos de material e mão de obra

Descrição do insumo	Unid.	Preço Unitário	Base De Preço	Código	Insumo
Caibro de eucalipto 5,0x5,0cm - madeira bruta	M	2,20	COTAÇÃO		MAT
Sarrafo de eucalipto 5,0x2,5cm - madeira bruta	M	1,17	COTAÇÃO		MAT
Tábua de eucalipto 5,0x15,0cm - madeira bruta	M	6,60	COTAÇÃO		MAT
Telha cerâmica tipo americana esmaltada	M2	46,80	COTAÇÃO		MAT
Telha de fibrocimento ondulada e = 6 mm, de 2,44 x 1,10 m (sem amianto)	M2	28,65	COTAÇÃO		MAT
Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	19,84	COMPOSIÇÃO	88239	MO
Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	22,53	COMPOSIÇÃO	88262	MO
Guincho elétrico de coluna, capacidade 400 kg, com moto freio, motor trifásico de 1,25 cv - chi diurno. Af_03/2016	CHI	23,44	COMPOSIÇÃO	93282	MAT
Guincho elétrico de coluna, capacidade 400 kg, com moto freio, motor trifásico de 1,25 cv - chp diurno. Af_03/2016	CHP	24,53	COMPOSIÇÃO	93281	MAT
Instalação de tesoura (inteira ou meia), biapoiada, em madeira não aparelhada, para vãos maiores ou iguais a 10,0 m e menores que 12,0 m, incluso içamento. Af_07/2019	UN	528,36	COMPOSIÇÃO	92262	MAT
Servente com encargos complementares	H	18,84	COMPOSIÇÃO	88316	MO
Telhadista com encargos complementares	H	22,32	COMPOSIÇÃO	88323	MO
Chapa para emenda de viga, em aco grosso, qualidade estrutural, bitola 3/16", e= 4,75 mm, 4 furos, largura 45 mm, comprimento 500 mm	PAR	129,35	INSUMO	40623	MAT
Conjunto arruelas de vedacao 5/16" para telha fibrocimento (uma arruela metalica e uma arruela pvc - conicas)	CJ	0,18	INSUMO	1607	MAT
Cumeeira para telha ceramica, comprimento de *41* cm, rendimento de *3* telhas/m	UN	4,35	INSUMO	7181	MAT
Estribo com parafuso em chapa de ferro fundido de 2" x 3/16" x 35 cm, secao "u", para madeiramento de telhado	UN	23,33	INSUMO	21142	MAT
Parafuso frances metrico zincado, diametro 12 mm, comprimento 150 mm, com porca sextavada e arruela de pressao media	UN	21,23	INSUMO	4344	MAT
Parafuso zincado rosca soberba, cabeça sextavada, 5/16" x 250 mm, para fixacao de telha em madeira	UN	2,82	INSUMO	4302	MAT
Prego de aco polido com cabeça 15 x 15 (1 1/4 x 13)	KG	23,03	INSUMO	20247	MAT
Prego de aco polido com cabeça 19 x 36 (3 1/4 x 9)	KG	20,78	INSUMO	39027	MAT
Prego de aco polido com cabeça 22 x 48 (4 1/4 x 5)	KG	20,96	INSUMO	40568	MAT

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

As composições próprias de serviço foram baseadas em composições existentes no banco de dados do SINAPI. Algumas adaptações foram feitas para contemplar os quantitativos obtidos do projeto realizado para as coberturas dimensionadas neste trabalho. As composições criadas para as coberturas em estudo (Tabelas 36 a 41) foram referenciadas nas composições similares contidas no SINAPI.

Tabela 36 - Composição própria de serviço - Trama de telhado cerâmico.

Trama de telhado cerâmico (Referência SINAPI 92539)	m2	Coefficiente	preço unit	preço total	insumo
SARRAFO DE EUCALIPTO 5,0X2,5CM - MADEIRA BRUTA	M	3,33000	1,17	3,89	MAT
TÁBUA DE EUCALIPTO 5,0X15,0CM - MADEIRA BRUTA	M	1,66500	6,60	10,99	MAT
CAIBRO DE EUCALIPTO 5,0X5,0CM - MADEIRA BRUTA	M	2,37540	2,20	5,23	MAT
PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 15 X 15 (1 1/4 X 13)	KG	0,06379	23,03	1,47	MAT
PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 19 X 36 (3 1/4 X 9)	KG	0,05470	20,78	1,14	MAT
PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 22 X 48 (4 1/4 X 5)	KG	0,06839	20,96	1,43	MAT
GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHP DIURNO. AF_03/2016	CHP	0,00460	24,53	0,11	MAT
GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHI DIURNO. AF_03/2016	CHI	0,00640	23,44	0,15	MAT
AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,50792	19,84	10,08	MO
CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,45800	22,53	10,32	MO
			Total Mat	24,40	
			Total MO	20,40	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 37 - Composição própria de serviço - Trama de telhado fibrocimento 6mm

Trama de telhado fibrocimento 6mm (Referência SINAPI 92543)	m2	Coefficiente	preço unit	preço total	insumo
TÁBUA DE EUCALIPTO 5,0X15,0CM - MADEIRA BRUTA	M	1,66500	6,60	10,99	MAT
PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 22 X 48 (4 1/4 X 5)	KG	0,07879	20,96	1,65	MAT
GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHP DIURNO. AF_03/2016	CHP	0,00460	24,53	0,11	MAT
GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHI DIURNO. AF_03/2016	CHI	0,00640	23,44	0,15	MAT
AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,06500	19,84	1,29	MO
CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,11800	22,53	2,66	MO
			Total Mat	12,90	
			Total MO	3,95	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 38 - Composição própria de serviço - Treliza de telhado cerâmico

Treliza de telhado cerâmico (Referência SINAPI 92552)	UN	Coefficiente	preço unit	preço total	insumo
PARAFUSO FRANCES METRICO ZINCADO, DIAMETRO 12 MM, COMPRIMENTO 150 MM, COM PORCA SEXTAVADA E ARRUELA DE PRESSAO MEDIA	UN	3,82177	21,23	81,14	MAT
TÁBUA DE EUCALIPTO 5,0X15,0CM - MADEIRA BRUTA	M	39,26070	6,60	259,12	MAT
ESTRIBO COM PARAFUSO EM CHAPA DE FERRO FUNDIDO DE 2" X 3/16" X 35 CM, SECAO "U", PARA MADEIRAMENTO DE TELHADO	UN	1,00000	23,33	23,33	MAT
PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 19 X 36 (3 1/4 X 9)	KG	2,86633	20,78	59,56	MAT
CHAPA PARA EMENDA DE VIGA, EM ACO GROSSO, QUALIDADE ESTRUTURAL, BITOLA 3/16 ", E= 4,75 MM, 4 FUROS, LARGURA 45 MM, COMPRIMENTO 500 MM	PAR	1,00000	129,35	129,35	MAT
INSTALAÇÃO DE TESOURA (INTEIRA OU MEIA), BIAPOIADA, EM MADEIRA NÃO APARELHADA, PARA VÃOS MAIORES OU IGUAIS A 10,0 M E MENORES QUE 12,0 M, INCLUSO IÇAMENTO. AF_07/2019	UN	1,00000	528,36	528,36	MAT
AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	3,76877	19,84	74,77	MO
CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	16,33308	22,53	367,98	MO
			Total Mat	1080,86	
			Total MO	442,76	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 39 - Composição própria de serviço - Treliza de telhado fibrocimento 6mm

Treliza de telhado fibrocimento 6mm (Referência SINAPI 92562)	UN	Coefficiente	preço unit	preço total	insumo
PARAFUSO FRANCES METRICO ZINCADO, DIAMETRO 12 MM, COMPRIMENTO 150 MM, COM PORCA SEXTAVADA E ARRUELA DE PRESSAO MEDIA	UN	4,25239	21,23	90,28	MAT
TÁBUA DE EUCALIPTO 5,0X15,0CM - MADEIRA BRUTA	M	48,69570	6,60	321,39	MAT
ESTRIBO COM PARAFUSO EM CHAPA DE FERRO FUNDIDO DE 2" X 3/16" X 35 CM, SECAO "U", PARA MADEIRAMENTO DE TELHADO	UN	1,00000	23,33	23,33	MAT
PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 19 X 36 (3 1/4 X 9)	KG	3,18930	20,78	66,27	MAT
CHAPA PARA EMENDA DE VIGA, EM ACO GROSSO, QUALIDADE ESTRUTURAL, BITOLA 3/16", E= 4,75 MM, 4 FUROS, LARGURA 45 MM, COMPRIMENTO 500 MM	PAR	1,00000	129,35	129,35	MAT
INSTALAÇÃO DE TESOURA (INTEIRA OU MEIA), BIAPOIADA, EM MADEIRA NÃO APARELHADA, PARA VÃOS MAIORES OU IGUAIS A 10,0 M E MENORES QUE 12,0 M, INCLUSO IÇAMENTO. AF_07/2019	UN	1,00000	528,36	528,36	MAT
AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2,29789	19,84	45,59	MO
CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	9,95858	22,53	224,37	MO
			Total Mat	1158,98	
			Total MO	269,96	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 40 - Composição própria de serviço - Telhamento com telha cerâmica

Telhamento com telha cerâmica (Referência SINAPI 94195)	m2	Coefficiente	preço unit	preço total	insumo
TELHA CERÂMICA TIPO AMERICANA ESMALTADA	M2	1,11000	46,80	51,95	MAT
GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHP DIURNO. AF_03/2016	CHP	0,0240000	24,53	0,59	MAT
GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHI DIURNO. AF_03/2016	CHI	0,0333000	23,44	0,78	MAT
SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,25300	18,84	4,77	MO
TELHADISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,08200	22,32	1,83	MO
			Total Mat	53,32	
			Total MO	6,60	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 41 - Composição própria de serviço - Telhamento com telha fibrocimento 6mm

Telhamento com telha fibrocimento 6mm (Referência SINAPI 94207)	m2	Coefficiente	preço unit	preço total	insumo
CONJUNTO ARRUELAS DE VEDACAO 5/16" PARA TELHA FIBROCIMENTO (UMA ARRUELA METALICA E UMA ARRUELA PVC - CONICAS)	CJ	1,27000	0,18	0,23	MAT
PARAFUSO ZINCADO ROSCA SOBERBA, CABECA SEXTAVADA, 5/16 " X 250 MM, PARA FIXACAO DE TELHA EM MADEIRA	UN	1,27000	2,82	3,58	MAT
TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA E = 6 MM, DE 2,44 X 1,10 M (SEM AMIANTO)	M2	1,27500	28,65	36,53	MAT
GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHP DIURNO. AF_03/2016	CHP	0,00500	24,53	0,12	MAT
GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHI DIURNO. AF_03/2016	CHI	0,00690	23,44	0,16	MAT
SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,15000	18,84	2,83	MO
TELHADISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,11500	22,32	2,57	MO
			Total Mat	40,62	
			Total MO	5,39	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

6.4 ORÇAMENTO PARA EXECUÇÃO

Os valores dos demais serviços necessários para complementarem as coberturas foram obtidas do SINAPI como apresentado nos orçamentos (Tabela 42 e 43). Estes orçamentos mostram os custos para implementação das coberturas.

Tabela 42 - Orçamento de cobertura com telha cerâmica

Base	Serviço	Unid.	Qty.	PREÇO UNITÁRIO			PREÇO TOTAL		
				MAT	MO	Total	MAT	MO	Total
Composição Própria	Trama de telhado cerâmico	m2	200,00	24,40	20,40	44,80	4.880,40	4.079,15	8.959,55
Composição Própria	Treliça de telhado cerâmico	un	11,00	1080,86	442,76	1.523,62	11.889,45	4.870,32	16.759,77
Composição Própria	Telhamento com telha cerâmica	m2	200,00	53,32	6,60	59,91	10.663,45	1.319,35	11.982,81
SINAPI 94221	Cumeeira para telha cerâmica	m	20,00	18,9	7,25	26,15	378,00	145,00	523,00
SINAPI 94227	Calha em aço galvanizado, desenvolvimento de 33cm	m	40,00	72,51	7,86	80,37	2.900,40	314,40	3.214,80
SINAPI 89578	Condutores verticais de águas pluviais DN 100 mm	m	21,60	49,12	3,62	52,74	1.060,99	78,19	1.139,18
	Total - Cobertura com telha cerâmica tipo portuguesa esmaltada e estrutura em madeira eucalipto						31.772,70	10.806,42	42.579,12

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 43 - Orçamento de cobertura com telha de fibrocimento

Base	Serviço	Unid.	Qty.	PREÇO UNITÁRIO			PREÇO TOTAL		
				MAT	MO	Total	MAT	MO	Total
Composição Própria	Trama de telhado fibrocimento 6mm	m2	200,00	12,90	3,95	16,85	2.580,64	789,63	3.370,27
Composição Própria	Treliça de telhado fibrocimento 6mm	un	9,00	1158,98	269,96	1.428,94	10.430,85	2.429,61	12.860,46
Composição Própria	Telhamento com telha fibrocimento 6mm	m2	200,00	40,62	5,39	46,02	8.124,95	1.078,56	9.203,51
SINAPI 94223	Cumeeira para telha de fibrocimento	m	20,00	73,47	2,12	75,59	1.469,40	42,40	1.511,80
SINAPI 94227	Calha em aço galvanizado, desenvolvimento de 33cm	m	40,00	72,51	7,86	80,37	2.900,40	314,40	3.214,80
SINAPI 89578	Condutores verticais de águas pluviais DN 100 mm	m	21,60	49,12	3,62	52,74	1.060,99	78,19	1.139,18
	Total - Cobertura com telha fibrocimento espessura 6mm e estrutura em madeira eucalipto						26.567,23	4.732,79	31.300,02

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Observa-se que o custo para implantação da cobertura com telha de fibrocimento, R\$ 156,50/m², é inferior ao custo para implantação da cobertura com telha cerâmica, R\$ 212,90/m². Diferença de R\$ 56,40/m², chegando a representar 26% de economia nesta opção.

6.5 CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Foi considerado os serviços de manutenção anual, limpeza e inspeção, executados por profissional especializado, acessando o telhado para remoção de agentes biológicos causadores de degradação.

Outra manutenção que deve ser considerada é a troca de peças, após a inspeção, principalmente das telhas de fibrocimento, visto que a região Sul sofre anualmente com tempestades de granizo, e como já mencionado, a telha de fibrocimento não é capaz de suportar tais tempestades de magnitudes ocorridas nesta região. Além de se mostrar frágil aos outros fatores climatológicos às quais está exposta nesta região. Portanto, deve ser prevista a substituição de ao menos duas telhas por ano, o que representa menos de 3% da área total da cobertura. Ao final dos 30 anos da vida útil da edificação (valor adotado para este cálculo) serão trocadas 161,04m², equivalente à 80% da área total da cobertura.

A desvantagem de trabalhar com peças que cobrem grandes áreas, como é o caso desta telha, é que se apenas uma área for atingida, de modo a danificar a capacidade estanque do sistema, é necessário de troca de toda a peça.

A manutenção do madeiramento não será considerada, pois o período de manutenção está dentro da vida útil do sistema de cobertura.

Elaboraram-se as planilhas de custos de manutenção das coberturas estudadas no período de 30 anos (Tabela 44 e 45).

Tabela 44 - Custo de manutenção da cobertura de telha cerâmica em 30 anos

Base	Serviço	Unid.	Qty.	PREÇO UNITÁRIO			PREÇO TOTAL			
				MAT	MO	Total	MAT	MO	Total	30 anos
SINAPI 99814	Limpeza de superfície com lavadora de alta pressão	m2	200,00	0,40	1,88	2,28	80,00	376,00	456,00	13.680,00
	Total - Manutenção de cobertura com telha cerâmica tipo portuguesa esmaltada e estrutura em madeira eucalipto						80,00	376,00	456,00	13.680,00

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 45 - Custo de manutenção da cobertura de telha de fibrocimento em 30 anos

Base	Serviço	Unid.	Qty.	PREÇO UNITÁRIO			PREÇO TOTAL			
				MAT	MO	Total	MAT	MO	Total	30 anos
SINAPI 99814	Limpeza de superfície com lavadora de alta pressão	m2	200,00	0,40	1,88	2,28	80,00	376,00	456,00	13.680,00
Composição Própria	Telhamento com telha fibrocimento 6mm	m2	5,37	40,62	5,39	46,02	218,07	28,95	247,02	7.410,67
	Total - Manutenção de cobertura com telha fibrocimento espessura 6mm e estrutura em madeira eucalipto						298,07	404,95	703,02	21.090,67

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

No período de 30 anos será necessário o dispêndio de R\$7.410,67 para a substituição de telhas de fibrocimento danificadas devido à chuva de granizo.

Segundo o Relatório sobre Análise Comparativa do Ciclo de Vida das Telhas Cerâmicas versus Telhas de Concreto elaborado pela empresa Quantis para a empresa ANICER (2011), a vida útil máxima da telha cerâmica é de 30 anos, tempo de vida útil considerado para a edificação em estudo. Por conta desse fator não foi considerada a substituição das peças desta telha neste trabalho.

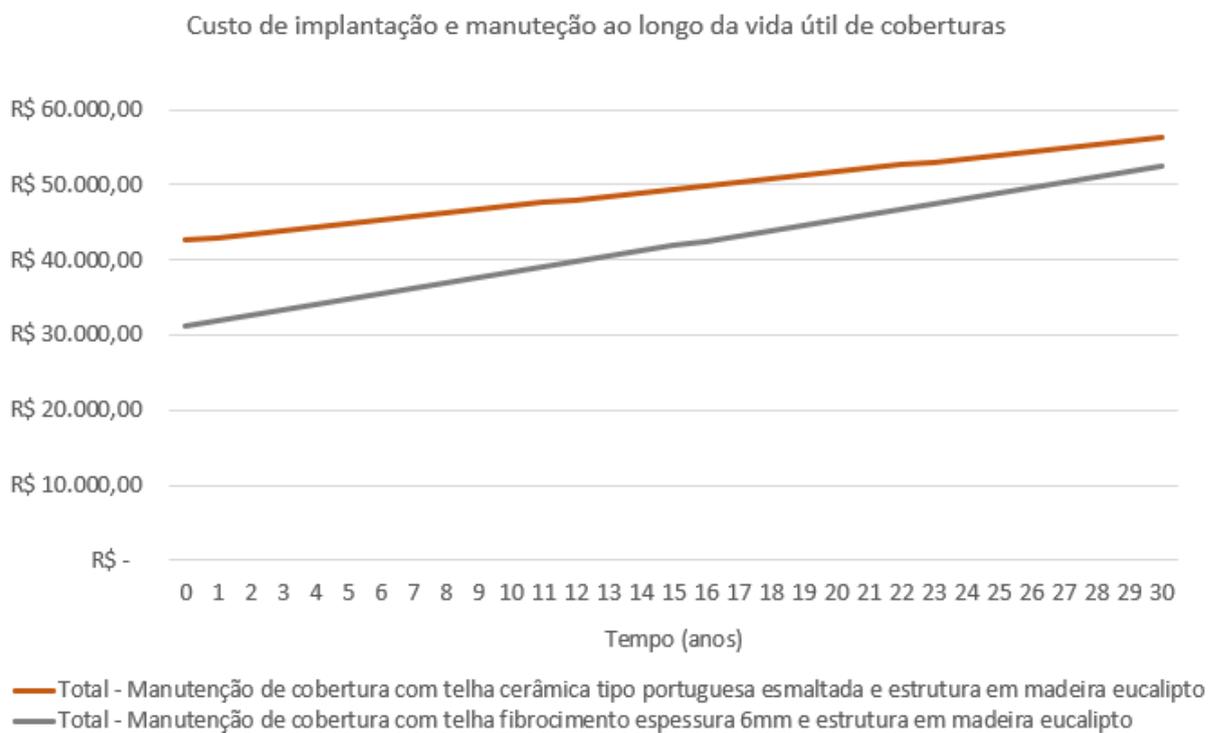
6.6 CUSTOS FINAIS

O custo acumulado de execução e manutenção da cobertura com telha cerâmica foi de R\$ 56.259,12, enquanto o da cobertura com telha de fibrocimento foi de R\$ 52.390,69, representando 7% de economia com a escolha da segunda opção.

No Gráfico 1 são apresentados os custos acumulados de execução de ambos telhados (ano 0) e os custos das manutenções ao longo de 30 anos. Observa-se que a opção de cobertura com telha de

fibrocimento, embora tenha custo de manutenção maior em comparação com a outra solução de cobertura, apresenta-se como melhor alternativa econômica ao fim dos 30 anos analisados.

Gráfico 1 – Custos de implantação e manutenção ao longo da vida útil de coberturas



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O desempenho térmico das telhas cerâmica e de fibrocimento e os custos atrelados a esse aspecto, como por exemplo a climatização, não foram considerados neste estudo.

7. CONCLUSÃO

A diferença de custo de implantação da cobertura da telha cerâmica para a telha de fibrocimento é de R\$56,40/m², 26% de diferença entre os preços. Isso explica por que esse sistema é amplamente comercializado, e um recurso bastante explorado principalmente em construções de habitação social. Além do insumo ter um custo baixo em relação à outras opções de telhamento, é fácil encontrar mão de obra para instalação desse sistema, fator que ajuda no baixo preço de implantação.

O inconveniente do uso deste sistema de cobertura mais econômico na região Sul do Brasil, são as condições meteorológicas distintas das demais regiões do país. O Rio Grande do Sul está sujeito à vendavais e tempestades de granizo frequentes, às quais o telhado de fibrocimento mostrou não ser resistente.

Sendo essas condições meteorológicas adversas tão frequentes, faz a necessidade da manutenção corretiva ser tão corriqueira quanto esses eventos climatológicos.

Portanto, a manutenção da cobertura de telha de fibrocimento mostra-se de custo mais elevado e se faz mais recorrente que a outra opção estudada. Mesmo esse custo de manutenção maior, somado ao seu custo de implantação, a telha de fibrocimento apresenta-se como a opção mais barata ao longo da sua vida útil. Como pode ser observado no Gráfico 1, o custo de implantação e manutenção da cobertura cerâmica não é superada dentro do período de 30 anos.

Como se percebe da análise do INCC (Índice Nacional da Construção Civil), a tendência é que o preço dos insumos de materiais e mão de obra aumentem com o passar dos anos. Com isso, indica-se a pesquisa e análise de como esses valores podem variar dentro de 30 anos, e como isso influenciaria no aumento do custo de manutenção das coberturas, e se esse fator faria com que o custo de manutenção aumentasse a ponto da soma dos custos de implantação e manutenção da cobertura de telha de fibrocimento superar os custos de implantação e manutenção da cobertura de telha cerâmica.

Neste presente trabalho considerou-se uma inclinação de 30% em ambas as coberturas, para que se analisasse coberturas similares. No entanto, de acordo com o fabricante da telha de fibrocimento é possível construir telhados com inclinações mínimas de 10%, o que aparentemente levaria a uma economia de madeira e telhas, a qual não pode ser afirmada sem antes se fazer o devido dimensionamento dessa estrutura. Sendo ainda necessária a análise da resistência dessa telha com inclinação menor, que consecutivamente acaba por receber uma carga de impacto maior da queda da esfera de granizo, se comparado à telha com a inclinação estudada, devida a decomposição de forças verticais e horizontais, aumentando o risco de quebra.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-5:2021** Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:1988** Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681:2003** Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15310:2009** Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:2019** Ações para cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7196:2020** Telhas de fibrocimento sem amianto – Execução de coberturas e fechamentos laterais – Procedimento. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-1:2022** Projeto de estruturas de madeira – parte 1: critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro, 2022.
- BRASIL. Lei n° 10406, de 10 de janeiro de 2002. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110406.htm>. Acesso em: 22 de abril de 2022
- Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário brasileiro de desastres naturais: 2013**. Brasília: CENAD, 2014. 75p
- Brasil. Ministério da Integração Nacional. Manual de Desastres Naturais. Vol. I. Brasília, 2003
- BRASILIT. **Guia Técnico de Telhas de Fibrocimento e Acessórios para Telhado**. Grupo Saint-Gobain. Outubro de 2014. Disponível em: <<https://bd-sp.canaldapeco.com.br/Brasilit/MANUAL/Cat%C3%A1logo%20Telhas%20De%20FibrocimentF%20Brasilit.pdf>>. Acesso em: 29 de março de 2022.
- CABRAL JUNIOR, M.; TANNO, L.C.; SINTONI, A.; MOTTA, J. F. M.; C OELHO, J. M. A Indústria de Cerâmica Vermelha e o Suprimento Mineral no Brasil: Desafios para o Aprimoramento da Competitividade. **Cerâmica Industrial – Revista do técnico Cerâmico Brasileiro**. Cerâm. ind., vol.17, n1, p.36, janeiro/fevereiro 2012. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/5876574a7f8c9d6e028b47bc>>. Acesso em: 30 de dezembro de 2021.
- COELHO, T. C. C.; GOMES, C. E. M.; DORNELLES, K. A. **Desempenho térmico e absorvância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural**. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 147-161, 2017.
- CRIZEL, LILIAN ESCANDIEL et al. **Caracterização da precipitação atmosférica na região metropolitana de Porto Alegre-RS**. Salão de iniciação Científica (18.: 2006: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2006., 2006.

CRUZ, H.; NUNES, L. A madeira como material de construção. **Núcleo de Estruturas de Madeira**, p. 27, 2005.

DECORAFÁCIL. **Limpeza de telhado: importância, como fazer e dicas de cuidados**. 11 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://www.decorfacil.com/limpeza-de-telhado/#:~:text=A%20limpeza%20do%20telhado%20deve%20ser%20feita%20uma%20vez%20por,lampeza%20dura%20por%20mais%20tempo.>>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL, **Governo do Estado homologa decreto de situação de emergência no município de Lagoa Vermelha**. 24 de outubro de 2019. Disponível em: <<https://www.defesacivil.rs.gov.br/governo-do-estado-homologa-decreto-de-situacao-de-emergencia-no-municipio-de-lagoa-vermelha>>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL, **Estado acompanha situação de municípios atingidos por temporal**. 01 de julho de 2020. Disponível em: <<https://www.defesacivil.rs.gov.br/defesa-civil-estadual-envia-ajuda-para-municipios-atingidos-por-temporal>>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL, **Defesa Civil de Canoas divulga balanço dos estragos provocados por temporal da quinta-feira**. 27 de novembro de 2021. Disponível em: <<https://www.canoas.rs.gov.br/noticias/defesa-civil-de-canoas-divulga-balanco-dos-estragos-provocados-por-temporal-da-quinta-feira/>>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL, **Nota técnica sobre a microexplosão que atingiu Guaíba**. 18 de janeiro de 2022. Disponível em: <<https://www.defesacivil.rs.gov.br/nota-tecnica-sobre-a-microexplosao-que-atingiu-guaiba>>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

DEL MAR, Carlos P. Direito na Construção Civil. Editora PINI. São Paulo, 2015.

DIAS, C.M.R. et al. Envelhecimento de longo prazo de telhas onduladas de fibrocimento – o efeito da carbonatação, lixiviação e chuva ácida. **Revista ScienceDirect**. 2007.

FORNARO, A. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil? **Revista USP**, n.70, pg. 78-87, julho/agosto de 2006. Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP.

FTOOL. **Software de análise de estrutura bidimensional**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC Rio). Versão 4.0. Disponível em: <<https://www.ftool.com.br/Ftool/>>. Acesso em: 23 de dezembro de 2021.

INSTITUTO DE ENGENHARIA. **A nova norma brasileira de vento: principais alterações da NBR-6123**. 4 de abril de 2019. Disponível em: <<https://vimeo.com/328191530>>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=12>. Acesso em 22 de dezembro de 2022

LANZETTA, P. Um mapa nacional das grandes tempestades de granizo. **Revista Pesquisa FAPESP**. Edição 250, dez. 2016. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/um-mapa-nacional-das-grandes-tempestades-de-granizo/>>. Acesso em: 22 de abril de 2022.

HENRIQUES, Julcelly Dayara et al. PRODUÇÃO DE TELHA DE FIBROCIMENTO SEM AMIANTO. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 10, n. 19, 2014.

LORENCI, S.S. **a manutenção na construção civil e a responsabilidade legal: o caso da edificação de ambiente bancário**. 2017. 51 f. Dissertação (Pós-Graduação em Gerenciamento de Obras) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

MACHADO, J. SAPORITI. **Características anatômicas, físicas e mecânicas da madeira**. 1999. In Documentação do Curso de Especialização “A madeira na construção”. LNEC.

MAR
TINS, C.M. **Revisão de procedimentos para o dimensionamento de peças de madeira serrada, para a revisão da norma ABNT NBR 7190 – Projetos de estruturas de madeira**. 2020. 154 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MIRLEAN, N. et al. **Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do Rio Grande, RS**. Química Nova, v. 23, p. 590-593, 2000.

NECKEL JR, L. **Processamento de telhas cerâmicas por compactação de pós e queima em forno a rolo**. Dissertação (Pós-graduação Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. 6 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2003.

QUANTIS. **Análise Comparativa do Ciclo de Vida das Telhas Cerâmicas versus Telhas de Concreto**. 09 de agosto de 2011. Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/acv/ACV%20Telhas%20Cer%C3%A2micas.pdf>>. Acesso em 05 de junho de 2022.

REGIONAL TELHAS. **Entenda agora por que e como substituir telha de amianto!** 21 de novembro de 2018. color. Disponível em: <<https://blog.regionaltelhas.com.br/entenda-agora-por-que-e-como-substituir-telha-de-amianto/>>. Acesso em 22 de abril de 2022.

SINAPI. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

SOLOTEST. [Sem título]. 05 de janeiro de 2022. II. color. Disponível em: <<https://solotest.com.br/novo/produtos/defletometro-p--determ--planeza-em-bloco-/1.088.800>>. Acesso em 05 de janeiro de 2022.

SZUCS, C. A.; TEREZO, RODRIGO F.; VALLE, A.; MORAES, P. D. **Estruturas de Madeira**. 2015. 219f. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TEMAX. **Telha cerâmica esmaltada**. Disponível em: <<https://www.telhastemax.com.br/produto/telha-ceramica-esmaltada-6.html>>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

TONOLI, G. **Aspectos produtivos e análise do desempenho do fibrocimento sem amianto no desenvolvimento de tecnologia para telhas onduladas**. Dissertação (Mestrado Zootecnia) – Universidade de São Paulo, Pirassununga

VISUAL VENTOS. **Software de cálculo de pressões internas e externas em edificações**. Versão 2007. Divisão de TI, Universidade de Passo Fundo. Disponível em: <http://www.ertools.upf.br/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=15> Acesso em 10 de dezembro de 202q.

WERLANG, A. P. **Análise da resistência mecânica de telhas de fibrocimento frente a tempestades de granizo.** 2015. 30 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ZENID, G.J.. Madeira na construção civil. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2011.

ANEXO A – ORÇAMENTOS RECEBIDOS

		Insumo				
		Sarrafo 2,5x5cm (m)	Caibro 5x5cm (m)	Tábua 5x15cm (m)	Telha cerâmica (m ²)	Telha de fibrocimento (m ²)
Fornecedor	1	R\$ 1,27	R\$ 2,18	R\$ 6,38		
	2	R\$ 1,17	R\$ 2,58	R\$ 7,39		
	3	R\$ 1,10	R\$ 2,20	R\$ 6,60		
	4				R\$ 51,00	
	5				R\$ 46,80	R\$ 30,51
	6				R\$ 46,56	
	7					R\$ 23,44
	8					R\$ 28,65

