

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ISABELLA RHAYNARA LOPES

**RESIDÊNCIAS EM MADEIRA COM SISTEMA ESTRUTURAL INDUSTRIALIZADO
A-FRAME UTILIZANDO CHAPA COM DENTES ESTAMPADOS**

CAMPO MOURÃO

2023

ISABELLA RHAYNARA LOPES

**RESIDÊNCIAS EM MADEIRA COM SISTEMA ESTRUTURAL INDUSTRIALIZADO
A-FRAME UTILIZANDO CHAPA COM DENTES ESTAMPADOS**

**Timber house with industrialized A-Frame structural system using punched
metal plate**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes

CAMPO MOURÃO

2023



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ISABELLA RHAYNARA LOPES

**RESIDÊNCIAS EM MADEIRA COM SISTEMA ESTRUTURAL INDUSTRIALIZADO
A-FRAME UTILIZANDO CHAPA COM DENTES ESTAMPADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes.

Data de aprovação: 27 de novembro de 2023

Jorge Luís Nunes de Góes
Doutor em Engenharia de Estruturas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fabiana Goia Rosa de Oliveira
Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcelo Rodrigo Carreira
Doutor em Engenharia de Estruturas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2023

Dedico este trabalho à minha família, por me apoiarem no meu sonho.

AGRADECIMENTOS

Quero começar agradecendo a Deus, que me permitiu viver meu sonho de cursar Engenharia Civil, ter me dado forças para continuar e enfrentar todos esses anos com garra e sabedoria.

Agradeço meus pais, Adir e Cláudia, por terem acreditado em mim, me apoiarem nas minhas decisões e por continuarem me incentivando a viver meu sonho, não tenho palavras para descrever o quanto vocês foram essenciais durante todos os anos da minha trajetória estudantil e também minha trajetória de vida, sem vocês eu não teria chegado até onde cheguei.

Não posso deixar de mencionar minha irmã Rhayssa, obrigada por ter me suportado nos momentos mais difíceis, sei que essa reta final foi complicada aguentar minhas loucuras (kkkk), mas você sempre continuou ali do meu lado me incentivando a cada dia que passava, mostrando o quanto eu era capaz. Rha quero que saiba que você foi e sempre será especial em minha vida.

Aos meus amigos, tanto os que fiz na universidade quanto os que fiz durante a vida, obrigado por terem entrado no meu caminho e serem tão pacientes comigo, não sou a pessoa mais fácil de lidar, mas vocês souberam me mostrar um jeito mais leve de levar a vida, vocês são os grandes responsáveis pela minha alegria e minhas risadas, viver ao lado de cada um me molda como pessoa, é simplesmente incrível tê-los aos meu lado e espero que continuemos vivendo juntos daqui pra frente e colecionando momentos especiais.

Ao meu orientador, Jorge Góes, meus sinceros agradecimentos, a escolha do tema desse trabalho se deu pelo professor incrível que você foi comigo na sala de aula, sempre me apoiou e continuou me apoiando ao longo dessa orientação, disponibilizou seu tempo para me auxiliar até o último minuto para que sásse como o esperado.

Estendo também meus agradecimentos a todos os professores que passaram pela minha trajetória na graduação, pelo o ensino de qualidade e por se mostrarem disponíveis para ajudar e ensinar quando possível, o que aprendi com vocês tanto em relação ao curso quanto a experiência de vida, levarei para sempre comigo.

Enfim obrigada a todos que fizeram parte desse pedaço da minha história para que eu finalmente alcançasse o capítulo final dessa etapa da minha vida.

RESUMO

O sistema construtivo em A, conhecido também como A-Frame, se popularizou no pós-guerra, sendo considerada uma das representações mais antigas de edifício ou casa, podendo ser comparada com uma tenda indígena. Tornando-se moderno, esse sistema entrou no mercado como uma casa de férias, sendo então uma alternativa de edificação para o setor da construção civil. O sistema estrutural industrializado é uma opção para construções de habitações unifamiliares, por ser um processo construtivo mais rápido. Introduzir novos sistemas de construção no mercado imobiliário traz inovação para a indústria de construção civil do país. O foco desse trabalho é estudar o sistema construtivo em A com as ligações feitas em CDE realizando o dimensionamento dos elementos estruturais de acordo com as ações em que a estrutura é sujeitada, comparando os resultados com os limites indicados pela norma.

Palavras-chave: sistema construtivo em A; A-Frame; sistema construtivo industrializado; CDE.

ABSTRACT

The constructive system in A, also known as A-Frame, became popular in the post-war period, being considered one of the oldest representations of a building or house, and can be compared with an indigenous tent. Becoming modern, this system entered the market as a vacation home, then being a building alternative for the civil construction sector. The industrialized structural system is an option for the construction of single-family homes, because it is a faster construction process. Introducing new construction systems in the real estate market brings innovation to the country's construction industry. The focus of this work is to study the constructive system in A with the connections made in punched metal plate performing the design of the structural elements according to the actions to which the structure is subjected, comparing the results with the limits indicated by the standard.

Keywords: constructive system in A; A-Frame; industrialized construction system; punched metal plate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: O processo da industrialização	16
Figura 2: Sistema estrutural de treliça pré-fabricada.....	18
Figura 3: Casa da Gisela Benatti.....	20
Figura 4: Tenda indígena	21
Figura 5: Exemplo sistema construtivo em A.....	22
Figura 6: Residência A-Frame.....	23
Figura 7: Pilaretes de concreto	24
Figura 8: Conector metálico	24
Figura 9: Fixação das vigas de madeira.....	25
Figura 10: Formas, manta impermeabilizante, armadura e tubulações.....	26
Figura 11: Concretagem	26
Figura 12: Ilustração da mesa gabarito para o corte das vigas	27
Figura 13: Montagem dos pórticos sobre pilaretes	27
Figura 14: Montagem do pórticos sobre radier	28
Figura 15: Detalhamento da ligação com CDE	29
Figura 16: Detalhamento conector metálico	29
Figura 17: Fixação dos espaçadores.....	30
Figura 18: Colocação do compensado no piso	31
Figura 19: Colocação do piso laminado.....	31
Figura 20: Mezanino fixado à estrutura	32
Figura 21: Instalação das portas e janelas.....	33
Figura 22: Detalhamento do telhado	33
Figura 23: Iluminação entre os montantes.....	34
Figura 24: Iluminação na parte inferior do mezanino	35
Figura 25: Exemplo de ligação convencional com parafusos.....	35
Figura 26: Ilustração de ligação com CDE	36
Figura 27: Exemplo de chapa com dentes estampados	36
Figura 28: Estrutura de cobertura executada com CDEs	37
Figura 29: Ilustração das direções de esforço normal de tração.....	41
Figura 30: Ilustração das direções de esforço cisalhante	41
Figura 31: Ilustração das posições da chapa	42
Figura 32: Forças consideradas nos cálculos	42
Figura 33: Força de tração.....	43
Figura 34: Planta baixa térreo	44
Figura 35: Planta baixa mezanino	45
Figura 36: Pórtico da estrutura	46
Figura 37: Corte A	46
Figura 38: Corte B	47
Figura 39: Vista frontal.....	47
Figura 40: Vista posterior	48
Figura 41: Demonstração vento 0°.....	49
Figura 42: Demonstração vento 90°.....	49
Figura 43: Pórtico no FTOOL	52
Figura 44: Combinação crítica	53
Figura 45: Diagrama de corpo livre	53
Figura 46: Diagrama de esforço normal	54
Figura 47: Diagrama de esforço cortante.....	54

Figura 48: Diagrama de momento fletor.....	55
Figura 49: Soma vetorial das forças.....	56
Figura 50: Deslocamento estrutural.....	67
Figura 51: Deslocamento devido ao peso próprio.....	68
Figura 52: Deslocamento devido ao vento 90°.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resistências à tração e cisalhamento	40
Tabela 2: Resistência ao arrancamento	41
Tabela 3: Coeficientes do vento.....	48
Tabela 4: Esforços solicitantes.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CDE	Chapas com dentes estampados
FJP	Fundação João Pinheiro
NBR	Norma Brasileira
ANSI/TPI	American National Standards Institute
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - Paris
EN	Eurocode

LISTA DE SÍMBOLOS

C_{pe}	Coeficiente de pressão externa
C_{pi}	Coeficiente de pressão interna
Δ_{cp}	Variação de pressão
V_k	Velocidade característica do vento
V_0	Velocidade básica do vento
S_1	Fator topográfico
S_2	Fator de rugosidade do terreno
S_3	Fator estático
q	Pressão dinâmica do vento
q_k	Força característica atuante do vento
P_p	Peso próprio
F_d	Força de cálculo
γ_g	Coeficiente de ponderação da ação permanente
γ_Q	Coeficiente de ponderação das ações variáveis
$F_{Gi,k}$	Valor característico das ações permanentes
$F_{Q1,k}$	Valor característico da ação variável considerada como principal para a combinação
ψ_0	Valor do fator de combinação para as ações variáveis
$\psi_{0j}F_{Qj,k}$	Valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis
t_s	Espessura da chapa metálica
d	Diâmetro do parafuso
$f_{e0,k}$	Valor característico da resistência ao embutimento
k_{90}	Fator que leva em consideração a configuração da carga, a possibilidade de divisão e o grau de deformação compressiva.
$f_{e\alpha,k}$	Valor característico da resistência ao embutimento $\alpha \neq 0^\circ$
$M_{y,k}$	Momento resistente do pino metálico
$f_{u,k}$	Resistência última do aço do parafuso à tração
$F_{vR,k}$	Força característica por plano de corte
R_k	Resistência característica da ligação
n_{sp}	Número de seção de corte
n_c	Número de conectores
R_d	Capacidade resistente de cálculo da ligação
k_{mod1}	Fator de modificação quanto a classe de carregamento e o tipo de material
k_{mod2}	Fator de modificação quanto a classe de umidade e o tipo de material
γ_{lig}	Coeficiente de minoração das propriedades de resistência da ligação
$f_{m,k}$	Resistência à flexão característica
$f_{t,0,k}$	Resistência à tração paralela característica
$f_{t,90,k}$	Resistência à tração perpendicular característica
$f_{c,0,k}$	Resistência à compressão paralela característica
$f_{c,90,k}$	Resistência à compressão perpendicular característica
$f_{v,k}$	Resistência ao cisalhamento característico
$E_{0,med}$	Módulo de elasticidade paralelo médio
$E_{0,05}$	Módulo de elasticidade paralelo característico

$E_{90,med}$	Módulo de elasticidade perpendicular médio
G_{med}	Módulo de elasticidade transversal médio
ρ_k	Densidade característica
ρ_{med}	Densidade média
A	Área da seção transversal
I_x	Inércia em relação ao eixo x
I_y	Inércia em relação ao eixo y
W_x	Módulo de resistência da seção transversal à direção paralela às fibras em relação ao eixo x
W_y	Módulo de resistência da seção transversal à direção paralela às fibras em relação ao eixo y
i_x	Raio de giração em relação ao eixo x
i_y	Raio de giração em relação ao eixo y
L_0	Comprimento do elemento
K_E	Coefficiente dos modos de flambagem
λ_x	Esbeltez correspondente à flexão em relação ao eixo x
λ_y	Esbeltez correspondente à flexão em relação ao eixo y
$\lambda_{rel,x}$	Esbeltez relativa correspondente à flexão em relação ao eixo x
$\lambda_{rel,y}$	Esbeltez relativa correspondente à flexão em relação ao eixo y
A_{liq}	Área líquida da seção transversal
A_{dentes}	Área dos dentes da CDE
$N_{t0,d}$	Esforço normal de tração solicitante de cálculo.
$\sigma_{Nt0,d}$	Tensão solicitante de cálculo do esforço de tração
$f_{t0,d}$	Resistência de cálculo à tração
$N_{c0,d}$	Esforço normal de compressão solicitante de cálculo
$\sigma_{Nc0,d}$	Tensão normal devida ao esforço de compressão
$\sigma_{M,d}$	Valor máximo da tensão normal de flexão
M_d	Valor de cálculo do momento fletor
k_m	coeficiente de correção correspondente à forma geométrica da seção transversal
$f_{m,d}$	Resistência à flexão de cálculo
τ_d	Máxima tensão de cisalhamento atuante na seção
V_d	Força cortante na seção
$f_{v0,d}$	Resistência ao cisalhamento de cálculo
μ_{inst}	Deformação instantânea
$\mu_{inst,Gi,k}$	Deformação instantânea devido a ação permanente
$\mu_{inst,Q1,k}$	Deformação instantânea devido a ação variável
$\mu_{inst,Qj,k}$	Deformação instantânea devido a uma segunda ação variável
ψ_1	Fator de redução para ação variável
μ_{fin}	Deformação final
$\mu_{fin,Gi,k}$	Deformação final devido a ação permanente
$\mu_{fin,Q1,k}$	Deformação final devido a ação variável
$\mu_{fin,Qj,k}$	Deformação final devido a uma segunda ação variável
$\mu_{net,fin}$	Deformação resultante final
W_{inst}	Valor limite da flecha instantânea
W_{fin}	Valor limite da flecha final
$W_{net,fin}$	Valor limite da flecha resultante final

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	JUSTIFICATIVA.....	14
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1	Treliças pré-fabricadas para residências	17
4.2	Histórico do sistema construtivo em A (A-Frame)	19
4.3	Como construir um sistema construtivo em A	23
4.4	Chapa com dentes estampados (CDE).....	36
4.5	Resistência e rigidez das ligações por CDE	38
4.6	Dimensionamento das ligações por CDE.....	39
5	DESENVOLVIMENTO	44
5.1	Projeto arquitetônico	44
5.2	Análise do vento.....	48
5.3	Peso próprio por pórtico e carga acidental	50
5.4	Combinações Últimas Normais.....	51
5.5	Esforços solicitantes nas barras	52
5.6	Dimensionamento das ligações	55
5.6.1	Ligação do pórtico no radier: madeira - aço parafusada	55
5.6.2	Ligação com CDE em barra tracionada.....	58
5.6.3	Ligação com CDE em barra comprimida	58
5.7	Dimensionamento dos elementos estruturais	59
5.7.1	Propriedades do material	60
5.7.2	Verificação de elementos tracionados.....	60
5.7.3	Verificação de elementos comprimidos	62
5.8	Deslocamento global da estrutura.....	66
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS.....	72
	APÊNDICE A – TABELA DOS ESFORÇOS SOLICITANTES.....	76

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um dos elementos mais antigos utilizados na construção civil, por conta da sua disponibilidade na natureza em quase todo o mundo. Na construção civil brasileira a madeira utilizada tem origem nas florestas tropicais, sendo as mais exploradas as espécies nativas como *Araucaria angustifolia*, popularmente conhecida como Pinheiro-do-paraná e *Aspidosperma polyneuron*, conhecida como Peroba-rosa, mas com o crescimento do desmatamento as espécies nativas vêm sendo substituídas por espécies de reflorestamento como *Pinus sp* e *Eucalyptus sp* (Flash, 2012).

No mercado a madeira é vista como um material de vida útil pequena e isso a tem negligenciado como material de construção. Embora ela seja sim vulnerável ao apodrecimento e ataque de insetos, quando utilizada com as tecnologias corretas e tratamentos preservativos, ela pode ser considerada um material muito duradouro, pois é possível ser protegida contra a deterioração por períodos de 50 anos ou mais, além disso uma madeira tratada requer pouca manutenção e pintura (Calil & Dias, 1997).

A industrialização da madeira ocorreu no pós-guerra, na Europa, devido a necessidade de reconstruções rápidas e econômicas em razão da destruição das cidades ocorrida pela guerra (Baraldi, 1996). O emprego da pré-fabricação na produção de componentes industrializados deu-se nos anos 1950, na América do Norte, com o desenvolvimento das chapas com dentes estampados, onde mais adiante seria conhecido também como CDE. A cobertura foi o subsistema que teve seus primeiros componentes pré-fabricados, tendo as treliças produzidas em larga escala (Valle, 2011).

O sistema construtivo industrializado é uma opção para construções de habitações unifamiliares, pois com os elementos sendo executados praticamente todos em fábrica, torna-se um processo construtivo mais rápido e ainda seguindo os conceitos de racionalização e aumentando os níveis de controle de qualidade. Sendo assim, existem alguns tipos de sistemas construtivos industrializados no mercado atualmente como Wood-Frame, estrutura feita em madeira, Steel-Frame, estrutura feita em aço, e a estudada nesse trabalho, A-Frame, pórtico construído em madeira com ligações feitas por CDE.

Surgindo em meados dos anos 1950, o sistema construtivo em A, acessível e esteticamente aconchegante, foi apresentado inicialmente como uma opção de lazer (DAHP Olympia, 2022). Mas de acordo com a afirmação feita pela revista Time: “o A-Frame não é uma ideia nova: o primeiro homem que encostou dois postes e jogou uma pele sobre eles tinha uma versão rudimentar disso”. Levando em consideração essa informação, é possível afirmar que o formato A-Frame é uma das mais antigas representações tradicionais de um edifício ou casa, porém em um momento específico esse sistema construtivo em A tornou-se algo moderno (DEN, 2022).

Embora possa parecer muito diferente de uma residência tradicional, esse sistema construtivo pode ser tão confortável e funcional quanto. Devido ao seu design exclusivo, considerado atemporal, é possível de ser construído de acordo com a variedade do clima e em diferentes locais como montanhas (The Diy Plan, 2022).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar o sistema construtivo A-Frame para o uso em construções unifamiliares de madeira, considerando características do projeto e execução.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar o sistema construtivo A-Frame e seus detalhes construtivos;
- Estudar as ligações em CDE para o sistema construtivo industrializado;
- Realizar o dimensionamento de uma residência unifamiliar com o sistema estrutural A-Frame.

3 JUSTIFICATIVA

De acordo com dados levantados pelo FJP, apresentados por Brasil (2021): “em 2019 o déficit habitacional estimado para o Brasil foi de 5,876 milhões de domicílios, dos quais 5,044 milhões estão localizados em áreas urbanas”. Segundo a mesma pesquisa, em relação a região geográfica, o Norte e o Nordeste são os estados que apresentam os maiores números de domicílios improvisados, sendo 12,9% e 9,2%, respectivamente, enquanto Sudeste e Sul apresentam, respectivamente, 7,2% e 5,6%. Com isso é relativamente visível a grande diferença regional levando em consideração as questões sociais e econômicas juntamente com déficit habitacional.

Para amenizar o déficit habitacional encontrado no Brasil há uma opção em que o mercado fornece sendo a residência industrializada, também conhecida como habitações pré-fabricadas, que surgiu como alternativa à construção tradicional, pois é um sistema construtivo mais rápido, eficiente, com uma melhor qualidade, leve e ao mesmo tempo seguro.

A madeira surge no mercado como uma alternativa para o desenvolvimento de elementos construtivos, por ser leve, facilitando o transporte e exigindo menos fundação, além de ser um ótimo material para produzir componentes pré-fabricados. Utilizada nesse sistema construtivo, a madeira tem uma grande vantagem em relação as ligações, por não ter a necessidade de executar detalhes complexos nas mesmas. As ligações das peças desse sistema são feitas com as CDEs, o que torna o processo construtivo mais prático e podendo ser executado com certa agilidade.

As ligações feitas com CDE devem ser dimensionadas corretamente de acordo com as cargas e forças que serão aplicadas na estrutura e também é necessário seguir as especificações do fabricante para garantir a segurança e estabilidade da mesma. Quando se entende melhor a funcionalidade das ligações e suas respectivas limitações, é possível desenvolver soluções apropriadas para cada estilo de projeto.

A partir disso as alternativas construtivas, como o sistema construtivo em A, foram tomando espaço na construção civil em geral, porém no Brasil ainda é muito pouco conhecido e estudado sobre os sistemas industrializados em si, assim como as ligações feitas com CDE, visto que a maior parte do mercado de construção está totalmente voltado para construções em alvenarias.

Há poucos estudos no geral em relação ao sistema construtivo em A, visto que por mais que seja popular nos Estados Unidos, eles utilizam praticamente as mesmas técnicas construtivas estudadas sobre Wood-Frame, também muito popular. No Brasil não foi encontrado estudos sobre esse sistema em A, porém há diversas construções do mesmo no país.

O estudo sobre o sistema no Brasil pode contribuir para pesquisas e desenvolvimentos de novas técnicas construtivas, implicando diretamente na indústria de construção civil do país.

Introduzir novos sistemas pode levar à grandes inovações na indústria construtiva brasileira, ocasionando mais opções para engenheiros e arquitetos que querem buscar novos desafios no ramo profissional.

É possível ser utilizado como uma habitação unifamiliar convencional ou também como chalés turísticos, por ter um design diferenciado, atraindo pessoas interessadas em experimentar novos tipos de construções e arquiteturas.

O sistema construtivo em A pode ser classificado como sustentável, uma vez que os materiais utilizados são madeira de reflorestamento e o aço, que é um material reciclável.

Dentro desse cenário de uma alta geração de Resíduos Sólidos da Construção Civil, uma das opções é a utilização de materiais renováveis no canteiro de obra, que é o caso da madeira de reflorestamento ou de manejos sustentáveis, apresentando uma alternativa mais viável ao olhar ambiental. A madeira é também um material que pode ser reutilizado ou reciclado no final do processo de produção, o que resulta em uma produção menor de resíduos sólidos (BERRIEL, 2009).

Já com relação ao aço, considerado um material 100% reciclável, ele pode retornar aos fornos sob forma de sucata, tornando-se aço utilitário novamente, sem perder suas devidas qualidades. Por conta das suas propriedades magnéticas, o mesmo pode ser separado facilmente de outros materiais, que possibilita altos índices de reciclagem (Cortez *et al.*, 2018).

fabricação ajudaria nas melhorias na qualidade final do produto, uma vez que passaria por um controle de qualidade mais rigoroso no processo de produção, e atendimento das classes sociais historicamente menos favorecidas (Valle, 2011).

4.1 Treliças pré-fabricadas para residências

Desde o seu surgimento no mercado de telhados, em 1975, o sistema de treliças pré-fabricadas, também conhecida como tesouras, ganhou um grande espaço e dominou a indústria de construções e habitações (Sheng, 2003).

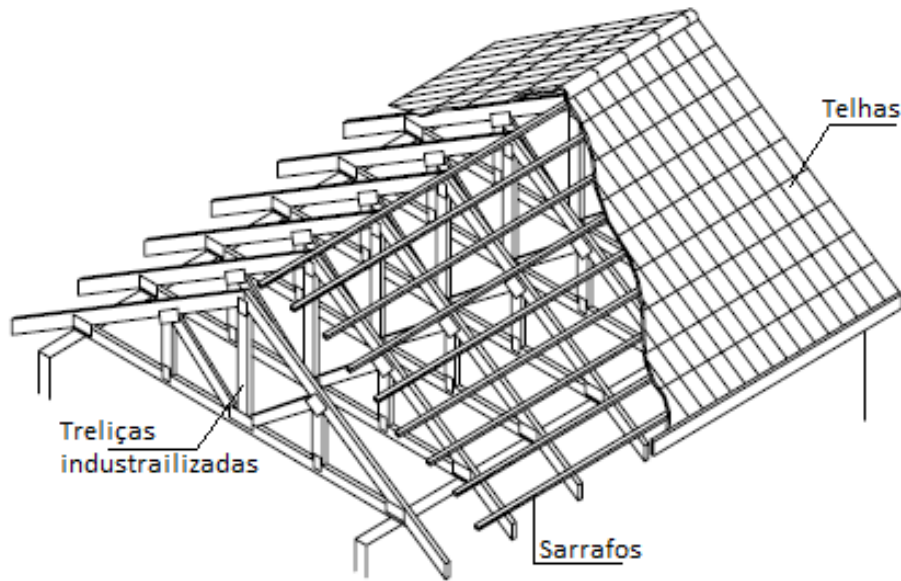
O sistema de cobertura pré-fabricado possui peças de madeira de 50 mm de espessura e altura variável, sendo a mais utilizada 50 mm X 100 mm, a mais próxima do sistema norte-americano, 2" X 4" (figura 2). As seções também irão depender do vão a ser vencido, pois as treliças são projetadas para que não haja apoio intermediário na estrutura (Velloso, 2010).

Sua principal característica é o uso de CDE para realizar as ligações entre as barras da treliça, formando estruturas de telhados mais leves (Sheng, 2003). O uso do CDE requer que todas as barras estruturais, tracionadas ou comprimidas, estejam com espessuras iguais e no mesmo plano de montagem.

Para esse sistema estrutural a distância entre as treliças varia de 0,8 a 1,0 metro para coberturas com telhas cerâmicas, e de 1,5 a 2,0 metros para coberturas com telhas onduladas de fibrocimento, metálicas, entre outras. Essas estruturas se tornam mais leves e esbeltas por conta das cargas de projeto e de uma menor área de influência (Partel, 2000).

O madeiramento complementar é substituído somente por sarrafos que cumprem a função das ripas, no caso da utilização de telha cerâmica, ou das terças, no caso da utilização de telhas de fibrocimento ou metálica (Partel, 2000).

Figura 2: Sistema estrutural de treliça pré-fabricada



Fonte: Adaptado de Partel (2000, p. 11)

O telhado pré-fabricado também pode ser composto por caibros, principalmente quando os projetos propostos são complexos, possuindo muitas águas e variáveis inclinações. Os caibros normalmente têm espaçamentos entre 400 mm ou 600 mm, dependendo da seção transversal e do vão (Velloso, 2010).

As CDEs possibilitam uma estrutura mais econômica em comparação com as convencionais, por possibilitar o uso de barras de madeira com seções transversais menores e assim ocorrendo uma diminuição no volume e conseqüentemente no peso próprio da estrutura também (Partel, 2000).

As treliças, como citado, são estruturas leves, que podem ser manuseadas e instaladas pela própria equipe durante a montagem, mas quando a estrutura possui grandes vãos o resultado disso são peças maiores, onde necessita-se do auxílio de máquinas para serem instaladas, como caminhões com guindastes telescópios acoplados (Velloso, 2010).

Segundo Calil e Dias (1997), para a fabricação desse sistema há uma divisão de quatro etapas:

- Usinagem das peças de madeira nas dimensões especificadas;
- Posicionamento das peças sobre uma mesa-gabarito;
- Prensagem dos conectores (CDE);
- Armazenamento na própria indústria ou no canteiro de obra, de forma adequada, para uma posterior montagem.

As grandes vantagens do pré-fabricado em relação ao sistema tradicional são a rapidez na montagem na obra, dimensionamento estrutural correto, grande durabilidade dos materiais e a utilização de materiais renováveis, tornando a técnica mais sustentável (Flash, 2012).

4.2 Histórico do sistema construtivo em A (A-Frame)

Nos Estados Unidos, há muito tempo era utilizado o A-Frame, conhecido como sistema construtivo em A, para casas de gelo, casas de bomba, abrigos de campo e galinheiro, portanto ninguém pensava em morar nelas por opção própria. Mas em 1936 essa visão mudou quando o arquiteto Rudolph Schindler projetou uma casa no sistema construtivo para Gisela Benatti (figura 3), sendo considerado o primeiro a inserir o sistema na América como forma de moradia, antecedendo quase 20 anos da sua popularidade (Old House Journal, 2023).

Figura 3: Casa da Gisela Benatti



Fonte: Old House Journal (2023)

Foi então pós-segunda Guerra Mundial que o sistema começou a se popularizar, pois projetistas buscavam um sistema construtivo seguro, eficiente, de execução rápida e que utilizasse menos material (Randl, 2004).

Arquitetos pretendiam tornar esse tipo de estrutura mais comum, porque apesar de o sistema construtivo em A existir a muito tempo, a mudança de projeto pós-guerra se diferenciava das suas antecessoras (DAHP Olympia, 2023). A primeira fase em que o sistema se popularizou foi entre 1950 e 1957, quando jovens arquitetos, tendo como inspiração Schindler, construíram suas variações e interpretações de estilo do sistema, criando as casas que resistiam tanto para invernos rigorosos quanto para verões quentes (The Plan Collection, 2023). Portanto após ser modernizado com a nova visão de estilo, o sistema tornou-se mais atrativo comercialmente (DAHP Olympia, 2023).

No final da década, fabricantes de produtos de construção e associações comerciais que enriqueceram com a alta do mercado imobiliário com o surgimento do sistema construtivo em A, começaram a oferecer livros de planejamento do sistema com lista de materiais feitas com seus produtos. Uniram-se com construtores locais, madeireiros e lojas de ferragens para fornecer os kits pré-fabricados do sistema construtivo em A e os serviços de construção (Old House Journal, 2023).

De acordo com Randl (2004), um artigo sobre o primeiro kit do sistema estrutural em A produzido em massa afirmava que: “Embora a forma de tenda do sistema estrutural remonte aos tempos pré-históricos, os métodos e materiais utilizados para as novas construções são exclusivamente do século XX”. Outro artigo afirmou: “Na silhueta, o A-Frame de madeira, é impressionantemente uma relembração da antiga tenda indígena (figura 4), porém em todos os outros aspectos, é ultramoderno e bem adequado para férias”.

Figura 4: Tenda indígena



Fonte: Pinterest (2022)¹

Nesse sistema existe as vantagens e desvantagens para ser executados, segundo The Plan Collection (2023) as vantagens se dividem em:

- Fácil de construir com plantas de casas pré-desenhadas ou kits pré-fabricados;
- Um sistema forte e resistente;
- Adaptável e versátil;
- Estrutura confortável e de baixa manutenção;
- O sistema fornece muita luz natural no seu interior;
- São energeticamente eficientes e bons para o meio ambiente;
- Oferecem vista panorâmica do ambiente em volta.

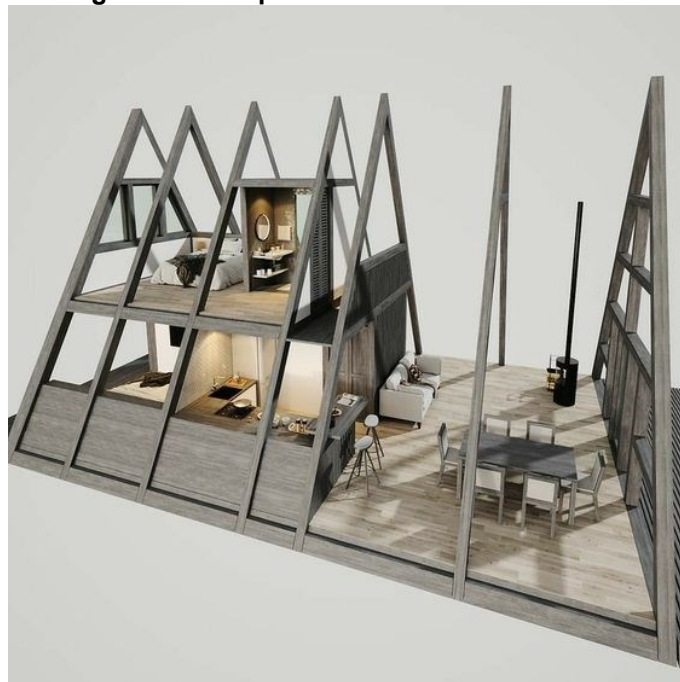
Já as desvantagens são poucas comparadas as vantagens, porém ainda existem como:

- O telhado diminui a área interna da casa;
- Falta de espaço de armazenamento convencional, como guarda-roupa e armários de parede;
- Não há paredes externas como das casas convencionais, a vista frontal e posterior são janelas ou portas;
- Pouca privacidade no mezanino.

O sistema construtivo em A é uma estrutura triangular com uma série de vigas que são unidas no topo e descem para o nível do piso principal em um ângulo de sessenta graus, formando um triângulo equilátero (figura 5). As vigas são conectadas entre si com CDE e põr fim às vigas do piso para formar o pórtico (Randl, 2004).

Com o objetivo de reforçar os pórticos, eles recebem uma viga de fechamento horizontal, também utilizada como a viga do piso para um mezanino de segundo nível (Randl, 2004). Normalmente esse tipo de estrutura possui dois andares de altura, utilizando como acesso ao segundo nível uma escada móvel (DAHP Olympia, 2022).

Figura 5: Exemplo sistema construtivo em A



Fonte: Pinterest (2022)²

Os projetos, na sua grande maioria, possuem grandes janelas nas suas fachadas frontal e posterior, espaços menores que o habitual e pequenas parcelas de paredes verticais (figura 6). Seu interior é composto por um conceito aberto entre a sala de estar/jantar e cozinha no piso principal, possui também um pequeno banheiro no nível mais baixo e um loft com cama no andar superior (DAHP Olympia, 2022).

É um sistema que pode ser construído de quase qualquer tamanho, pois a quantidade e as dimensões dos pórticos podem variar de acordo com o projeto em execução. Porém ao projetar um loft para dormir na parte superior da casa é necessário vigas de no mínimo 6 metros de comprimento, para que haja pé-direito adequado em ambos os andares (Mother Earth News, 2022).

Figura 6: Residência A-Frame

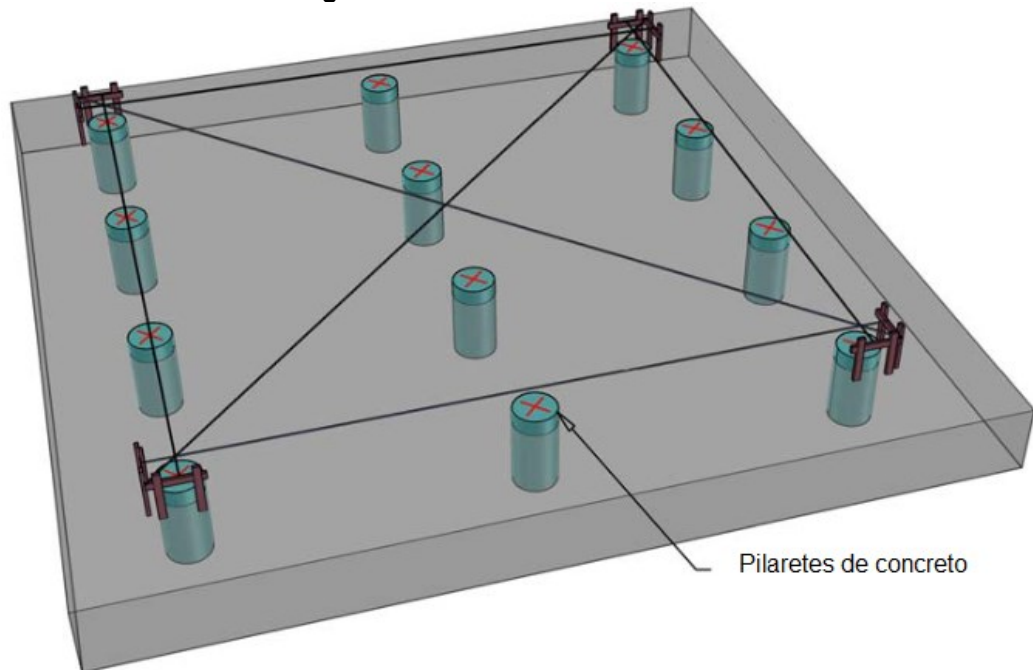


Fonte: Pinterest (2022)³

4.3 Como construir um sistema construtivo em A

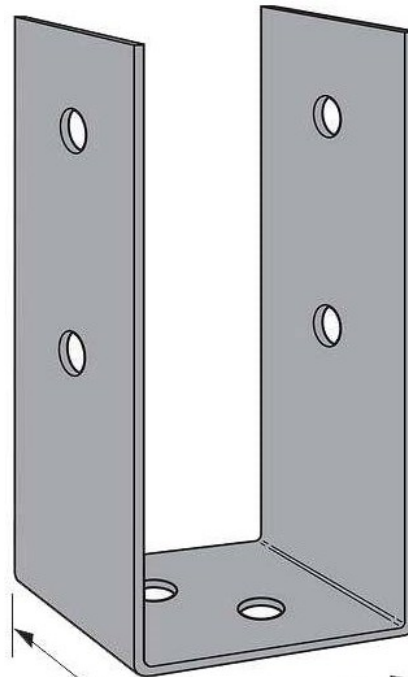
Para construir esse sistema estrutural primeiramente é necessário fazer o planejamento da estrutura. Sabe-se que a forma mais comum é executada com triângulos equiláteros, três vigas de tamanhos iguais de comprimento e ligadas entre si em ângulo de sessenta graus (Mother Earth News, 2022).

A realização da fundação para esse tipo de sistema industrializado pode ser feita de duas maneiras diferentes, a primeira é com pilaretes de concreto. Para a construção dos pilaretes são feitas as escavações profundas da fundação e posicionado um molde a fim de que o concreto fique 15 centímetros acima do solo, com o intuito de haja ventilação e a madeira não apodreça e assim é feita a colocação do concreto, certificando sempre que todos os pilaretes estão nivelados (figura 7) (The Diy Plan, 2023).

Figura 7: Pilaretes de concreto

Fonte: Adaptado de The Diy Plan (2023)

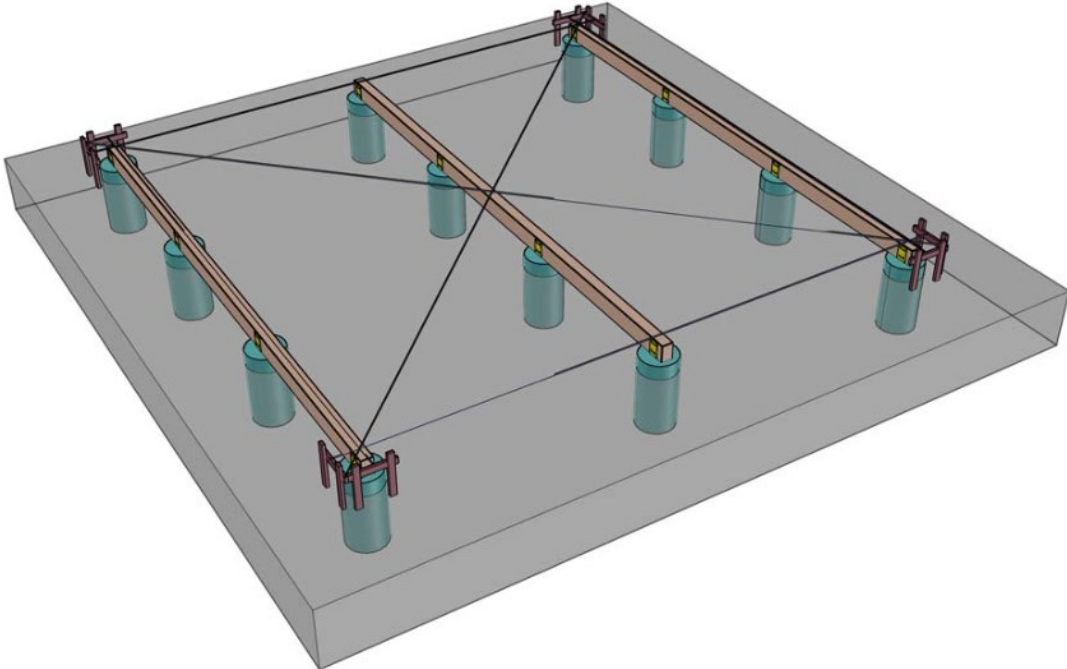
Após a cura do concreto são instalados conectores de aço no topo de cada um dos pilaretes (figura 8).

Figura 8: Conector metálico

Fonte: Ware Hoos (2023)

Em seguida da instalação dos conectores metálicos são instaladas as vigas de madeira finalizando as fundações (figura 9).

Figura 9: Fixação das vigas de madeira

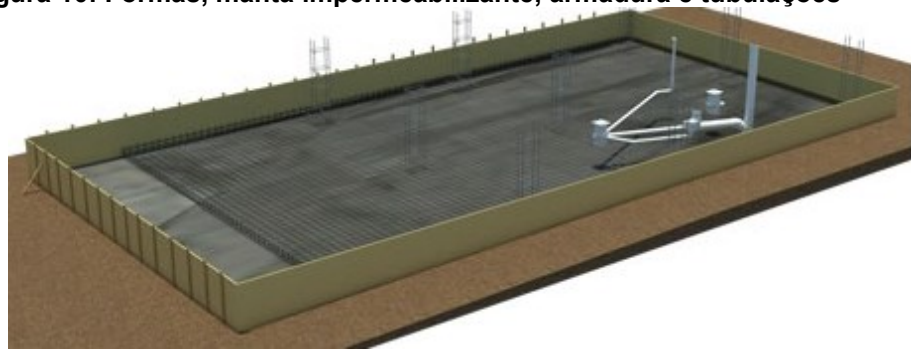


Fonte: The Diy Plan (2023)

A segunda maneira de fazer a fundação para essa estrutura é do tipo radier em concreto armado, que tem a estrutura semelhante a de uma laje concretada, constituída por telas ou malhas de aço (Carvalho; Figueiredo Filho, 2013).

Antes do início da execução é preciso dar atenção aos fatores que influenciam diretamente o desempenho do radier como o tipo de solo, a uniformidade do suporte da base, a qualidade do concreto, o tipo de espaçamento das juntas e o acabamento superficial. Ao ser executado o radier deve-se realizar a preparação do solo que consiste no nivelamento e compactação, logo após coloca-se formas nas quatro laterais fechando a área a ser concretada com uma altura entre 10 e 15 cm. As tubulações das instalações hidrossanitárias e os eletrodutos precisam já estar posicionadas no solo sob a placa, com saída através da laje e em seguida coloca-se uma manta plástica para isolar o terreno do concreto (figura 10) (Dória, 2007).

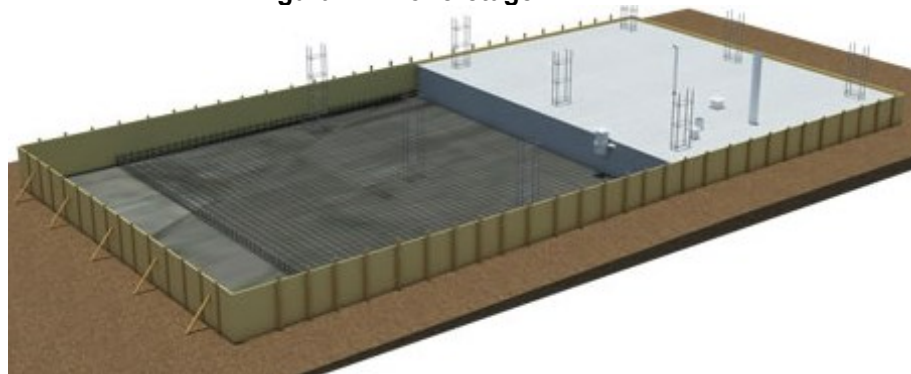
Figura 10: Formas, manta impermeabilizante, armadura e tubulações



Fonte: Construindo casas (2023)

Durante a execução, a concretagem e o acabamento superficial são tão importantes quanto a resistência do material, pois essas etapas trazem efeito considerável na camada fina da superfície superior do radier, evitando principalmente a aparição de fissuras (figura 11) (Dória, 2007).

Figura 11: Concretagem



Fonte: Construindo casas (2023)

Após a fundação e o projeto prontos e suas devidas dimensões já calculadas, é possível começar o corte das vigas. Para que os cortes sejam feitos, todos no ângulo correto, é necessário a montagem de uma mesa gabarito como mostra a figura 12 (Mother Earth News, 2022).

Para a construção dos pórticos utilizando a fundação tipo pilaretes a viga que servirá de base para o triângulo, piso da estrutura, é realizado um corte em sessenta graus nas duas extremidades. Já nas vigas que formarão o telhado, são feitos dois cortes, na extremidade que será ligada a viga do piso é efetuado um corte em sessenta graus e na outra extremidade o corte é no ângulo de trinta graus (The Diy Plan, 2022). Já para a construção utilizando a fundação tipo radier é necessário realizar o corte apenas nas vigas que servirá de telhado da estrutura, com os mesmos ângulos já mencionados.

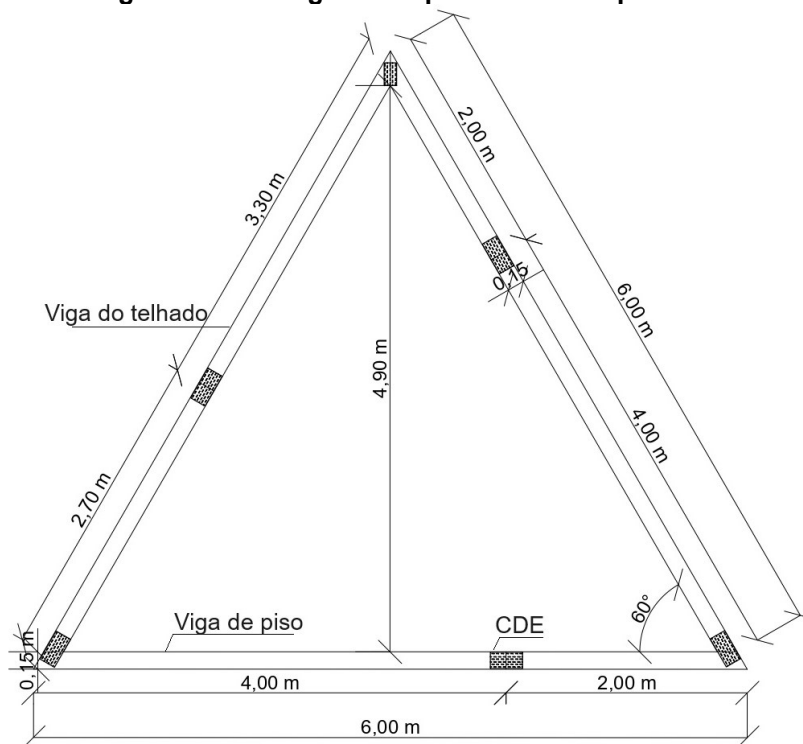
Figura 12: Ilustração da mesa gabarito para o corte das vigas



Fonte: Adaptado de Mother Earth News (2022)

Após todos os cortes é possível iniciar a montagem dos pórticos para a fundação do tipo pilaretes, mostrada na figura 13.

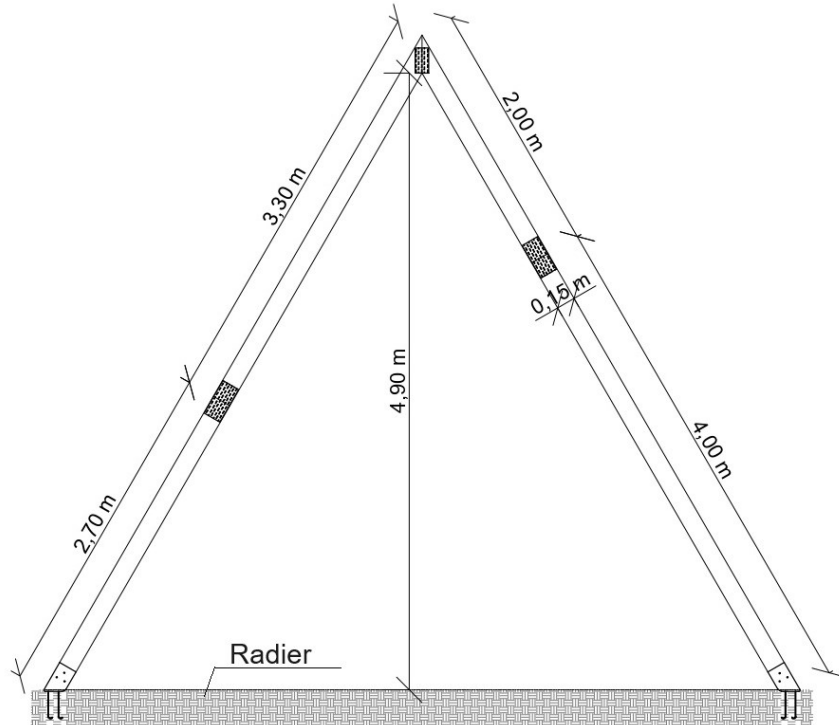
Figura 13: Montagem dos pórticos sobre pilaretes



Fonte: Autoria própria (2023)

Após os cortes é possível iniciar a montagem dos pórticos para a fundação do tipo radier, mostrado na figura 14.

Figura 14: Montagem do pórticos sobre radier

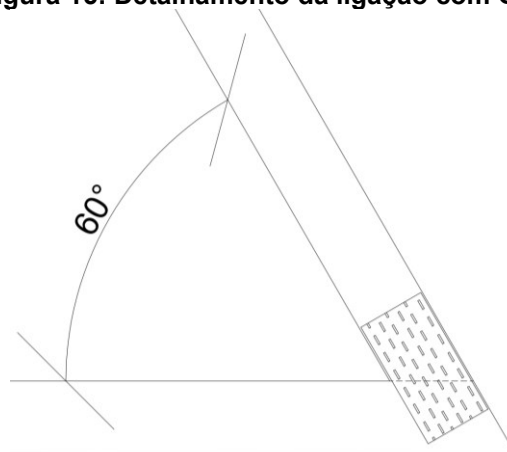


Fonte: Autoria própria (2023)

Iniciando esse processo, são alinhadas as extremidades das duas vigas do telhado, cortadas no ângulo de trinta graus, posicionada uma CDE e realizado a respectiva prensagem, formando assim a cumeeira do telhado (The Diy Plan, 2022).

Em seguida para a fundação tipo pilaretes a viga do piso é posicionada sob as vigas do telhado formando um ângulo de sessenta graus, e para fazer a ligação também é utilizada uma CDE em cada lado (figura 15) (The Diy Plan, 2022).

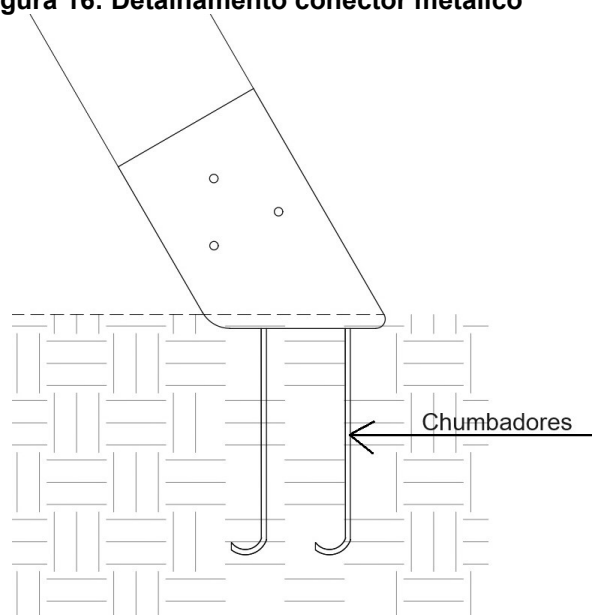
Figura 15: Detalhamento da ligação com CDE



Fonte: Autoria própria (2023)

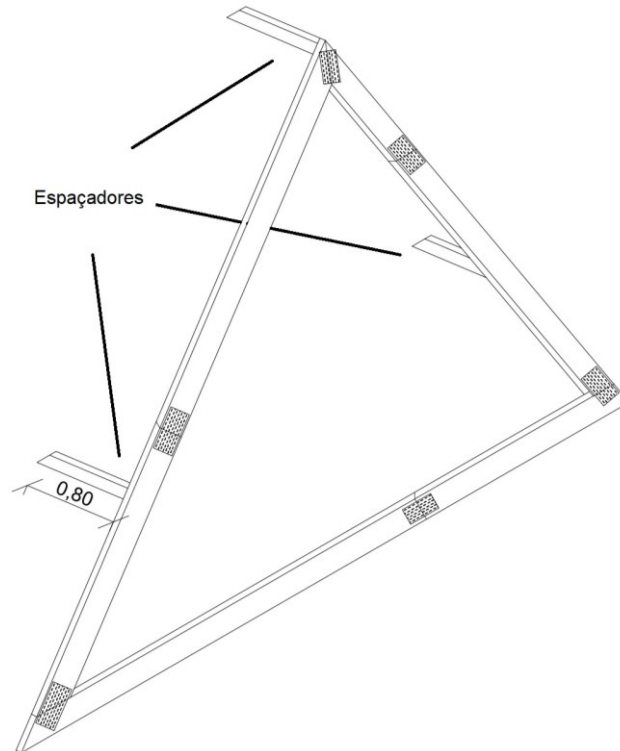
No radier é necessário um conector metálico para realizar a ligação entre a madeira e o concreto, como mostrado na figura 16.

Figura 16: Detalhamento conector metálico



Fonte: Autoria própria (2023)

Antes de começar a erguer os pórticos é necessário colocar espaçadores, que são elementos de madeiras utilizadas para fazer a conexão de um pórtico a outro, em três pontos, um na cumeeira do telhado e os outros dois numa altura de 2 metros do piso, como mostra a figura 17 (The Day Plan,2022).

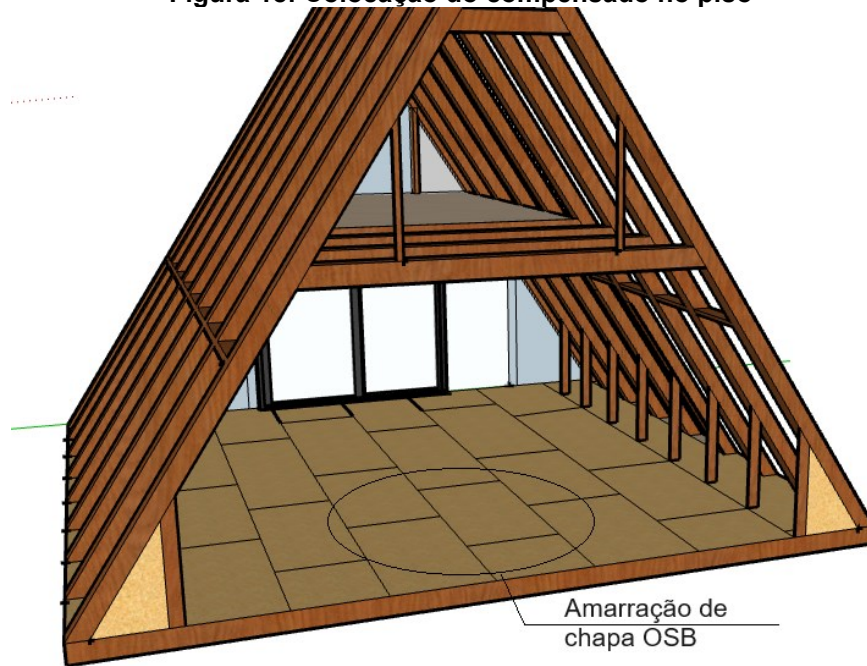
Figura 17: Fixação dos espaçadores

Fonte: Autoria própria (2023)

Para que o pórtico seja erguido, é necessário fixá-lo à fundação, prendendo as vigas de piso nas vigas suportes, presas aos blocos de concreto da fundação. Para a realização de fixação temporária do pórtico é necessário utilizar contraventamento temporário até ser fixo definitivamente (The Diy Plan, 2022).

Para a colocação do piso em fundação tipo pilaretes devem ser instaladas as chapas OSB, que precisam ser posicionadas de modo que suas extremidades estejam sobre o meio das vigas de piso, certificando-se de que os espaçadores estejam sob o meio das chapas. A fixação das mesmas é feita com parafusos (figura 18) (The Diy Plan, 2022).

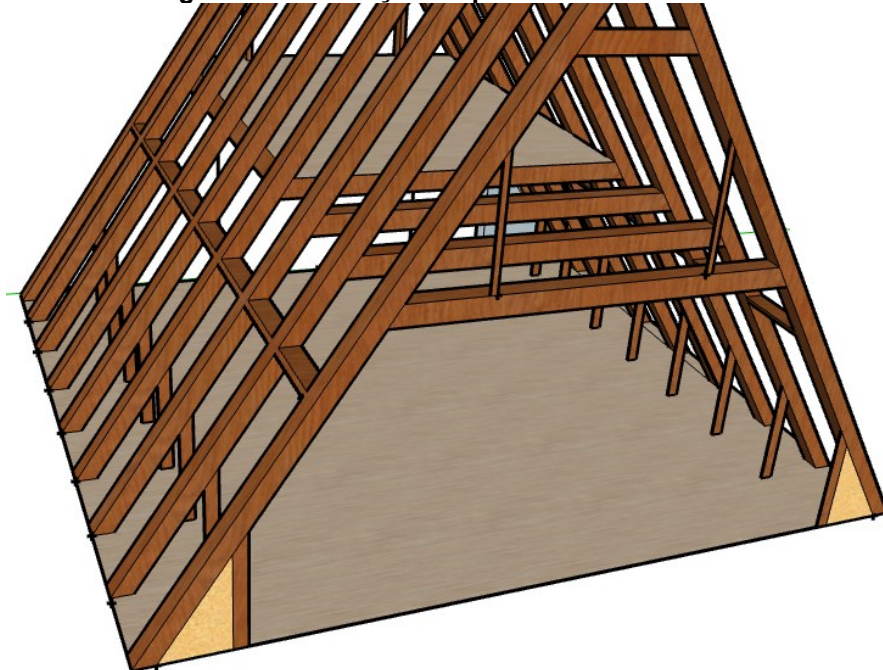
Figura 18: Colocação do compensado no piso



Fonte: Autoria própria (2023)

Após a colocação das chapas OSB, para melhor acabamento do piso é feita a instalação do piso laminado (figura 19), assim como na fundação tipo radier onde é feito o contrapiso e a instalação de piso laminado ou cerâmico.

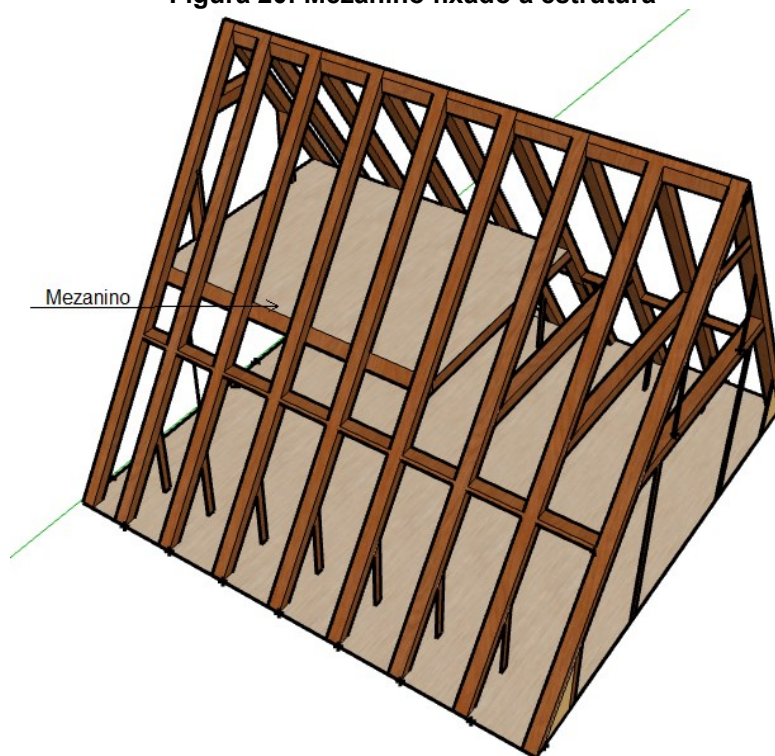
Figura 19: Colocação do piso laminado



Fonte: Autoria própria (2023)

Para construir o mezanino, o travamento a meia altura é feito com uma viga de madeira serrada de seção transversal 2" X 6" (50x150mm) com um comprimento mínimo de 1,40 metros, com as extremidades cortadas no ângulo de sessenta graus. As peças devem ser posicionadas ao longo de uma distância de no mínimo 2,20 metros, considerando a distância inicial o final do pórtico, a um pé direito de 2,15 metros e conectadas ao telhado do pórtico utilizando parafusos, formando a estrutura do piso do segundo andar, e usando o mesmo método de instalação do piso principal, são instaladas as chapas de OSB no piso superior (figura 20) (The Diy Plan, 2022).

Figura 20: Mezanino fixado à estrutura



Fonte: Autoria própria (2023)

Ao finalizar a estrutura, as portas e janelas da frente e do fundo devem ser devidamente instaladas, de acordo com a geometria final do pórtico e também é instalado o beiral de 60 cm, utilizando técnicas construtivas do Wood-Frame (figura 21).

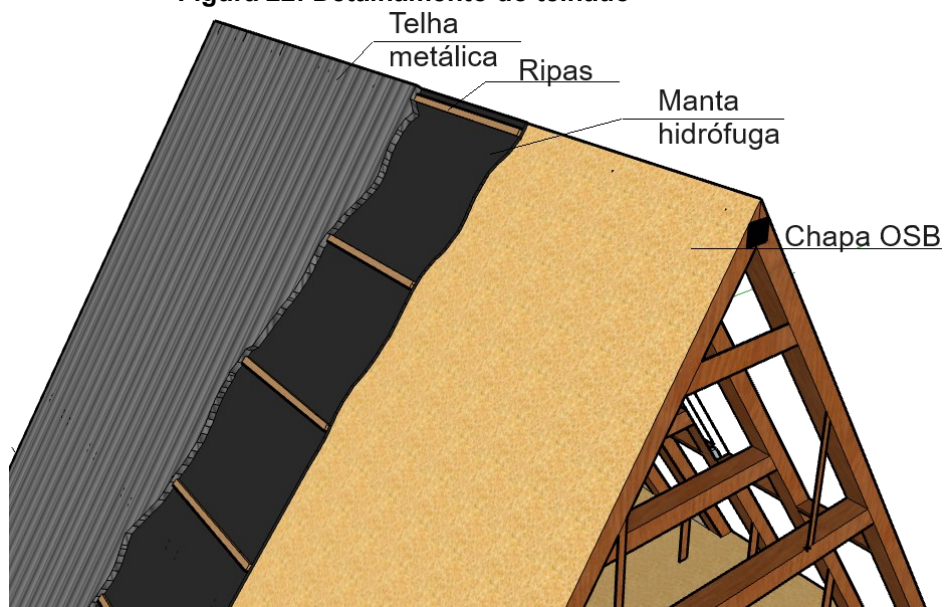
Figura 21: Instalação das portas e janelas



Fonte: Autoria própria (2023)

O telhado é construído com chapas de OSB e telhas, sendo de fibrocimento, metálicas ou asfálticas, e colocar entre as chapas e as telhas a manta de hidrófuga, utilizada para proteger a estrutura da umidade. Para a colocação das telhas é preciso instalar ripas de madeira (2,5x5,0cm) sobre a manta espaçadas em função do tipo da telha (figura 22).

Figura 22: Detalhamento do telhado



Fonte: Autoria própria (2023)

Assim como no sistema Wood-Frame, as tubulações das instalações hidrossanitárias são colocadas entre um pórtico e outro, pois o telhado funciona como um *shaft* (Pereira, 2015). Por ser um sistema simples de ser executado, não tem caixa d'água prevista no projeto, portanto toda a instalação hidrossanitária será utilizando a rede urbana e pelas laterais da edificação, onde encontra-se o banheiro e a cozinha, facilitando a construção também da rede de esgoto. Caso haja necessidade de instalação de caixa d'água, esta deve ser instalada ao lado da casa. Já os fios da parte elétrica podem ser instalados entre um montante e outro, a figura 23 mostra como ficaria a parte de iluminação e também tomadas e disjuntores.

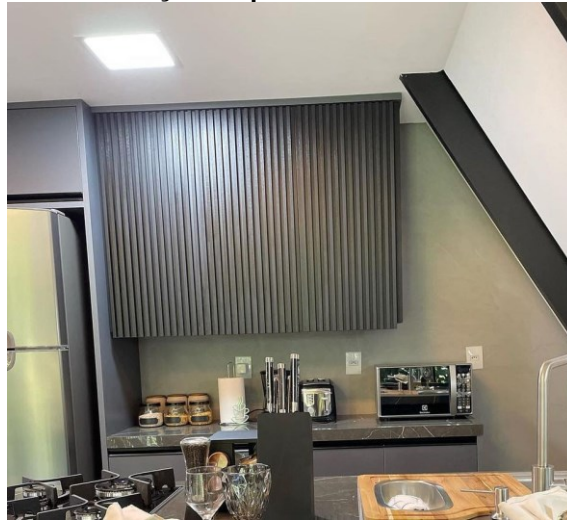
Figura 23: Iluminação entre os montantes



Fonte: Pousadas top (2023)

A parte elétrica também pode ser instalada na parte inferior do mezanino, onde fica o teto da cozinha, a figura 24 ilustra como ficaria a iluminação.

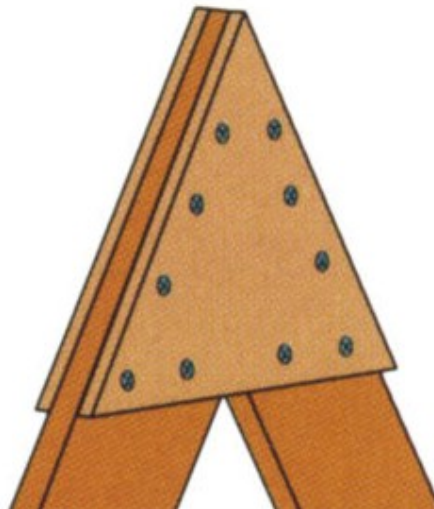
Figura 24: Iluminação na parte inferior do mezanino



Fonte: Pousadas top (2023)

As ligações por CDE nesse tipo de estrutura tornam-se mais práticas que as ligações convencionais com parafusos. Na ligação convencional é necessário realizar furos na madeira de acordo com o diâmetro do parafuso a ser utilizado e também é preciso colocar uma chapa de reforço em formato de triângulo na cumeeira do telhado, mostrado na figura 25.

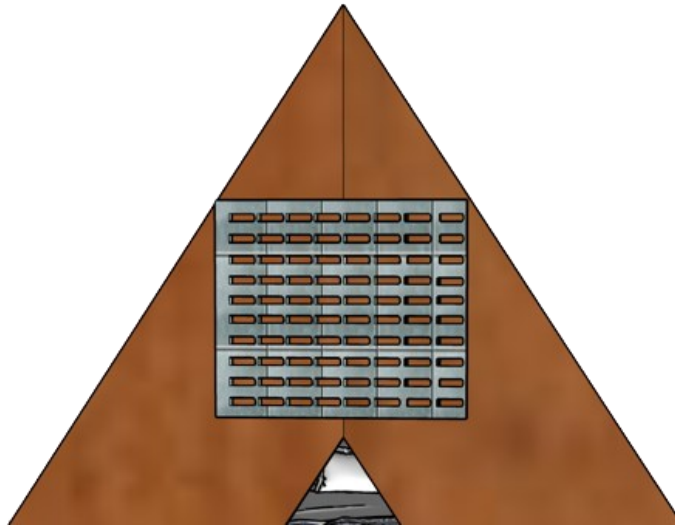
Figura 25: Exemplo de ligação convencional com parafusos



Fonte: Mother Earth News (2022)

Nas ligações feitas com CDE não há necessidade de utilização de chapas de reforço. As CDEs são prensadas diretamente nas vigas de madeira, eliminando a necessidade de detalhes complicados como entalhes, cavilhas, pregos e parafusos na ligação (figura 26) (Martins, 2007).

Figura 26: Ilustração de ligação com CDE



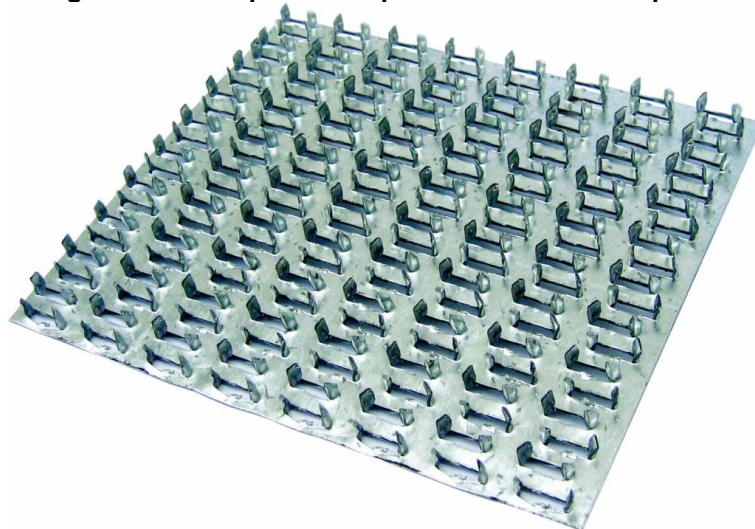
Fonte: Aatoria própria (2023)

4.4 Chapa com dentes estampados (CDE)

Para o desenvolvimento internacional da indústria das estruturas de madeiras, um dos grandes responsáveis tem sido o emprego das CDE (figura 27) na produção de estruturas treliçadas para cobertura (Carvalho, 2002).

O sistema é composto por ligações e fixações de elementos de madeira através de cobrejuntas metálicas, como mostra a figura 28, projetada para maximizar sua resistência em função das condições de trabalho solicitada por esforços de tração, compressão, flexão e cisalhamento (Carvalho, 2002).

Figura 27: Exemplo de chapa com dentes estampados



Fonte: Gang Nail do Brasil (2022)

As chapas foram criadas a fim de que houvesse uma alternativa econômica para confecções de coberturas, conseqüentemente tornando-as mais leves, diminuindo assim a dificuldade na montagem das estruturas e melhorando a qualidade do produto final (GANG-NAIL DO BRASIL, 2022).

Figura 28: Estrutura de cobertura executada com CDEs



Fonte: Santos Madeira (2022)

O sistema permite o desenvolvimento de geometrias variadas em estruturas de madeira, aumentando a flexibilidade de criação em projetos e também reduz seus custos se comparado com o método convencional. Outras qualidades a serem citadas é a eficiência e rapidez na montagem, tendo a otimização do tempo e espaço e uma diminuição na perda de material (GANG-NAIL DO BRASIL, 2022).

Originalmente, quando surgiu a ideia de utilizar chapas metálicas para fazer ligações, eram feitos furos em uma chapa de aço e para fixar eram colocados pregos um a um em cada furo, tornando um trabalho mais demorado e artesanal.

As CDEs têm espessuras menores e maior resistência, dispensam a exigência de pregos ou parafusos de diâmetro e peso elevados e evitam que a madeira rache (Carvalho, 2002).

O processo de ligação consiste em colocar peças na posição a serem ligadas, posicionar a CDE e realizar a respectiva prensagem, possibilitando a produção em larga escala e mais rápida, colaborando com a justificativa da ideia da industrialização das estruturas de madeira na construção civil (Carvalho, 2002).

Segundo Baraldi (1996), as características que mais se destacam nas estruturas de madeira para telhados fabricadas com CDE são:

- Redução do peso da estrutura em até 40% com relação ao sistema tradicional, sem projetos elaborados por profissionais da engenharia;
- Alívio nas cargas concentradas nas treliças, devido ao menor espaçamento entre as mesmas, e também nas fundações por conta da diminuição do peso próprio da estrutura devido ao menor consumo de material;
- Facilidade na instalação de equipamentos em função do menor espaçamento das treliças;
- Melhor aproveitamento de material;
- Qualidade técnica dos projetos;
- Industrialização;
- Controle de qualidade;
- O sistema apresenta um bom desempenho estrutural para vãos de até 20 metros;
- São utilizadas seções transversais mais esbeltas nas ligações com CDE, colaborando para o uso mais racional da madeira de reflorestamento.

Segundo ANSI/TPI (1995), apud Calil e Molina (2010), a resistência das ligações por CDE é definida pelo escoamento da chapa metálica ou pelo início do arrancamento dos dentes, ou qualquer fenômeno de ruptura da madeira. A ruptura da madeira, de maneira geral, ocorre por três fatores principais: anatômicos, ambientais e de utilização. Já a ruptura na chapa está relacionada ao embutimento da mesma na madeira, bem como à resistência da chapa.

4.5 Resistência e rigidez das ligações por CDE

É reconhecida qual a importância da resistência de uma ligação em um projeto estrutural, porém esse fato não acontece com a rigidez da mesma. A teoria clássica das estruturas considera as ligações ou perfeitamente rígidas, transmissoras de momento fletor, ou inexistentes, perfeitamente articuladas. Assim a deformação das ligações não é considerada na análise estrutural tradicional (Santana, 2002).

As ligações deformáveis, que é o caso das ligações com CDE, são consideradas semirrígidas, por conta do seu comportamento intermediário entre rígida e articulada, o que influencia no comportamento estrutural. Geralmente essa influência

não é considerada no cálculo estrutural e para a realização dos mesmos são considerados apenas ligações perfeitamente rígidas ou perfeitamente articuladas (Santana, 2002).

Pedroso (2017) estudou as ligações feitas com CDE e concluiu que a mesma exerce pequena influencia no comportamento estrutural, com uma diferença de 4,3%, quando comparado com ligações rígidas, sendo considerado os deslocamentos máximos.

Em Baraldi (1996), a partir das normas inglesa BS 6948 e estadunidense ANSI/TPI1 foram estudados três modos básicos para a determinação da resistência e da rigidez da chapa com dentes estampados que são: tração da chapa, cisalhamento e arrancamento da chapa, fazendo a variação da direção da chapa em relação as fibras da madeira. Para adequar-se o conector a madeira brasileira foram utilizadas cinco espécies diferentes nos ensaios, sendo duas de reflorestamento e três nativas. O método proposto foi incorporado à norma, Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 7190:1997.

Atualmente na norma em vigor, Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT 7190:2022, a resistência de cálculo atribuída às CDEs, deve ser assegurada pelos respectivos fabricantes. Portanto para ser estudada a resistência e a rigidez das mesmas é necessário a realização dos ensaios de acordo com a configuração do projeto que será executado.

4.6 Dimensionamento das ligações por CDE

A norma europeia CEN EN 1995-1-1:2004 apresenta um critério de dimensionamento para as ligações com CDE (Pedroso, 2017), porém como mencionando anteriormente, a norma em vigor ABNT NBR 7190:2022, indica que a resistência de cálculo das CDE deve ser apresentada pelos fabricantes.

Ujvari (1983), apud Martins (2007), desenvolveu alguns métodos e observações que devem ser levados em consideração em relação ao dimensionamento das CDEs. Ao realizar as conexões, as CDEs devem ser colocadas em duplas nas ligações, isto é, uma de cada lado na mesma posição, sendo elas de características e propriedades iguais, de maneira que a seção líquida do aço e o número de dentes sejam suficientes para resistir aos esforços solicitantes nos nós, sem existir possibilidade de arrancamento, cisalhamento ou tração dos dentes da CDE.

Para a consideração dos cálculos da quantidade total de dentes por ligação, o autor definiu que é a razão da força de tração da peça pela resistência ao arrancamento nas chapas (equação 1). Como as ligações são feitas sempre utilizando uma chapa de cada lado da madeira, ou seja, cada ligação utiliza uma dupla de chapa, o número total de dentes necessários por conector é a metade do número total.

$$n^{\circ} \text{ total de dentes} = \frac{\text{força de tração}}{2 \times \text{resistência de arrancamento}} \quad (1)$$

Já em relação a dimensão da chapa, o autor definiu que é a razão da força de tração e cisalhamento, pela resistência à tração ou cisalhamento da mesma (equação 2). Os esforços cisalhantes devem ter-se como valor da resistência uma atuação em 0°.

$$\text{dimensão das chapas} = \frac{\text{força atuante}}{\text{resistência à tração ou cisalhamento}} \quad (2)$$

Para a utilização das equações apresentadas é necessário saber quais as resistências de cálculo para um projeto usando duas CDE, sendo assim a tabela 1 apresenta os valores de resistência à tração e cisalhamento de um fabricante.

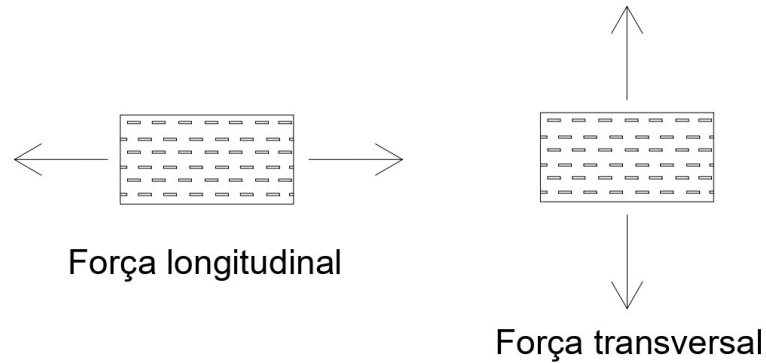
Tabela 1: Resistências à tração e cisalhamento

Dimensão conector	Esforço	Direção	Força (N/mm)
Largura	Tração (ftd)	Longitudinal $\alpha = 0^{\circ}$	343,23
	Cisalhamento (fvd)	Transversal $\alpha = 90^{\circ}$	205,94
Comprimento	Tração (ftd)	Transversal $\alpha = 90^{\circ}$	147,10
	Cisalhamento (fvd)	Longitudinal $\alpha = 0^{\circ}$	88,26

Fonte: Adaptado Boletim técnico Gang Nail (2017)

Para melhor entendimento da tabela 1 foi ilustrado as direções de esforço normal de tração, mostrado na figura 29.

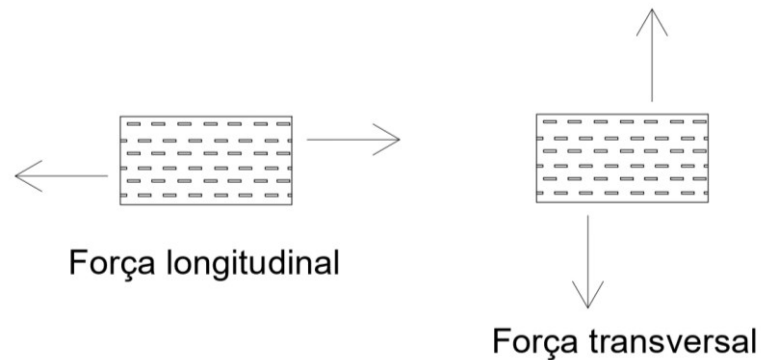
Figura 29: Ilustração das direções de esforço normal de tração



Fonte: Autoria própria (2023)

Para ilustrar as direções de esforço cisalhante apresentadas na tabela 1 também, foi ilustrado na figura 30.

Figura 30: Ilustração das direções de esforço cisalhante



Fonte: Autoria própria (2023)

A tabela 2 mostra os valores da resistência ao arrancamento por dente do conector, correspondente a cada classe de resistência segundo o fabricante.

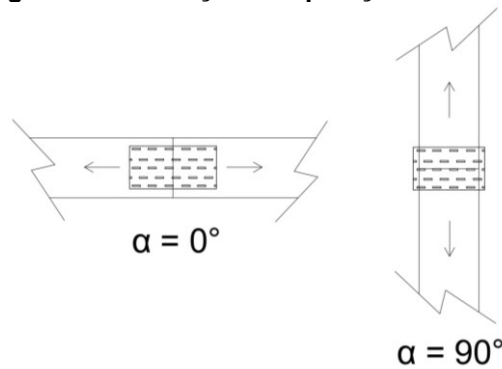
Tabela 2: Resistência ao arrancamento

Classe	Por dente de conector 0° (N)	Por dente de conector 90° (N)
C20	49,03	29,42
C25	58,84	39,23
C30	78,45	49,03
C40	117,68	88,26
C60	156,91	117,68

Fonte: Boletim técnico Gang Nail (2017)

A fim de entender melhor a tabela, a figura 31 ilustra a posição das chapas.

Figura 31: Ilustração das posições da chapa



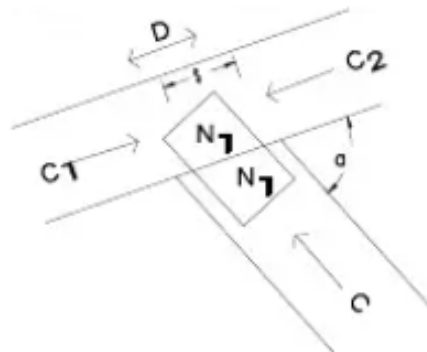
Fonte: Boletim técnico Gang Nail (2017)

Para os cálculos do conector de união de banço com um membro interno, segundo o Boletim Técnico Gang Nail (2017), o conector deve ser colocado em uma posição simétrica de maneira que haja o mesmo número de dentes no banço e no membro interno, sendo ele tracionado ou comprimido. É recomendado que para $\alpha < 60^\circ$ ou $\alpha > 120^\circ$ considerar o esforço de compressão total.

- Membro interno comprimido

Os valores considerados nos cálculos são as seguintes forças ilustradas na figura 32:

Figura 32: Forças consideradas nos cálculos



Fonte: Boletim Técnico Gang Nail (2017)

O número de dentes N_1 será o maior entre as equações 3 e 4, descritas a seguir.

$$N_1 = \frac{\text{força comp. } C1 - \text{força comp. } C2}{2 \times \text{resistência ao arrancamento}} \quad (3)$$

$$N_1 = \frac{C \times 0,5}{2 \times \text{resistência ao arrancamento}} \quad (4)$$

Multiplica-se por 0,5 a equação 4, pois uniões ajustadas que suportam força de compressão podem considerar que apenas 50% desta força é transmitida do contato madeira-madeira (Boletim Técnico Gang Nail, 2017)

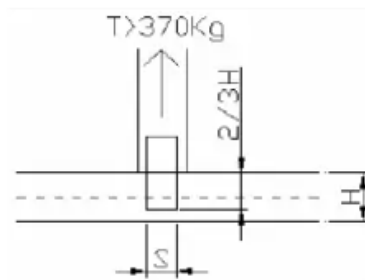
$S \geq$ Comprimento de cisalhamento necessário

$$S \geq \frac{\text{força comp. C1} - \text{força comp. C2}}{2 \times \text{resistência ao cisalhamento}} \quad (5)$$

- Membro interno tracionado

A figura 33 mostra a força de tração a ser utilizada e o número de dentes N_1 é definido pela equação 6.

Figura 33: Força de tração



Fonte: Boletim Técnico Gang Nail (2017)

$$N_1 = \frac{\text{força tração}}{2 \times \text{resistência ao arrancamento}} \quad (6)$$

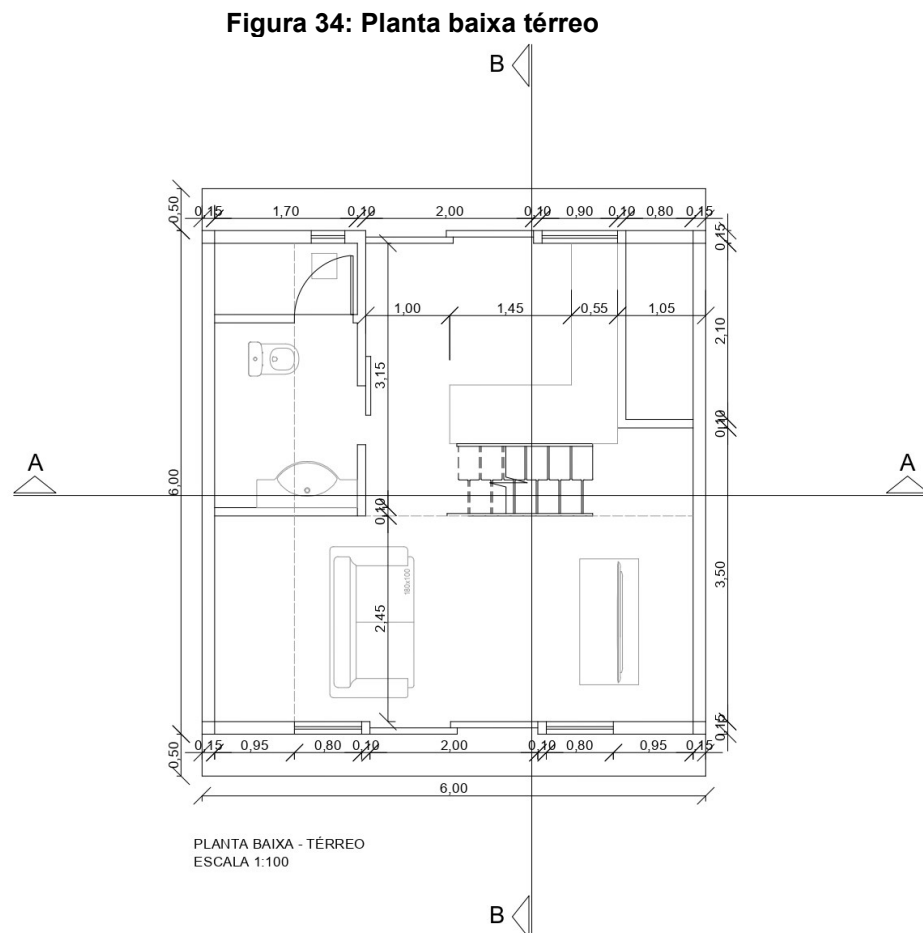
$$S \geq \frac{\text{força tração}}{2 \times \text{resistência a tração}} \quad (7)$$

5 DESENVOLVIMENTO

Ao iniciar o estudo do projeto levou-se em consideração diversos fatores para a realização das combinações necessárias com a finalidade de execução do dimensionamento, como a fundação do tipo radier, a atuação do vento na estrutura, o peso próprio da madeira, da telha sanduíche, da chapa OSB e do piso laminado e a carga accidental.

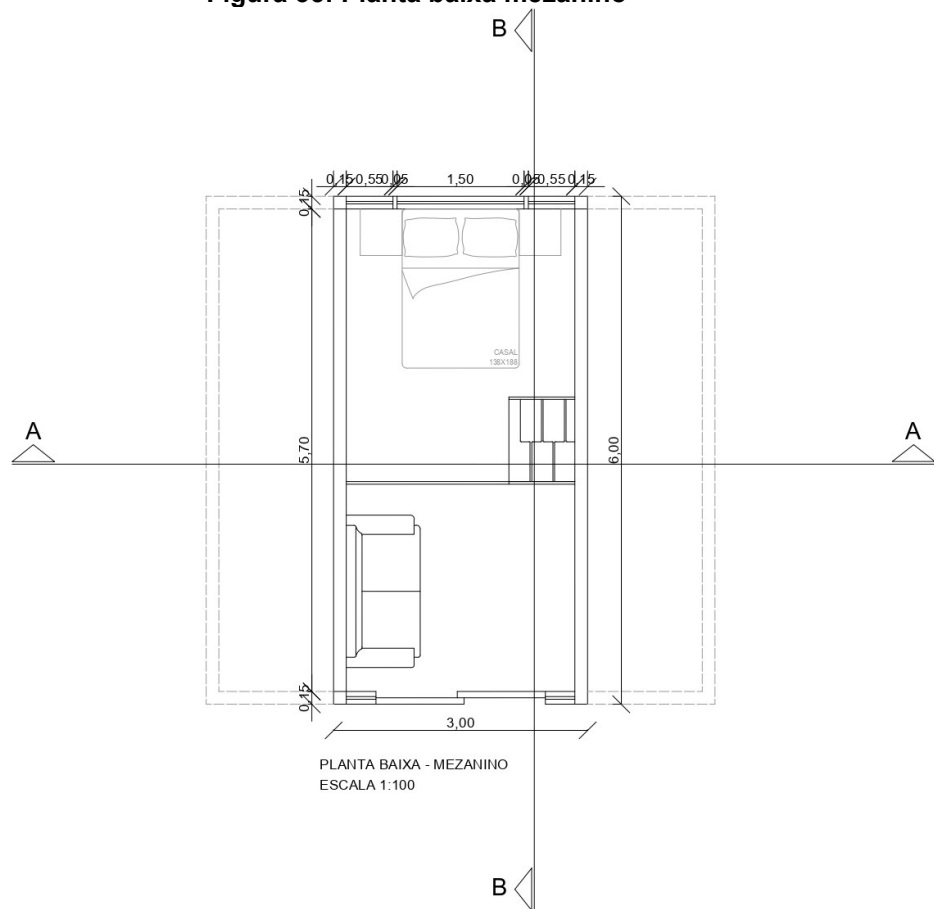
5.1 Projeto arquitetônico

Neste item será apresentado o projeto arquitetônico do sistema construtivo A-Frame que auxiliou na análise do dimensionamento estrutural. A figura 34 mostra a planta baixa do térreo, nele possui uma sala em conceito aberto com a cozinha e também o único banheiro da residência.



Fonte: Autoria própria (2023)

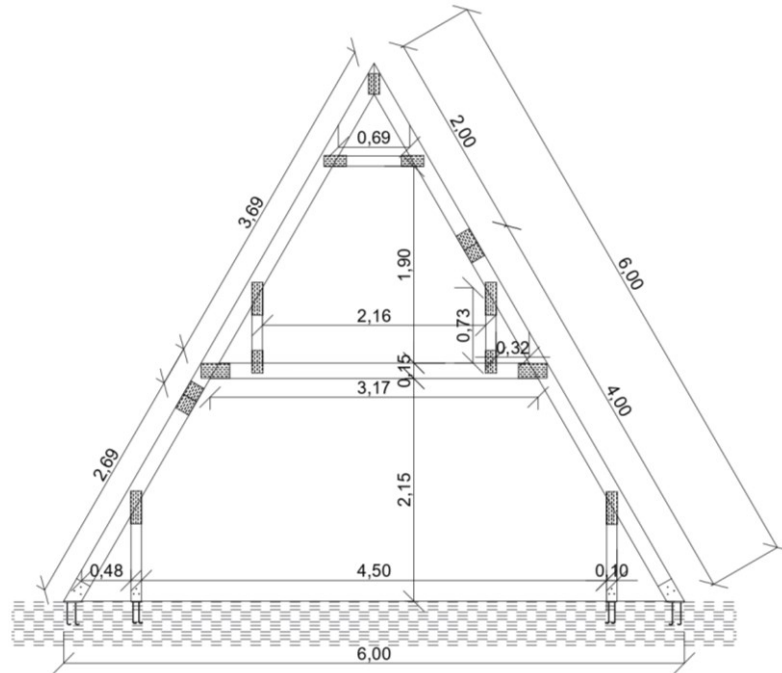
A figura 35 apresenta a planta baixa do mezanino, onde é possível colocar uma cama de casal e dois armários pequenos ao lado da cama.

Figura 35: Planta baixa mezanino

Fonte: Autoria própria (2023)

A estrutura do sistema foi desenvolvida de acordo com a atuação do vento, portanto a estrutura final é mostrada na figura 36.

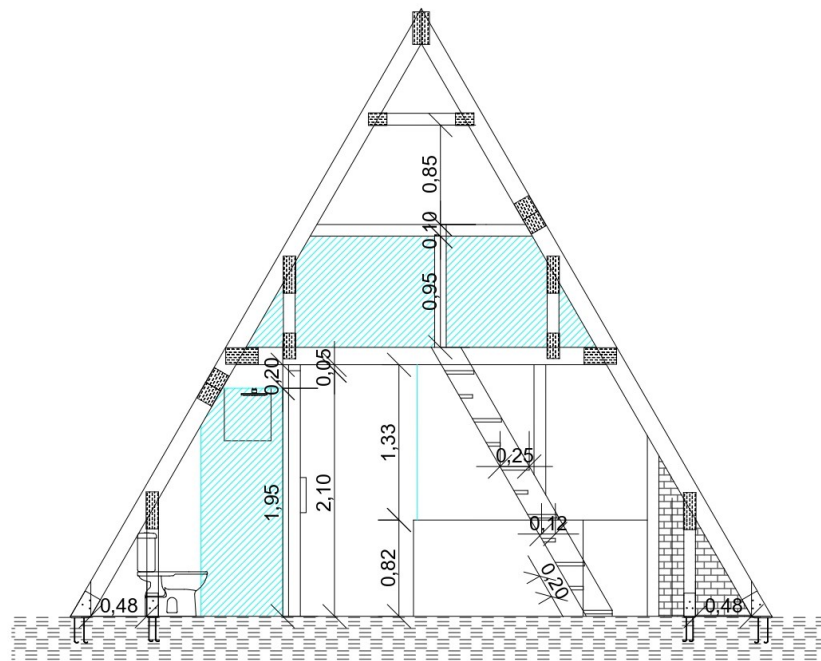
Figura 36: Pórtico da estrutura



Fonte: Autoria própria (2023)

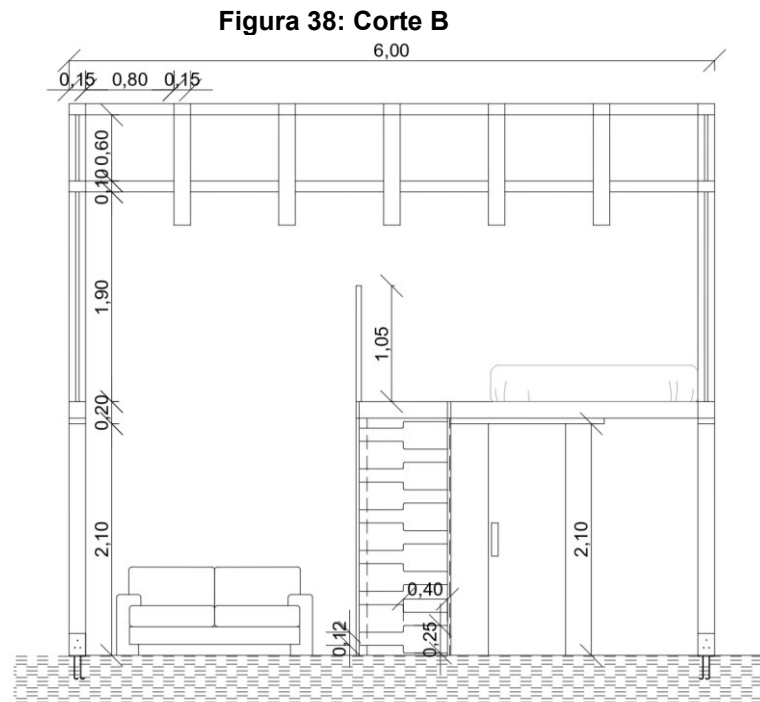
Também foi feito os desenhos dos cortes da estrutura para melhor visualização das plantas baixas, a figura 37 mostra o corte A localizado na visão principal da residência.

Figura 37: Corte A



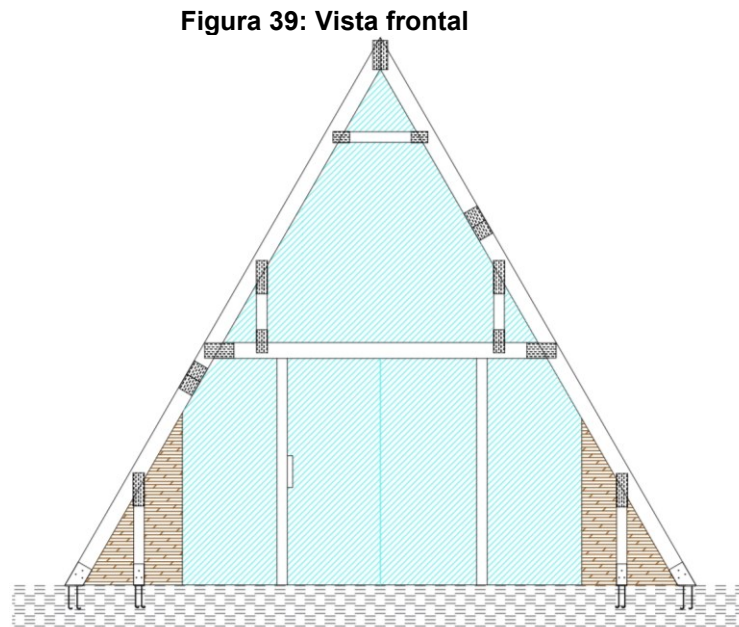
Fonte: Autoria própria (2023)

A figura 38 apresenta o corte B que é localizado na visão lateral da estrutura.



Fonte: Autoria própria (2023)

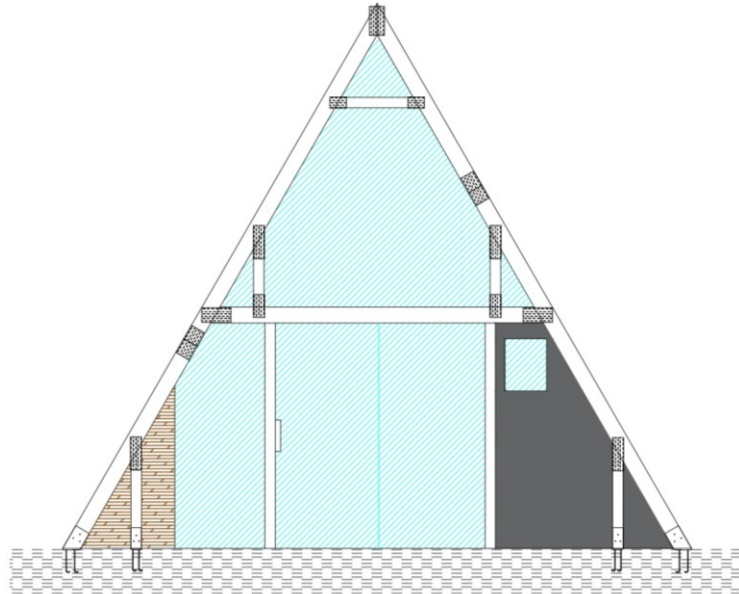
Por fim foi desenhado também as vistas, tanto frontal quanto posterior, a vista frontal é demonstrada na figura 39.



Fonte: Autoria própria (2023)

A vista posterior pode ser observada na figura 40.

Figura 40: Vista posterior



Fonte: A autoria própria (2023)

5.2 Análise do vento

O estudo em relação a atuação do vento na estrutura foi realizado com o auxílio da ABNT NBR 6123:1988 e assim retirados os seguintes dados apresentados na tabela 3.

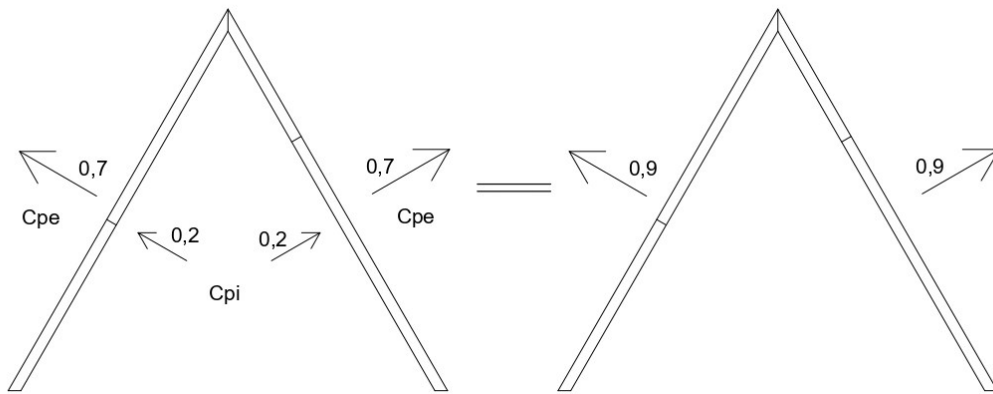
O coeficiente de pressão externa (C_{pe}) é definido conforme a altura e o ângulo do telhado da edificação, já o coeficiente de pressão interna (C_{pi}) é analisado devido as aberturas da edificação, como o projeto simulado possui aberturas tanto na parte frontal como na parte posterior, foi utilizado o item da norma onde é considerado que a edificação possui duas faces opostas igualmente permeáveis e as outras faces impermeáveis.

Tabela 3: Coeficientes do vento

Vento	Lado	C_{pe}	C_{pi}	Δ_{cp}
Vento 0°	Esquerdo	-0,7	+0,2	-0,9
Vento 0°	Direito	-0,7	+0,2	-0,9
Vento 90°	Esquerdo	-0,6	-0,3	-0,3
Vento 90°	Direito	+0,7	-0,3	+1,0

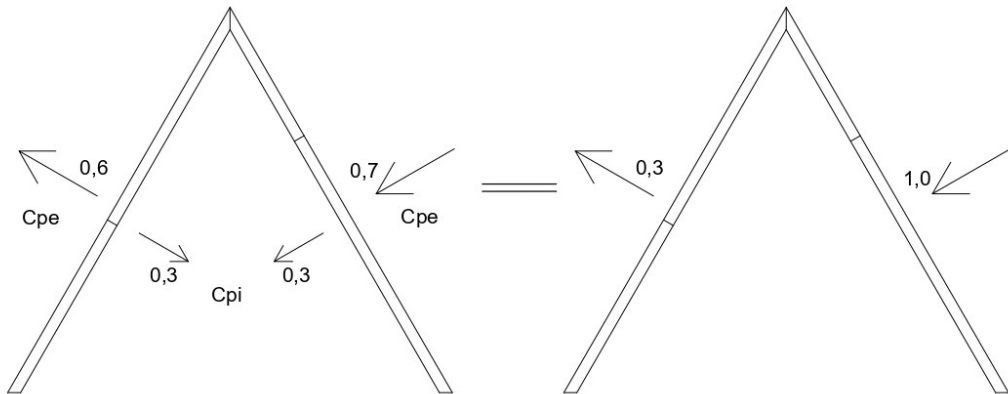
Fonte: Adaptado ABNT NBR 6123:1988

A fim de melhor visualização dos dados apresentados na tabela, foi ilustrado na figura 41 como o vento 0° age na estrutura.

Figura 41: Demonstração vento 0°

Fonte: Autoria própria (2023)

A figura 42 demonstra como o vento 90° age na estrutura.

Figura 42: Demonstração vento 90°

Fonte: Autoria própria (2023)

Para ser considerados nos cálculos do projeto, os coeficientes do vento devem ser calculados utilizando as equações 8 e 9:

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (8)$$

$$q = 0,613 \times V_k^2 \quad (9)$$

Com o auxílio do *software* Ciclone, os coeficientes encontrados foram:

$$V_0 = 45,00 \text{ m/s}$$

$$S_1 = 1,00$$

$$S_2 = 0,65$$

$$S_3 = 1,10$$

Calculando a carga q resultou em um valor de $634,6 \text{ N/m}^2$, com essa carga pode-se calcular as cargas distribuídas características de cada vento utilizando a seguinte equação 10:

$$q_k = q \times \Delta_{cp} \times \text{distância entre pórticos} \quad (10)$$

Sendo assim para o vento 0° terá:

$$q_k = 634,6 \times (-0,9) \times 0,8 = -456,91 \text{ N/m}$$

$$q_k = 634,6 \times (-0,9) \times 0,8 = -456,91 \text{ N/m}$$

Para o vento 90° terá:

$$q_k = 634,6 \times 1,0 \times 0,8 = 507,68 \text{ N/m}$$

$$q_k = 634,6 \times (-0,3) \times 0,8 = -152,30 \text{ N/m}$$

5.3 Peso próprio por pórtico e carga accidental

Para o cálculo do peso próprio de cada pórtico foram considerados alguns fatores, sendo eles:

- Madeira de reflorestamento classe C35 (0,05 m X 0,15 m);
- Telha sanduíche de 30mm de espessura;
- Chapa OSB de 15mm de espessura no telhado e no piso do mezanino;
- Piso laminado.

Para calcular o peso próprio do pórtico foi dividido em duas etapas, sendo a primeira calcular o peso de cada elemento e fazendo a conversão de unidade para N/m e a segunda somar os resultados obtidos para cada parte da estrutura chegando assim no valor desejado.

- Primeira etapa

- Madeira por pórtico:

$$g_{mad,k} = 3 \times (6 \times 0,15 \times 0,05) + (4,3 \times 0,15 \times 0,05) \quad (11)$$

$$= 0,1673 \text{ N/m}$$

$$g_{mad,k} = 0,15\text{m} \times 0,05\text{m} \times 480 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \quad (12)$$

$$= 35,32 \text{ N/m}$$

- Telha sanduíche:

$$g_{telha,k} = 3,77 \text{ kg/m}^2 \times 0,8\text{m} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 29,59 \text{ N/m} \quad (13)$$

- Chapa OSB

$$g_{OSB,k} = 9,65 \text{ kg/m}^2 \times 0,8\text{m} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 75,73 \text{ N/m} \quad (14)$$

- Piso laminado

$$g_{piso,k} = 3,5 \text{ kg/m}^2 \times 0,8\text{m} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 27,47 \text{ N/m} \quad (15)$$

- Segunda etapa

- Peso próprio característico do telhado

$$g_{t,k} = 35,32 + 29,59 + 75,73 = 140,64 \text{ N/m} \quad (16)$$

- Peso próprio característico mezanino

$$g_{p,k} = 35,32 + 27,47 + 75,73 = 138,52 \text{ N/m} \quad (17)$$

Já a carga acidental com o auxílio da ABNT NBR 6120:2019 foi considerada um edifício residencial com uma carga uniformemente distribuída de 1,50 kN/m², transformando em N/m terá:

$$q_{q,k} = 1500 \text{ N/m}^2 \times 0,8\text{m} = 1200 \text{ N/m} \quad (18)$$

5.4 Combinações Últimas Normais

As combinações serão calculadas a partir da equação 18, conforme a ABNT NBR 8681:2003.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right] \quad (19)$$

Onde:

γ_{gi} – Coeficiente de ponderação das ações permanentes;

$F_{Gi,k}$ – Valor característico das ações permanentes;

γ_Q – Coeficiente de ponderação das ações variáveis;

$F_{Q1,k}$ – 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.

Ao ser realizada análises da estrutura foi concluído que a combinação mais crítica que deve ser utilizada para o dimensionamento é a combinação ação permanente + ação acidental + ação do vento a 90°.

- Combinação 1: Peso próprio telhado

$$comb1 = 140,64 \times 1,4 = 196,896 \text{ N/m}$$

- Combinação 2: Peso próprio mezanino

$$comb1 = 138,52 \times 1,4 = 193,923 \text{ N/m}$$

- Combinação 2: Peso próprio + carga acidental + ψ_0 vento 90° (dir)

$$comb3 = (140,64 \times 1,4) + (1200 \times 1,5) + (507,68 \times 0,6 \times 1,4) \\ = 2461,80 \text{ N/m}$$

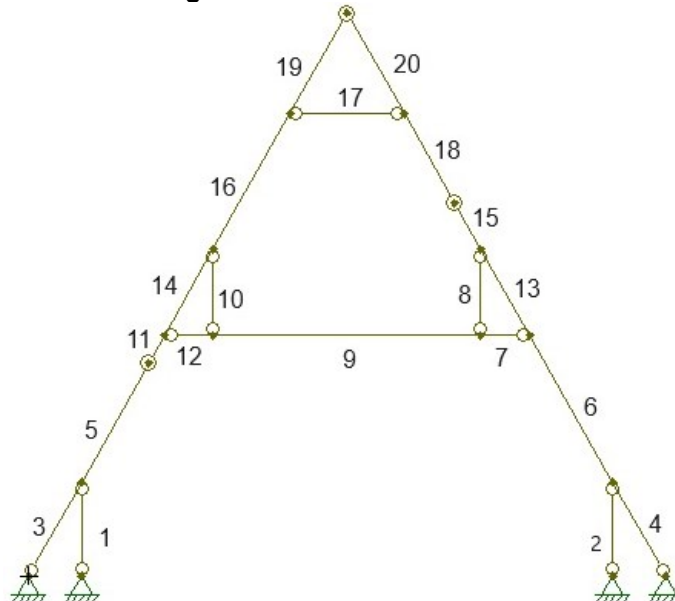
- Combinação 3: Peso próprio + carga acidental + ψ_0 vento 90° (esq)

$$comb4 = (140,64 \times 1,4) + (1200 \times 1,5) \\ + (-152,30 \times 0,6 \times 1,4) = 1846,11 \text{ N/m}$$

5.5 Esforços solicitantes nas barras

Segundo Pedroso (2017), as ligações por CDE são consideradas semirrígidas, porém a conclusão foi que a rigidez rotacional é pouco influente na estrutura, portanto nesse trabalho ao ser simulado o projeto no FTOOL para a análise numérica, as ligações foram consideradas como articuladas (figura 43).

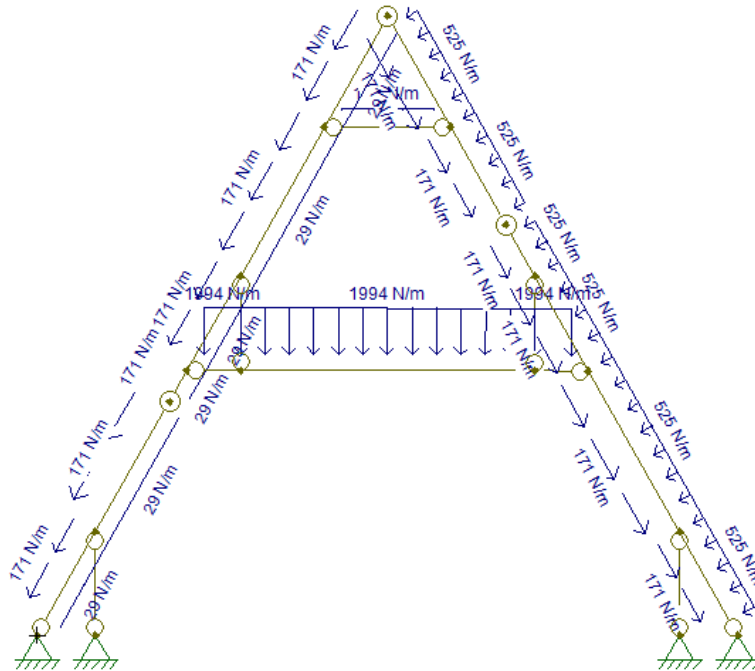
Figura 43: Pórtico no FTOOL



Fonte: Autoria própria (2023)

Para os cálculos do dimensionamento, todas as combinações foram estudadas no pórtico, com o objetivo de extrair os valores mais críticos de cada barra. Portanto assim, como já mencionado a combinação mais crítica foi a da ação permanente + ação acidental + ação do vento a 90°, mostrada na figura 44.

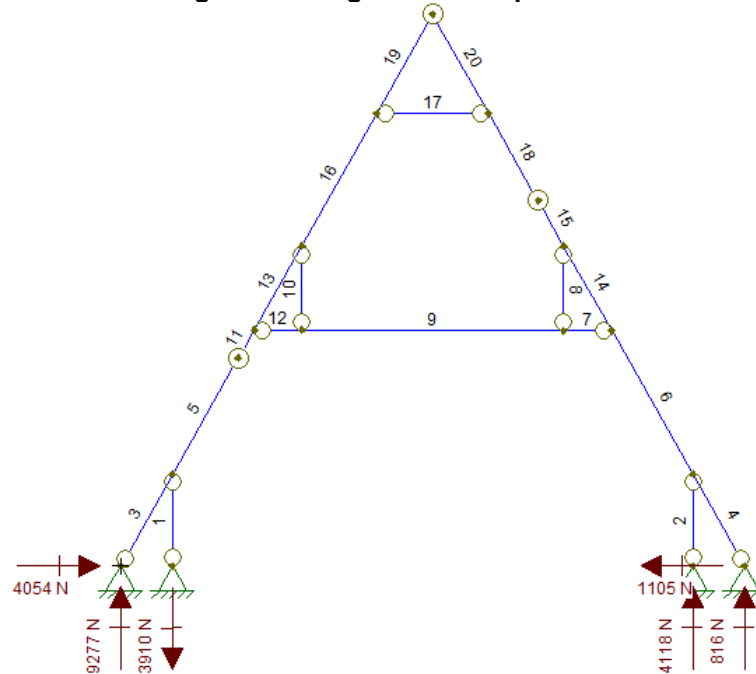
Figura 44: Combinação crítica



Fonte: Autoria própria (2023)

O software fornece os diagramas para análise estrutural, primeiramente obtém-se o diagrama de corpo livre, mostrado na figura 45.

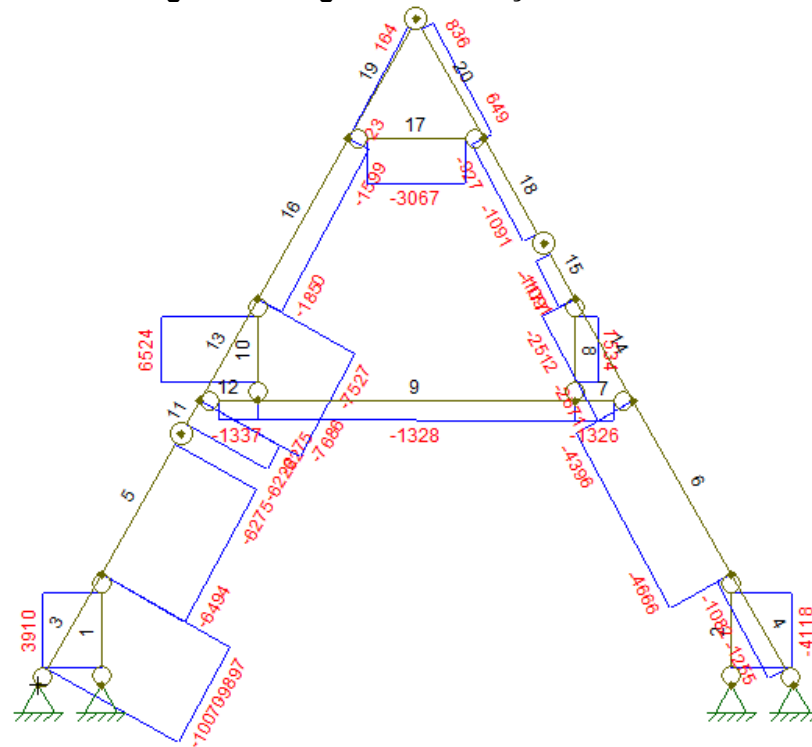
Figura 45: Diagrama de corpo livre



Fonte: Autoria própria (2023),

Fornece ainda diagrama de esforço normal, mostrado na figura 46.

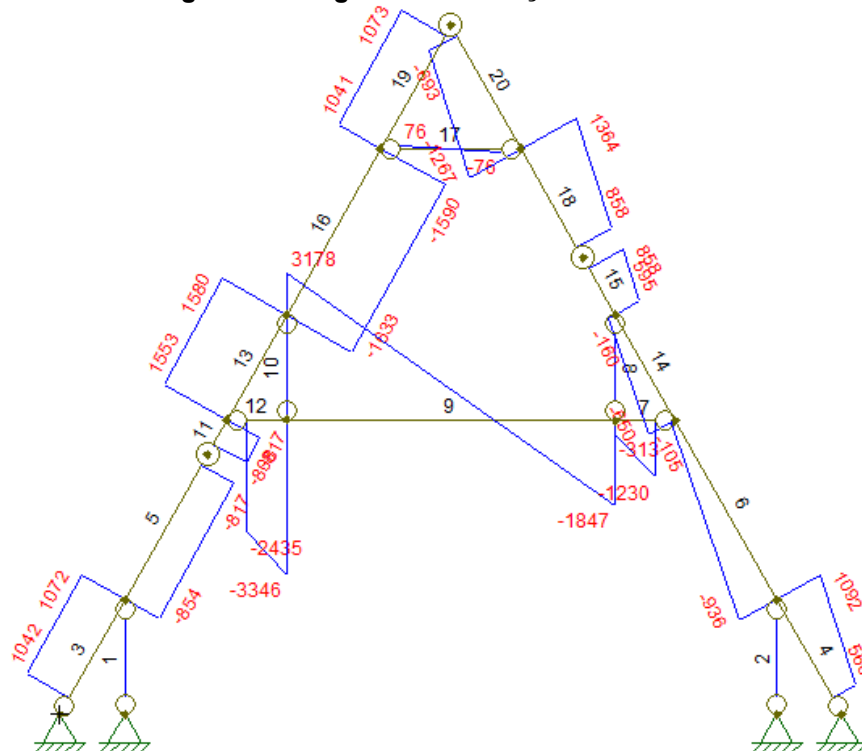
Figura 46: Diagrama de esforço normal



Fonte: Autoria própria (2023)

Obtém-se também o diagrama de esforço cortante, como mostra a figura 47.

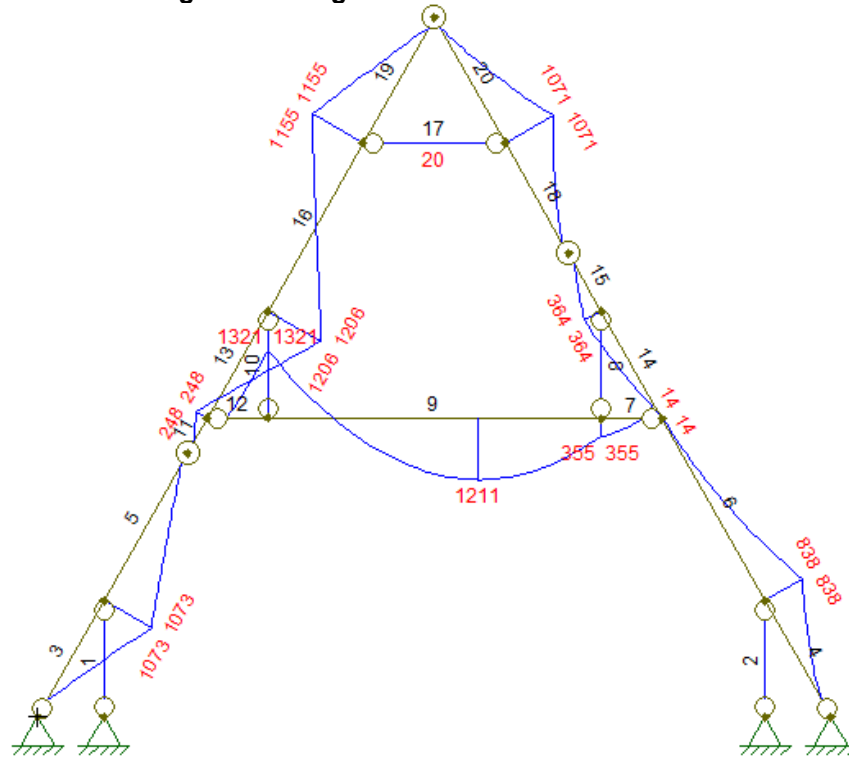
Figura 47: Diagrama de esforço cortante



Fonte: Autoria própria (2023)

Por fim é ofertado o diagrama de momento fletor (figura 48).

Figura 48: Diagrama de momento fletor



Fonte: Autoria própria (2023)

5.6 Dimensionamento das ligações

O projeto estrutural estudado possui três tipos de ligações, portanto será desenvolvido neste item todos os cálculos para o dimensionamento das mesmas com o auxílio da ABNT NBR 7120:2022.

5.6.1 Ligação do pórtico no radier: madeira - aço parafusada

As ligações em madeira realizadas com chapas de aço e pinos metálicos possuem modo de falha caracterizados pela espessura t_s das chapas metálicas. As chapas que possuem espessura menor ou igual a $0,5 d$ são classificadas como chapas finas e, chapas com espessura maior ou igual a d e diâmetro de pré-furação menor ou igual a $1,2 d$ são classificadas como chapas grossa (ABNT NBR 7120:2022).

Ao realizar o dimensionamento da ligação considerando a barra 3, sendo ela a mais solicitada, foi escolhido parafusos M8 – ISO 4.6.

$$\text{Chapa fina} \rightarrow t_s \leq \frac{d}{s} = \frac{10}{2} = 4 \text{ mm}$$

$$\text{Chapa grossa} \rightarrow t_s \geq d = 8 \text{ mm}$$

A chapa escolhida para essa ligação possui uma espessura de 4 mm, portanto para os cálculos ela pode ser considerada como chapa fina.

Para pregos com diâmetro maior que 8 mm e parafusos de até 30 mm de diâmetro, dispostos com ângulo α em relação às fibras, aplicando-se os valores característicos para o cálculo da resistência ao embutimento (ANBT NBR 7120:2022), tendo então as equações 20, 21 e 22 descritas a seguir.

$$f_{e0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k \quad (20)$$

$$f_{e0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 8) \times 400 = 30,18 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + (0,015 \times d) \quad (21)$$

$$k_{90} = 1,35 + (0,015 \times 8) = 1,47$$

$$f_{e\alpha,k} = \frac{f_{e0,k}}{K_{90} \times \text{sen}^2\alpha + \text{cos}^2\alpha} \quad (22)$$

Para o ângulo α da equação 22 foi executado os cálculos com o auxílio do FTOOL, onde descobriu-se as reações de apoio em x e y da barra 3, sendo elas $x = 4054 \text{ N}$ e $y = 9277 \text{ N}$. Para a soma vetorial das forças foi usado a equação de Pitágoras.

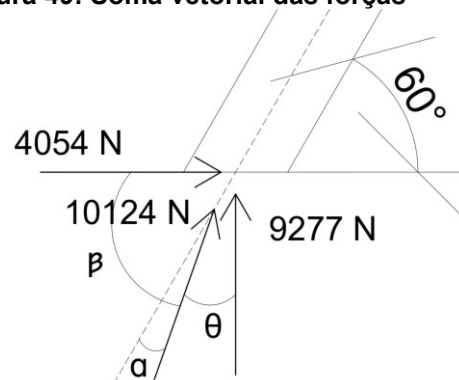
$$x^2 + y^2 + z^2 = 0 \quad (23)$$

$$z = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (24)$$

$$z = \sqrt{4054^2 + 9277^2} = 10124 \text{ N}$$

A figura 49 mostra como ficou a soma vetorial.

Figura 49: Soma vetorial das forças



Fonte: Autoria própria (2023)

Com as forças decomposta foi possível encontrar o ângulo θ utilizando o $\cos^{-1} \theta$.

$$\cos^{-1} \theta = \frac{\text{cat. adj.}}{\text{hip.}} \quad (25)$$

$$\theta = \text{arc cos} \frac{9277}{10124} = 23,6^\circ$$

Sabe-se que as forças x e y formam um ângulo de 90° , portanto para descobrir o β terá:

$$\beta = 90 - 23,6 = 66,4^\circ \quad (26)$$

Por fim para encontrar ângulo α a ser utilizado na equação tem:

$$\alpha = 66,4 - 60 = 6,4^\circ \quad (27)$$

Aplicando o valor do ângulo α encontrado na equação 27, a resistência ao embutimento é dado por:

$$f_{e6,4,k} = \frac{30,18}{1,47 \times \text{sen}^2 6,4 + \text{cos}^2 6,4} = 30,01 \text{ MPa}$$

Para realizar os cálculos da força característica, primeiro é preciso calcular o momento resistente do pino metálico, ou seja, do parafuso, utilizando a equação 28.

$$M_{y,k} = 0,3 \times f_{u,k} \times d^{2,6} \quad (28)$$

$$M_{y,k} = 0,3 \times 400 \times 8^{2,6} = 26743,31 \text{ Nmm}$$

A força característica por plano de corte e por pino metálico deve ser considerada a menor entre as equações seguintes.

- Para ligação com duas chapas laterais caracterizadas como finas, em corte duplo

Modo de falha (j)

$$F_{v,Rk} = 0,5 \times f_{e2,k} \times t_s \times d \quad (29)$$

$$F_{v,Rk} = 0,5 \times 30,01 \times 50 \times 8 = 6002 \text{ N}$$

Modo de falha (k)

$$F_{vR,k} = 1,15 \times \sqrt{2 \times M_{y,k} \times f_{e2,k} \times d} \quad (30)$$

$$F_{vR,k} = 1,15 \times \sqrt{2 \times 26743,31 \times 30,01 \times 8} = 4120,96 \text{ N}$$

\therefore a força característica $F_{v,Rk} = 4120,96 \text{ N}$

Utilizando a relação $R_d \geq F_d$ é possível encontrar a quantidade necessária de conectores para essa ligação.

$$R_d = K_{mod1} \times K_{mod2} \times \frac{R_k}{\gamma_{lig}} \geq F_d \quad (31)$$

$$0,8 \times 1,0 \times \frac{R_k}{1,4} = 10124 \text{ N}$$

$$R_k = 17717 \text{ N}$$

Tem-se que a resistência característica da ligação é de 17717 N, portanto substituindo o R_k na equação 32 encontra-se o número de conectores n_c .

$$R_k = F_{v,Rk} \times n_{sp} \times n_c \quad (32)$$

$$17717 = 4120,96 \times 2 \times n_c$$

$$n_c = 2,15 \therefore 3 \text{ parafusos}$$

5.6.2 Ligação com CDE em barra tracionada

Para determinar a resistência ao arrancamento e a resistência a tração da chapa precisa calcular o número de dentes para suportar a ligação, então foi usada a equação 1.

Vendo que na equação 1 é força de tração dividida pela resistência ao arrancamento, foi considerado para os cálculos a barra mais tracionada, sendo ela a barra 10.

Ao fazer interpolação utilizando a tabela 2 tem-se que a resistência ao arrancamento para 90° da classe da madeira C35 é de 68,65 N, sendo assim para obter o número total de dentes por chapa tem-se:

$$n^{\circ} \text{ total de dentes} = \frac{6524}{2 \times 68,65} = 47,52 \text{ dentes/chapa}$$

$$\therefore 48 \text{ dentes}$$

5.6.3 Ligação com CDE em barra comprimida

O projeto possui duas vigas internas ligadas a estrutura do telhado, ambas sujeitadas a força de compressão.

Os cálculos apresentados para as duas vigas são referentes as equações 3, 4 e 5 apresentadas na revisão bibliográfica.

Então assim tem que para a barra 7 o número de dentes necessário será o maior entre as equações 3 e 4:

$$N_1 = \frac{4666 - 2671}{2 \times 68,65} = 14,53 \therefore 15 \text{ dentes}$$

$$N_1 = \frac{1326 \times 0,5}{2 \times 68,65} = 4,83 \therefore 5 \text{ dentes}$$

Portanto na barra 7 serão necessários 15 dentes por chapa ao realizar a ligação.

Para a resistência ao arrancamento foi preciso fazer uma interpolação, pois na tabela 2 possui a resistência apenas de $\alpha = 0^\circ$ e de $\alpha = 90^\circ$ e a resistência ao arrancamento considerado no projeto é de $\alpha = 60^\circ$ chegando ao valor de 147,10 N/mm.

$S \geq$ Comprimento de cisalhamento necessário

$$S = 17,00 \text{ mm}$$

$$S \geq \frac{4666 - 2671}{2 \times 147,10} = 6,78 \text{ mm}$$

$$17,00 \text{ mm} \geq 6,78 \text{ mm} \therefore \text{ok}$$

Já a quantidade de dentes para a barra 17 será a maior entre as equações 3 e 4.

$$N_1 = \frac{1850 - 23}{2 \times 68,65} = 13,31 \therefore 14 \text{ dentes}$$

$$N_1 = \frac{3067 \times 0,5}{2 \times 68,65} = 11,17 \therefore 12 \text{ dentes}$$

Portanto o serão necessários 14 dentes por chapa para a realização da ligação da barra 17.

$S \geq$ Comprimento de cisalhamento necessário

$$S = 12,00 \text{ mm}$$

$$S \geq \frac{1850 - 23}{2 \times 147,10} = 6,21 \text{ mm}$$

$$12,00 \text{ mm} \geq 6,21 \text{ mm} \therefore \text{ok}$$

5.7 Dimensionamento dos elementos estruturais

Neste tópico serão apresentados todos os cálculos utilizados para realizar o dimensionamento dos elementos da estrutura. Para a verificação foram consideradas três barras, ou seja, as mais críticas.

5.7.1 Propriedades do material

A classe de resistência utilizada para a realização dos cálculos foi a classe de coníferas C35.

- Das propriedades de resistência (MPa), tem-se: $f_{m,k} = 35$; $f_{t,0,k} = 21$; $f_{t,90,k} = 0,4$; $f_{c,0,k} = 25$; $f_{c,90,k} = 2,8$; $f_{v,k} = 4,0$.
- Propriedades de rigidez (GPa), tem-se: $E_{0,med} = 13$; $E_{0,05} = 8,5$; $E_{90,med} = 0,4$; $G_{med} = 0,8$.
- Densidade (kg/m^3), tem-se: $\rho_k = 400$ e $\rho_{med} = 480$.
- Para a modificação dos valores característicos para os valores de cálculo foi utilizado os coeficientes $k_{mod,1} = 0,8$ (média duração) e $k_{mod,2} = 1,0$ (classe de umidade 1).

5.7.2 Verificação de elementos tracionados

Para essa verificação foram extraídos os esforços da barra 10, correspondente a mais crítica entre as barras tracionadas.

Primeiramente calculou-se os parâmetros geométricos da peça, uma viga de seção transversal de 50x100 mm, portanto terá:

$$A = b \times h \quad (33)$$

$$A = 50 \times 100 = 5000 \text{mm}^2$$

$$I_x = \frac{b \times h^3}{12} \quad (34)$$

$$I_x = \frac{50 \times 100^3}{12} = 4,167 \times 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_y = \frac{h \times b^3}{12} \quad (35)$$

$$I_y = \frac{100 \times 50^3}{12} = 1,042 \times 10^6 \text{mm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad (36)$$

$$i_x = \sqrt{\frac{4,167 \times 10^6}{5000}} = 28,87 \text{mm}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad (37)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{1,042 \times 10^6}{5000}} = 14,44 \text{ mm}$$

Após todos os parâmetros geométricos calculados é possível dar início às verificações, para isso foi usada a ABNT NBR 7190:2022.

- Verificação da Esbeltez Limite (ELS)

$$L_{0,x} = K_{E,x} \cdot L_x \quad (38)$$

Onde:

$K_{E,x} = 1,00$ (considerado as extremidades apoio - apoio);

$$L_x = 810 \text{ cm}$$

$$L_{0,x} = 1,00 \cdot 810 = 810$$

$$\lambda_x = \frac{L_{0,x}}{i_x} \quad (39)$$

$$\lambda_x = \frac{810}{28,87} = 28,06 < 173 \therefore Ok$$

$$L_{0,y} = K_{E,y} \cdot L_y \quad (40)$$

Onde:

$K_{E,y} = 1,00$ (considerado nas extremidades apoio - apoio);

$$L_y = 810 \text{ cm}$$

$$L_{0,y} = 1,00 \cdot 810 = 810$$

$$\lambda_y = \frac{L_{0,y}}{i_y} \quad (41)$$

$$\lambda_y = \frac{810}{14,44} = 56,09 < 173 \therefore Ok$$

- Verificação dos Estados Limites Últimos (ELU)

Para essa verificação é necessário calcular a área líquida da peça, então utilizando o valor obtido no cálculo do dimensionamento das ligações com CDE em barras tracionadas, obtém-se o número de dentes por chapa.

Ao estimar a área líquida é preciso dos números de dentes por peça, portanto multiplica o resultado obtido por dois.

$$n^{\circ} \text{ total de dentes} = 47,52 \times 2 = 95,04 \text{ dentes por peça}$$

$$\therefore 96 \text{ dentes}$$

Segundo Pedroso (2017), a espessura do dente varia de 1,23 mm a 1,38 mm, realizando uma média chega-se em 1,31mm.

Então multiplicando o número total de dentes por peça pela espessura do mesmo, a área líquida fica definida por:

$$A_{liq} = A - A_{dentes} \quad (42)$$

$$A_{liq} = 5000 - 96 \times 1,31 = 4874,24 \text{ mm}^2$$

Por fim verificando a tração:

$$\sigma_{Nt0,d} = \frac{N_{t0,d}}{A_{liq}} \quad (43)$$

$$\sigma_{Nt0,d} = \frac{6524}{4874,24} = 1,34 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{Nt0,d}}{f_{t0,d}} < 1 \quad (44)$$

$$f_{t0,d} = \frac{f_{t0,k} \times k_{mod1} \times k_{mod2}}{\gamma_w} \quad (45)$$

$$f_{t0,d} = \frac{21 \times 0,8 \times 1,0}{1,4} = 12$$

$$\frac{1,34}{12} = 0,11 < 1 \therefore Ok$$

5.7.3 Verificação de elementos comprimidos

Para essa verificação foram extraídos os esforços das barras 3 e 9, sendo elas as mais críticas entre as barras comprimidas.

Assim como nos elementos tracionados, também se calculou os parâmetros geométricos das peças, sendo elas com dimensões iguais de 50x150 mm, usando as equações 33, 34, 35, 36 e 37 apresentadas anteriormente.

$$A = 50 \times 150 = 7500 \text{ mm}^2$$

$$I_x = \frac{50 \times 150^3}{12} = 1,4063 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_y = \frac{150 \times 50^3}{12} = 1,5625 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_x = \frac{b \times h^2}{6} \quad (46)$$

$$W_x = \frac{50 \times 150^2}{6} = 1,875 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_y = \frac{h \times b^2}{6} \quad (47)$$

$$W_y = \frac{150 \times 50^2}{6} = 6,25 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_x = \sqrt{\frac{1,4063 \times 10^7}{7500}} = 43,30 \text{ mm}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{1,5625 \times 10^6}{7500}} = 14,43 \text{ mm}$$

Iniciando as verificações para a barra 3 terá:

- Verificação da Esbeltez Limite

Trazendo as equações 38 e 39

Onde:

$K_{E,x} = 0,8$ (considerado as extremidades engaste – apoio);

$$L_x = 1020 \text{ cm}$$

$$L_{0,x} = 0,8 \cdot 1020 = 816$$

$$\lambda_x = \frac{816}{43,30} = 18,85 < 140 \therefore Ok$$

A esbeltez relativa é definida por:

$$\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda_x}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} \quad (48)$$

$$\lambda_{rel,x} = \frac{18,85}{\pi} \times \sqrt{\frac{25}{8,7}} = 10,17$$

Trazendo as equações 40 e 41

Onde:

$K_{E,y} = 0,8$ (considerado nas extremidades engaste - apoio);

$$L_y = 1020 \text{ cm}$$

$$L_{0,y} = 0,8 \cdot 1020 = 816$$

$$\lambda_y = \frac{816}{14,43} = 56,55 < 140 \therefore Ok$$

A esbeltez relativa é definida por:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} \quad (49)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{56,55}{\pi} \times \sqrt{\frac{25}{8,7}} = 30,51$$

- Verificação das tensões normais

$$\sigma_{N_{c0,d}} = \frac{N_c}{A} \quad (50)$$

$$\sigma_{N_{c0,d}} = \frac{10070}{7500} = 1,34 \text{ N}$$

$$\sigma_{M,d} = \frac{M_d}{W} \quad (51)$$

$$\sigma_{M_{y,d}} = \frac{1,073 \times 10^6}{1,875 \times 10^5} = 5,72 \text{ N.mm}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (seção retangular)}$$

$$f_{c0,d} = \frac{f_{c0,k} \times k_{mod1} \times k_{mod2}}{\gamma_w} \quad (52)$$

$$f_{c0,d} = \frac{25 \times 0,8 \times 1,0}{1,4} = 14,29$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \times k_{mod1} \times k_{mod2}}{\gamma_w} \quad (53)$$

$$f_{m,d} = \frac{35 \times 0,8 \times 1,0}{1,8} = 15,56$$

Barra 3 é submetida à flexocompressão:

$$\left(\frac{\sigma_{N_{co,d}}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{M_{x,d}}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{M_{y,d}}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (54)$$

$$\left(\frac{\sigma_{N_{co,d}}}{f_{c0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{M_{x,d}}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{M_{y,d}}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (55)$$

$$\left(\frac{1,34}{14,29}\right)^2 + 0 + 0,7 \cdot \frac{5,72}{15,56} = 0,27 < 1 \therefore Ok$$

$$\left(\frac{1,34}{14,29}\right)^2 + 0 + \frac{5,72}{15,56} = 0,38 < 1 \therefore Ok$$

- Verificação de tensões tangenciais (ELU)

$$\tau_d = \frac{3V_d}{2A} \quad (56)$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{1072}{7500} = 0,214 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v0,d}} \leq 1 \quad (57)$$

$$f_{v0,d} = 0,12 \times f_{c0,d} \quad (58)$$

$$f_{v0,d} = 0,12 \times 14,29 = 1,715$$

$$\frac{0,214}{1,715} = 0,12 < 1 \therefore Ok$$

Agora para a verificação da barra 9.

- Verificação da Esbeltez Limite

Como a viga está disposta da maneira em que a força é distribuída na maior inércia e na menor inercia ela está contraventada, não há necessidade de realizar a verificação da esbeltez limite.

- Verificação da flecha (ELS)

Para os deslocamentos instantâneos desconsiderando os efeitos da fluência simulados no FTOOL:

$$\mu_{inst} = \sum_{i=1}^m \mu_{inst,Gi,k} + \mu_{inst,Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} \mu_{inst,Qj,k} \quad (59)$$

$$\mu_{inst,G} = 2,838 \text{ mm} \rightarrow 0,2838 \text{ cm}$$

$$\mu_{inst,Q} = 4,645 \text{ mm} \rightarrow 0,4645 \text{ cm}$$

$$\mu_{inst} = 0,2838 + 0,4645 = 0,7483 \text{ cm}$$

Para os deslocamentos finais considerando os efeitos de fluência:

$$\mu_{fin} = \sum_{i=1}^m \mu_{fin,Gi,k} + \mu_{fin,Q1,k} + \sum_{j=2}^n \mu_{fin,Qj,k} \quad (60)$$

Onde:

$$\mu_{fin,G,k} = \mu_{inst,G,k} + \mu_{creep,Q,k} = \mu_{inst,G,k} \times (1 + \phi) \quad (61)$$

$$\mu_{fin,G,k} = \mu_{inst,Q1,k} + \mu_{creep,Q1,k} = \mu_{inst,Q1,k} \times (1 + \psi_2 \phi) \quad (62)$$

$$\mu_{fin,G,k} = \mu_{inst,Qj,k} + \mu_{creep,Qj,k} = \mu_{inst,Qj,k} \times (\psi_{1j} + \psi_{2j} \phi) \quad (63)$$

Como só irá usar a ação permanente e a ação acidental, será utilizado apenas as equações 60, 61 e 62 para os cálculos de verificação da flecha final.

$$\mu_{fin,G,k} = 0,2838 \times (1 + 0,6) = 0,4541 \text{ cm}$$

$$\mu_{fin,G,k} = 0,4645 \times (1 + (0,3 \times 0,6)) = 0,5481 \text{ cm}$$

$$\mu_{fin} = 0,4541 + 0,5481 = 1,002 \text{ cm}$$

$$\mu_{net,fin} = \mu_{fin} - W_c(\text{contra} - \text{flecha}) \quad (64)$$

$$\mu_{net,fin} = 1,002 - 0 = 1,002 \text{ cm}$$

Considerando os valores de flecha indicados pela norma é possível realizar a verificação se a flecha está dentro do limite

$$\mu_{inst} \leq W_{inst} \frac{L}{300} \quad (65)$$

$$0,7483 \leq \frac{252}{300} = 0,84 \therefore Ok$$

$$\mu_{fin} \leq W_{fin} \frac{L}{150} \quad (66)$$

$$1,002 \leq \frac{252}{150} = 1,68 \therefore Ok$$

$$\mu_{net,fin} \leq W_{net,fin} \frac{L}{250} \quad (67)$$

$$1,002 \leq \frac{252}{250} = 1,008 \therefore Ok$$

- Verificação das tensões normais

Usando as equações 50 e 51 já comentadas tem-se:

$$\sigma_{N_{co,d}} = \frac{1328}{7500} = 0,18 \text{ N}$$

$$\sigma_{M_{y,d}} = \frac{1,321 \times 10^6}{1,875 \times 10^5} = 7,05 \text{ N.mm}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (seção retangular)}$$

Barra 9 também é submetida à flexocompressão, portanto utilizando as equações 52, 53, 54 e 55 é possível desenvolver:

$$\left(\frac{0,18}{14,29}\right)^2 + 0 + 0,7 \cdot \frac{7,05}{15,56} = 0,32 < 1 \therefore Ok$$

$$\left(\frac{0,18}{14,29}\right)^2 + 0 + \frac{7,05}{15,56} = 0,45 < 1 \therefore Ok$$

- Verificação de tensões tangenciais (ELU)

Aplicando as equações 56, 57 e 58 é possível realizar a verificação das tensões, assim:

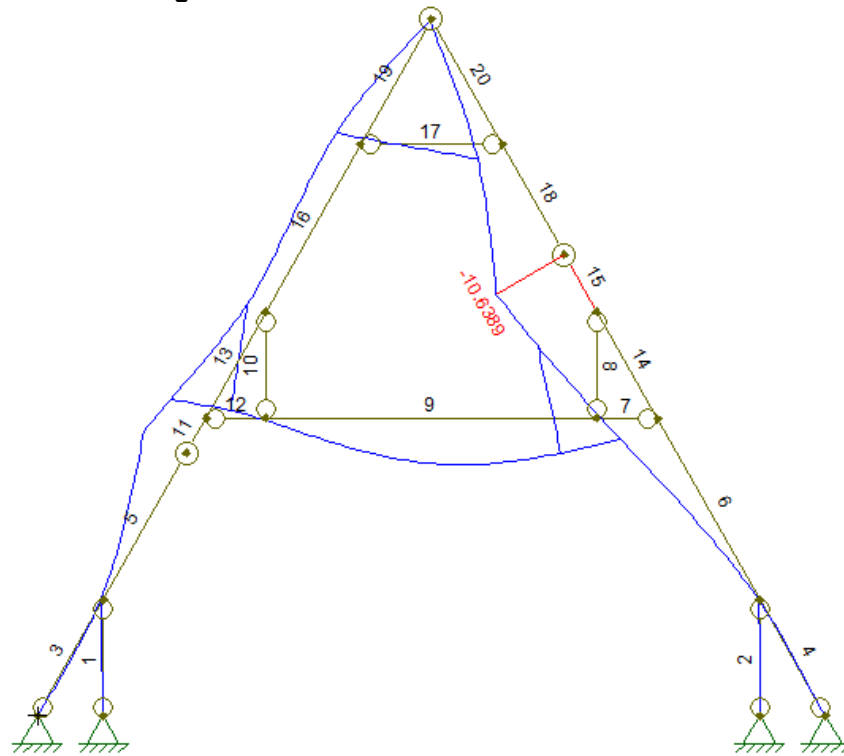
$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{3346}{7500} = 0,45 \text{ MPa}$$

$$f_{v0,d} = 0,12 \times 14,29 = 1,715$$

$$\frac{0,45}{1,715} = 0,26 < 1 \therefore Ok$$

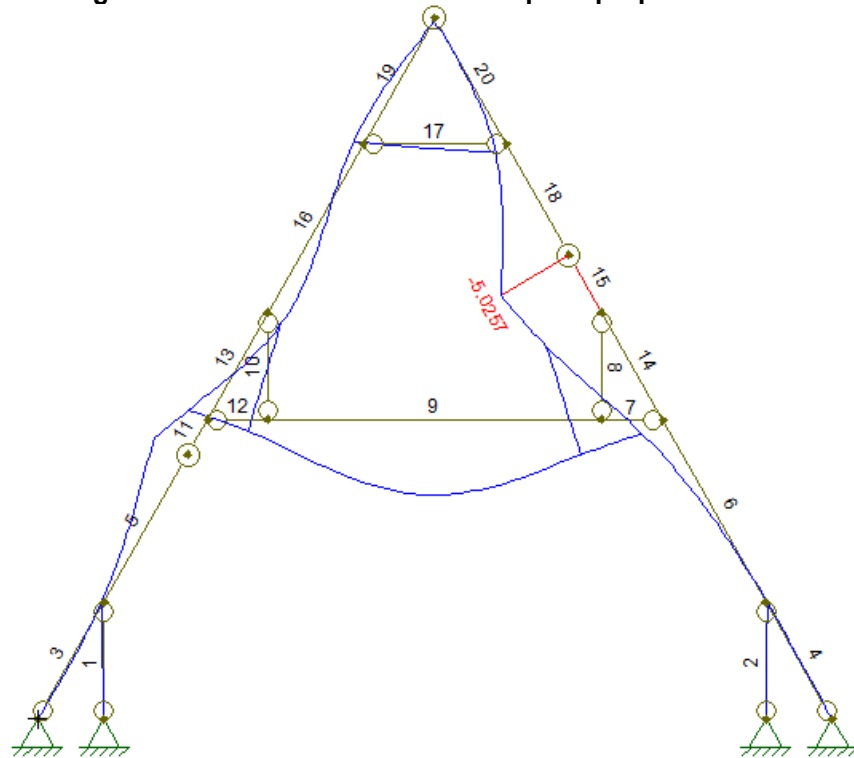
5.8 Deslocamento global da estrutura

O deslocamento global da estrutura é onde se encontra a maior flecha, mostrada na figura 50.

Figura 50: Deslocamento estrutural

Fonte: Autoria própria (2023)

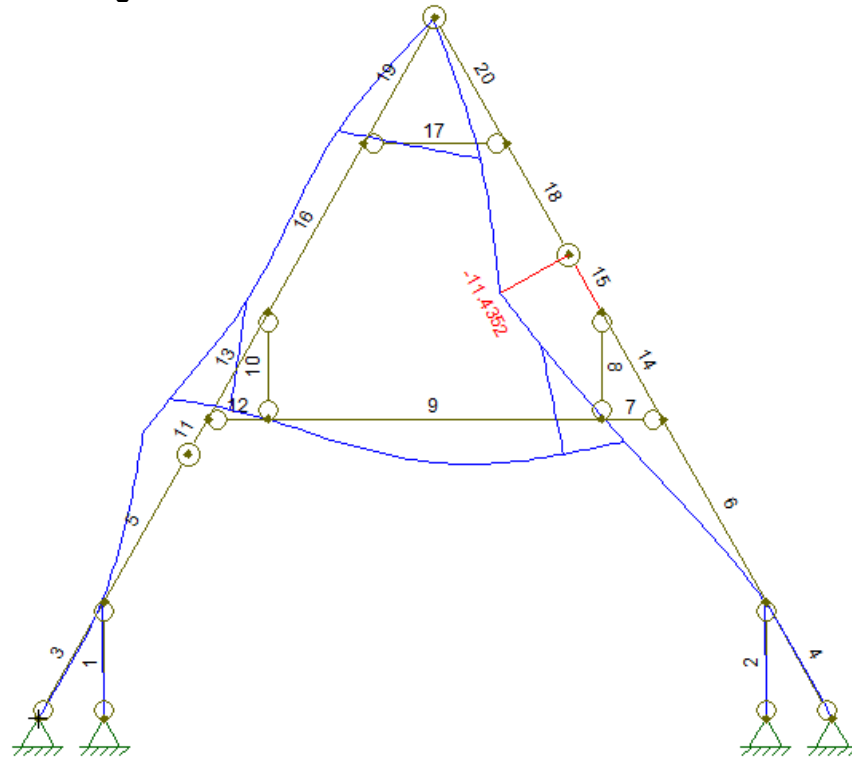
A verificação da flecha é feita considerando as cargas características separadas, obtendo o deslocamento devido ao peso próprio, encontrada na figura 51.

Figura 51: Deslocamento devido ao peso próprio

Fonte: Autoria própria (2023)

Também se obtém a deslocamento devido as cargas do vento, como mostra a figura 52.

Figura 52: Deslocamento devido ao vento 90°



Fonte: Autoria própria (2023)

Sendo assim após a retirada dos valores das duas flechas são apresentados os cálculos da verificação do deslocamento global estrutural.

$$\mu_{inst} = \sum_{i=1}^m \mu_{inst,Gi,k} + \mu_{inst,Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} \mu_{inst,Qj,k} \quad (68)$$

$$\mu_{inst,G} = 5,026 \rightarrow 0,5026 \text{ cm}$$

$$\mu_{inst,Q} = 11,435 \text{ mm} \rightarrow 1,1435 \text{ cm}$$

$$\mu_{inst} = 0,5026 + 1,1435 = 1,647 \text{ cm}$$

Para os deslocamentos finais considerando os efeitos de fluência:

$$\mu_{fin} = \sum_{i=1}^m \mu_{fin,Gi,k} + \mu_{fin,Q1,k} + \sum_{j=2}^n \mu_{fin,Qj,k} \quad (69)$$

Onde:

$$\mu_{fin,G,k} = \mu_{inst,G,k} + \mu_{creep,Q,k} = \mu_{inst,G,k} \times (1 + \phi) \quad (70)$$

$$\mu_{fin,G,k} = \mu_{inst,Q1,k} + \mu_{creep,Q1,k} = \mu_{inst,Q1,k} \times (1 + \psi_2 \phi) \quad (71)$$

$$\mu_{fin,G,k} = \mu_{inst,Qj,k} + \mu_{creep,Qj,k} = \mu_{inst,Qj,k} \times (\psi_{1j} + \psi_{2j} \phi) \quad (72)$$

Usando para os cálculos a ação permanente e a ação do vento a 90°, serão utilizadas as equações 69, 70 e 71 para os cálculos de verificação da flecha final.

$$\begin{aligned}\mu_{fin,G,k} &= 0,5026 \times (1 + 0,6) = 0,804 \text{ cm} \\ \mu_{fin,G,k} &= 1,1435 \times (1 + (0,0 \times 0,6)) = 1,1435 \text{ cm} \\ \mu_{fin} &= 0,804 + 1,1435 = 1,9475 \text{ cm} \\ \mu_{net,fin} &= \mu_{fin} - W_c(\text{contra} - \text{flecha}) \\ \mu_{net,fin} &= 1,9475 - 0 = 1,9475 \text{ cm}\end{aligned}\tag{73}$$

Considerando os valores de verificação da flecha indicados pela norma é possível apurar se a flecha da estrutura está atendendo aos parâmetros.

$$\mu_{inst} \leq W_{inst} \frac{L}{300}\tag{74}$$

$$1,647 \leq \frac{600}{300} = 2 \therefore Ok$$

$$\mu_{fin} \leq W_{fin} \frac{L}{150}\tag{75}$$

$$1,9475 \leq \frac{600}{150} = 4 \therefore Ok$$

$$\mu_{net,fin} \leq W_{net,fin} \frac{L}{250}\tag{76}$$

$$1,9475 \leq \frac{600}{250} = 2,4 \therefore Ok$$

Após a verificação dos estados limites últimos e estados limites de serviço para toda a estrutura verificou-se que o pré-dimensionamento considerado para o projeto foi adequado, configurando-se um projeto seguro.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse sistema construtivo em A é um sistema já utilizado em várias partes do mundo, em geral para residências de férias ou de campo, inclusive no Brasil já existem várias construções do mesmo. Ao longo do trabalho foi estudado sobre sua importância para a indústria da construção civil e sobre a estrutura em si.

Por ser considerado flexível, o sistema construtivo em A é interessante de ser usado, portanto estudar sobre ele traz inovação para a construção civil e também contribui para pesquisas de desenvolvimento e novas técnicas.

As principais características é que a construção é rápida e prática, podendo ser utilizada como construções temporárias e também para construções em larga escala após desastres naturais. Como destacado ao longo do trabalho há também desvantagem sendo a diminuição de espaço da área interna, a falta de armazenamento convencional, como guarda-roupas e armários de parede, e as portas e janelas se encontrarem apenas nas extremidades.

Ele pode ser apontado como um sistema construtivo sustentável, visto que foi considerado para o estudo do projeto apresentado a utilização de madeira de reflorestamento, materiais industrializados como o OSB, que provém também de madeira reflorestada, e o aço, que pode ser reciclado.

No projeto estudado foi estimado o uso de telhas com conforto térmico e acústico, além do mais o uso de manta hidrófuga para evitar problemas de umidade.

Para a construção desse sistema é preciso se atentar a qual fundação vai ser usada, assim como também é muito importante considerar o vento que agirá sobre a estrutura, pois o sistema possui telhado com uma alta inclinação e muito leve.

A importância do uso da CDE neste trabalho foi que por ser um sistema construtivo muito rápido de fazer, com a industrialização dos elementos pode se tornar ainda mais rápido, pois os pórticos podem ser fabricados em indústrias especializadas e transportados para o local de montagem, o que facilita o processo construtivo no canteiro de obras.

REFERÊNCIAS

- American National Standards Institute/Truss Plate institute. **ANSI/TPI**: national design standard for metal connected wood truss construction. Madison, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- BARALDI, Lívio T. **Método de ensaio de ligações de estruturas de madeira por chapas com dentes estampados**. 1996. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996.
- BERRIEL, A. **Arquitetura de madeira: reflexões e diretrizes de projetos para concepção de sistemas e elementos construtivos**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.
- Boletim Técnico Gang Nail, 2017. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/362765528/BOLETIM-TECNICO-GANG-NAIL-pdf#>. Acesso em: 09 set. 2023.
- CALIL, C.; MOLINA, J.C. **Coberturas em estruturas de madeira**: exemplo de cálculo. São Paulo: Pini, 2010.
- CALIL JR, C.; DIAS, A. A. (1997). Utilização da madeira em construções rurais. In: **Revista Brasileira em Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, Brasil, v.1, p.71-77, set/dez 1997.
- CARVALHO, J.S. **Contribuição para a definição de critérios para o dimensionamento da ligação entre peças estruturais de madeira por chapas metálicas com dentes estampados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. D. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 3. ed. São Carlos: Ed. UFSCar, 2013.
- COELHO, M.L.T.C. **Pré-Fabricação e Arquitetura: Estudo de habitações pré-fabricadas em Portugal**. 2021. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Universidade Lusófona do Porto. Porto, 2021.

Conectores GNA – 80. Gang-Nail, 2022. Disponível em: <http://gangnail.com.br/conectores-estruturais/>. Acesso em: 12 set. 2022.

Construindo casas, Tipos de Fundações: Radier, saiba tudo que precisa aqui! Disponível em: <https://construindocasas.com.br/blog/construcao/radier/>. 06 set. 2023.

CORTEZ, L.A.R. *et al.* Uso das estruturas de aço no Brasil. **Caderno de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas – UNIT – ALAGOAS**, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 217, 2018. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/5215/2570>. Acesso em: 1 nov. 2022.

DAHP (Dept of Archaeology + Historic Preservation), A-Frame. Disponível em: https://dahp-wa.gov.translate.google.com/historic-preservation/historic-buildings/architectural-style-guide/a-frame?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc. Acesso em: 18 set. 2022.

DEN Outdoors, Why Build an A-Frame House? Disponível em: <https://denoutdoors.com/blogs/guides/build-aframe-house>. Acesso em: 2 nov. 2022.

DÓRIA, Luis Eduardo S. **Projeto de estrutura de fundação em concreto do tipo radier**. Maceió, 2007.

EUROPEAN PRESTANDARD. **EN 1995-1-1**. EUROCODE 5 – Design of timber structures-Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels, 2004.

FLACH, R.S. **Estrutura para telhados: análise técnicas de soluções**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA – JUNAC. **Manual de diseño para maderas del Grupo Andino**. Lima: Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984.

MARTINS, O. **Estudo das ligações por conectores de chapas com dentes estampados em peças estruturais de madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Ilha Solteira, 2007.

MOTHER EARTH NEWS (The original guide to living wisely), How to Build an A-Frame. Disponível em: <https://www.motherearthnews.com/diy/how-to-build-an-a-frame-ze0z1111zhir/>. Acesso em: 11 out. 2022.

Old House Journal, The Mania For A-Frames. Disponível em: <https://www.oldhouseonline.com/house-tours/the-mania-for-a-frames/>. Acesso em: 10 ago. 2023.

PARTEL, Henrique. **Sistema informatizado para projeto de estruturas industrializadas de madeira para telhados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

PEDROSO, Leonardo B. **Análise da influência da rigidez de ligação em estruturas treliçadas de madeira com chapa de dentes estampados**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão 2017.

PEREIRA, Natielly Nascentes. “Wood-Frame”: Tecnologia de Construção Sustentável. In: **Revista Perquirere**, Patos de Minas, MG, Brasil, v.1, n.12, p.194-213, julho 2015.

Pinterest¹. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/693554411343150715/>. Acesso em: 29 out. 2022.

Pinterest². Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/6262886974142058/>. Acesso em: 29 out. 2022.

Pinterest³. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/590534569902581246/>. Acesso em: 29 out. 2022.

Pousadas top, Cabana Stone. Disponível em: <https://pousadastop.com.br/Cabana-Stone>. Acesso em: 07 set. 2023.

RANDL, C. **A-Frame**. Nova Iorque, 2004.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SANTANA, C.L.O. **Análise não-linear de pórticos planos de madeira com ligações semi-rígidas**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

Santos Madeira. Disponível em: <https://santosmadeiras.com.br/produtos/conectores-hc-50-x-122mm-par/>. Acesso em 28 out. 2022.

SHENG, C.Y. **Structural Rubberwood LVL: An engineered wood product for prefabricated timber roof truss**. 2003. A paper submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master Science in Wood Industry and Technology Graduate School, Universiti Putra Malaysia. Malaysia, 2003.

THE DIY PLAN, How to Build an A-Frame House (Tiny House, Cabin). Disponível em: <https://thedioplan.com/how-to-build-an-a-frame-house-tiny-house-cabin/>. Acesso em: 28 out. 2022.

THE PLAN COLLECTION, The A-Frame Home: Stylish and Timeless. Disponível em: <https://www.theplancollection.com/blog/the-a-frame-home-stylish-and-timeless>. Acesso em: 16 ago. 2023.

UJVARI, W.Z. **Ligações em madeira, feitas com conectores dentados “GangNail”**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS MADEIRA 1983, São Carlos. Anais... São Carlos: IBRAMEN, 1983.

VALLE, Ivan M.R. **A pré-fabricação de dois sistemas de cobertura com madeira de florestas plantadas. Estudo de caso: os assentamentos rurais Pirituba II e Sepé Tiaraju**. 2011. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

VELLOSO, J.G. **Diretrizes para construções em madeira no sistema plataforma**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

Ware Hoos. Disponível em: <https://warehoos.com/products/simpson-strong-tie-6x6-s4s-ub-post-bracket>. Acesso em: 06 set. 2023.

APÊNDICE A – TABELA DOS ESFORÇOS SOLICITANTES

Tabela 4: Esforços solicitantes

BARRA	NORMAL (N)	CORTANTE (N)	MOMENTO FLETOR (N.m)
1	3910	0	0
2	-4118	0	0
3	-10070	1072	1073
4	-1255	1092	-838
5	-6494	-854	1073
6	-4666	-936	-838
7	-1326	-1230	355
8	1534	0	0
9	-1328	-3346	-1321
10	6524	0	0
11	-6275	-817	-248
12	-1337	-3346	-1321
13	-7686	1580	1206
14	-2671	-650	364
15	-1177	858	364
16	-1850	-1633	1206
17	-3067	76	20
18	-1091	1364	-1071
19	164	1073	-1155
20	836	-1267	-1071

Fonte: Autoria própria (2023)