



ÉRICA MARIA CARVALHO

**PROPOSTA DE UM CHALE DE VERANEIO COM
ESTRUTURA HÍBRIDA**

**LAVRAS – MG
2022**

ÉRICA MARIA CARVALHO

PROPOSTA DE UM CHALÉ DE VERANEIO COM ESTRUTURA HÍBRIDA.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das Exigências do
Curso de Engenharia Civil, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

ÉRICA MARIA CARVALHO

PROPOSTA DE UM CHALÉ DE VERANEIO COM ESTRUTURA HÍBRIDA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das Exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 29 de abril de 2022.

Dr. André Luiz Zangiácomo UFLA
Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro UFLA
Dr. Rafael Santos de Moraes UFLA



Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

RESUMO

Este trabalho tem a finalidade de propor o projeto de um chalé de veraneio, a ser implantado em meio a natureza nas cidades turísticas de clima frio procuradas por casais para estadias de temporada. O projeto tem sua estrutura híbrida com elementos de madeira, compondo a estrutura do telhado, e concreto armado, compondo a superestrutura. Seus revestimentos são baseados na combinação de rusticidade e contemporaneidade, o telhado tem elevada inclinação, se estendendo do ponto mais alto à base do chalé, fazendo com que a vedação lateral da edificação seja a própria cobertura. A proposta trata com detalhes a composição arquitetônica desse estilo de construção, a combinação de estilos e desafios a serem vencidos por projetistas dessa área e as compatibilizações do projeto estrutural implantado com o projeto arquitetônico inicialmente idealizado até que não haja confronto de elementos que não podem ocupar a mesma posição, como por exemplo pilares e esquadrias.

Foram obtidos resultados satisfatórios com relação ao dimensionamento adotado para todos os elementos estruturais que compõe o chalé, portanto a estrutura resiste aos esforços propostos.

Palavras-chave: Chalé de veraneio, estrutura híbrida, modelagem arquitetônica.

SUMÁRIO

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 2 |
| 2.1 | O chalé..... | 2 |
| 2.2 | Obras de referência para a proposta | 4 |
| 2.3 | A estrutura do chalé..... | 7 |
| 3 | METODOLOGIA | 9 |
| 3.1 | Concepção do Projeto Arquitetônico..... | 9 |
| 3.2 | Materiais a serem utilizados na construção | 11 |
| 3.3 | Concepção do Projeto Estrutural | 12 |
| 3.3.1 | Estrutura do telhado..... | 12 |
| 3.3.1.1 | Dimensionamento das ripas..... | 17 |
| 3.3.1.2 | Dimensionamento dos caibros..... | 25 |
| 3.3.1.3 | Dimensionamento das terças | 28 |
| 3.3.1.4 | Dimensionamento da superestrutura | 32 |
| 5 | RENDERIZAÇÕES | 38 |
| 6 | CONCLUSÃO | 42 |
| | REFERÊNCIAS | 43 |

1 INTRODUÇÃO

A procura por construções em madeira tem crescido devido à sua beleza arquitetônica, à disposição de peças engenheiradas e às inovações no tratamento das madeiras, possibilitando a sua utilização em situações em que antes eram desfavoráveis e ao aumento da procura por construções sustentáveis.

Por muito tempo esse tipo de construção não era muito visado no Brasil devido às condições ambientais que não são propícias para sua boa conservação, também por acreditar que seriam construções de alto custo e pela falta de mão de obra especializada para esse fim.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e a popularização de diversas maneiras de se utilizar a madeira, houve um aumento do número de profissionais interessados na área, destacando vantagens do emprego do material, tais como: redução na quantidade de resíduos gerados na obra, maior economia de elementos de fundação, versatilidade arquitetônica, grande variedade de espécies disponíveis para uso estrutural, disponibilidade do material em várias regiões do país, e maior sustentabilidade no uso da madeira quando comparada a outros materiais de construção civil. Sendo assim, ocorre a procura por edificações em madeira e ganham impulso grandes inspirações arquitetônicas.

A madeira é um material bastante utilizado na construção civil em regiões de clima frio por ser um isolante térmico natural. Países como a Suíça ganharam notoriedade pelas suas construções de regiões frias utilizando madeira, e a arquitetura dos chalés suíços é reproduzida em diversas partes do mundo.

Chalés rústicos de veraneio arquitetados em madeira são atrações em cidades turísticas de clima frio no Brasil, como Campos do Jordão – SP, Santo Antônio do Pinhal – SP, Monte Verde – MG e Gramado – RS, -entre outras cidades. As pessoas almejam nessas construções tranquilidade, conforto e a beleza de um ambiente diferente do que encontram no dia a dia.

Este trabalho trata do projeto de um chalé de veraneio com estrutura híbrida em madeira e concreto armado, focado na arquitetura rústica e no dimensionamento das peças estruturais da edificação, a qual contém um quarto com espaço para banheira e varanda, sala, cozinha e banheiro.

O intuito do projeto é que ele possa ser implantado em uma região turística que tenha arquitetura típica de clima frio e que as pessoas possam desfrutar da beleza, rusticidade e sofisticação que esse tipo de construção proporciona.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O chalé

O chalé é um estilo arquitetônico que teve origem nos Alpes Suíços. Esse modelo de construção é bastante utilizado por sua durabilidade, facilidade de construção e fácil escoamento da neve devido a inclinação do telhado como mostra a Figura 01.

Figura 01 – Chalé nos Alpes Suíços



Fonte: Chalé de Madeira (2020)

Levando em consideração sua funcionalidade, os chalés foram difundidos para outros países de clima frio como Estados Unidos da América e países da Europa, passando a ser utilizados em larga escala e adotados por arquitetos renomados.

Atualmente, esse estilo é utilizado no mundo todo pela sua beleza e rusticidade. No Brasil, essas edificações são muito procuradas em períodos de férias e descanso por famílias e casais que procuram sossego em meio à natureza. Além da procura para lazer, os chalés também são utilizados como moradia, principalmente em países onde predomina o inverno e há precipitação de neve. Além de sua funcionalidade existe uma ampla possibilidade de materiais que podem ser utilizados em sua construção, fazendo com que seu custo também seja variado.

No Brasil, por mais que não se tenha precipitação de neve como característica de seu clima, os chalés começaram a ser construídos quando imigrantes europeus se instalaram no país durante a colonização, principalmente na região sul. Com o decorrer dos anos, o estilo

arquitetônico virou atração em diversas cidades turísticas que possuem clima frio como Gramado – RS, Campos do Jordão – SP e Monte Verde – MG. A Figura 02 retrata um modelo de chalé situado em Gramado – RS.

Figura 02 – Cabana dos Pinheiros



Fonte: Mochileiros (2021)

Um chalé que emprega madeira em sua construção pode ser observado na Figura 03. A edificação fica localizada em Campos do Jordão-SP.

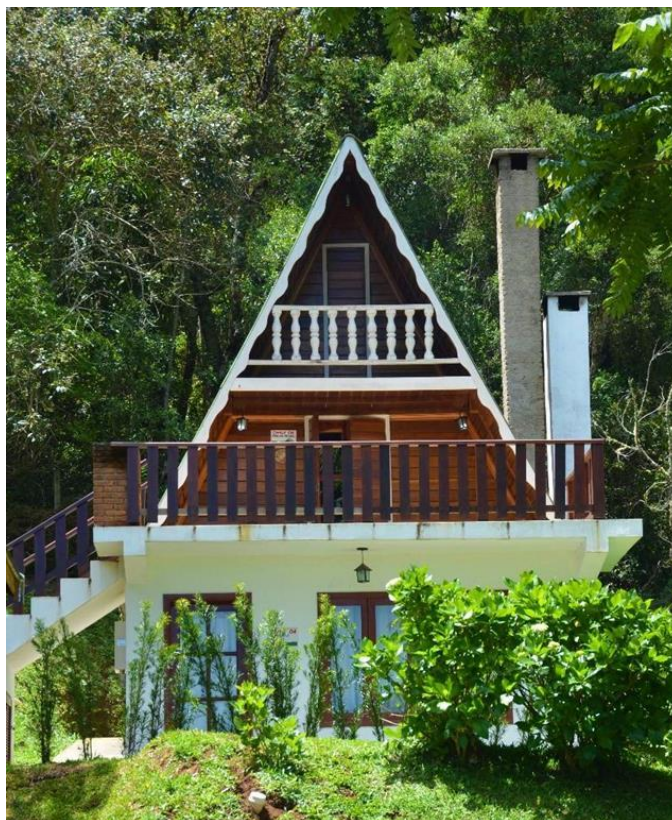
Figura 03 – Chalé do Vale encantado em Campos do Jordão - SP



Fonte: Jovempan (2020)

Em Monte Verde-MG localiza-se um chalé onde predominam a madeira e o concreto armado, conforme mostrado na Figura 04.

Figura 04 – Chalé em Monte Verde - MG



Fonte: Chalés dos Alpes (2018)

Como característica construtiva, são edificações em formato triangular cujo telhado se destaca com elevada inclinação. Além do telhado, também são caracterizados por serem pequenos e em sua grande maioria rústicos.

Sua estrutura pode ser feita de diferentes materiais, como madeira, concreto armado, alvenaria estrutural ou estrutura metálica a depender do estilo desejado, podendo apresentar múltiplos pavimentos. O telhado dos chalés pode ser constituído de telhas cerâmicas, metálicas, fibrocimento e sanduíches, e requerem adequada fixação por meio de amarrações e/ou pinos metálicos na estrutura, dada a inclinação elevada.

2.2 Obras de referência para a proposta

Para a concepção arquitetônica têm-se como referência no Brasil obras do arquiteto brasileiro Roger Camillo, que projeta em diversas regiões do país, chalés sofisticados com características marcantes como a utilização de vidro na fachada, o telhado escuro e a madeira como principal elemento visual e estrutural da edificação. Os projetos Arbocabanas, localizado

na Serra da Graciosa, no estado do Paraná (Figura 05), e Chateau do Sossego, localizado em Piranguçu, Minas Gerais (Figura 06) são exemplos da arquitetura mencionada.

Figura 05 – Projeto Arbocabanas, na Serra da Graciosa - PR



Fonte: Setta Arquitetura (2022)

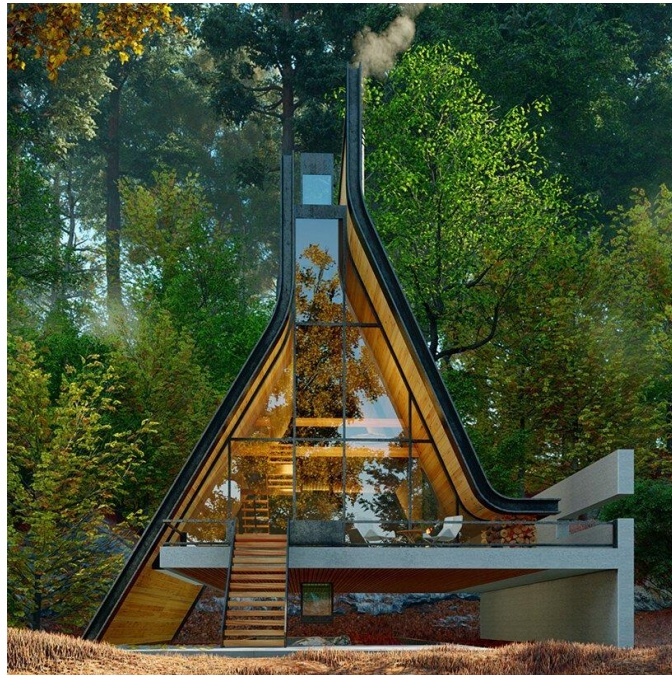
Figura 06 – Chateau do Sossego, em Piranguçu - MG



Fonte: Setta Arquitetura (2021)

Como referência internacional têm-se a chamada A-frame, que é a construção de madeira em formato de “A”. Esse modelo de chalé, também chamado de cabana, são em sua grande maioria com design contemporâneo. A obra Kujdane Cabin (Figura 07), projetada pelos arquitetos Yaser Rashid Shomali e Yasin Rashid Shomali a ser implantada em Gilão no Irã, e Maggie A-frame (Figura 08), projeto autoral de Frankie Ratford, implantado na Austrália, são exemplos de chalés referências para a proposta do projeto final.

Figura 07 - Kujdane Cabin



Fonte: Shomali Design (2020)

Figura 08 – Maggie A-frame



Fonte: Hunting for George (2021)

2.3 A estrutura do chalé

Vários edifícios atualmente são estruturados usando construção híbrida. Os sistemas que combinam madeira com diferentes materiais (por exemplo, aço, concreto e vidro) e técnicas oferecem uma ampla gama de soluções estruturais. Embora seja possível construir um edifício inteiramente de madeira, a maioria dos edifícios depende do uso de outros materiais. Pregos, parafusos, cavilhas e placas para ligações são complementos padrões para essas construções. A construção em madeira de forma híbrida vai além, tornando outros materiais – como aço e concreto – parte integrante dos conjuntos estruturais de um edifício. Essa mistura de materiais em sistemas de construção significa que as equipes de projeto podem explorar o potencial de cada um, otimizando o desempenho estrutural do edifício. (FORESTRY INNOVATION INVESTMENT, 2020).

Além do objetivo arquitetônico e estético, existem vantagens a serem consideradas na combinação de materiais, como a economia no custo das fundações, pois a estrutura de concreto tem uma carga elevada comparada com a da madeira, e a diminuição do impacto ambiental, pois utilizando madeira há uma redução significativa na emissão de carbono na atmosfera.

Com relação à geometria, em formato de “A” ou triangular, o chalé tem sua estrutura diferente das convencionais em alguns aspectos, pois o telhado se estende da base até a cumeeira, fazendo com que em sua lateral não haja necessidade de parede, sendo a vedação feita pelo próprio telhado.

Sua cobertura pode ser composta por elementos estruturais distintos, a depender não só da necessidade de sustentação, mas também da arquitetura. Alguns projetos, por exemplo, utilizam apenas terças no telhado, apoiando as telhas diretamente nas terças; já outros fazem o uso somente de caibros e ripas, descarregando a carga dos caibros diretamente na estrutura da edificação.

As ripas são elementos estruturais que tem função principal ser o apoio das telhas. São elas que irão receber os esforços causados pelo peso das telhas, pela força do vento e demais ações que atuarão na estrutura, e posteriormente irão distribuir essas cargas para as demais peças estruturais.

Os caibros são peças que usualmente recebem as cargas das ripas e distribuem nas terças. Eles ficam perpendiculares às ripas.

A terça é o elemento estrutural do telhado responsável por receber a carga dos caibros e distribuir para as tesouras ou diretamente para a estrutura da edificação, como pilares, vigas ou lajes.

Já a estrutura que receberá as solicitações do telhado e de utilização do chalé é composta por vigas, pilares e laje de concreto armado, as quais têm como principal função transmitir todas as ações para a fundação.

3 METODOLOGIA

3.1 Concepção do Projeto Arquitetônico

A ideia inicial de chalé de veraneio se deu com a busca por uma construção em madeira voltada para ambientes em meio à natureza, que fosse sustentável e que remetesse à tranquilidade e ao lazer. O estilo é um misto de rusticidade com contemporaneidade onde, a simplicidade do campo se encontra com a modernidade dos grandes centros urbanos transmitindo suavidade, aconchego e comodidade aos visitantes.

Como os locais pretendidos de implantação são cidades turísticas de clima frio, destinos muito procurados para viagens a dois, o projeto arquitetônico desenvolvido tem por objetivo acomodar um casal que busca por um ambiente romântico para passar temporada.

O chalé projetado tem como característica construtiva a estrutura híbrida, a qual consiste em utilizar dois ou mais materiais portantes na edificação. Neste caso foram empregados a madeira e o concreto armado. A madeira atua como estrutura no telhado e como revestimento nas demais áreas do chalé, estando presente no assoalho, nas paredes e no forro; já o concreto armado compõe laje, vigas e pilares, transmitindo as cargas até a fundação.

Nas Figuras 09 e 10 são mostrados, respectivamente, os layouts dos pavimentos superior e térreo do chalé, com vistas ao estudo do espaço e compatibilização com o projeto estrutural.

As pranchas do projeto arquitetônico completo com todas as vistas são apresentadas no Apêndice 01.

Figura 09 – Layout do pavimento térreo



Fonte: Da autora (2022)

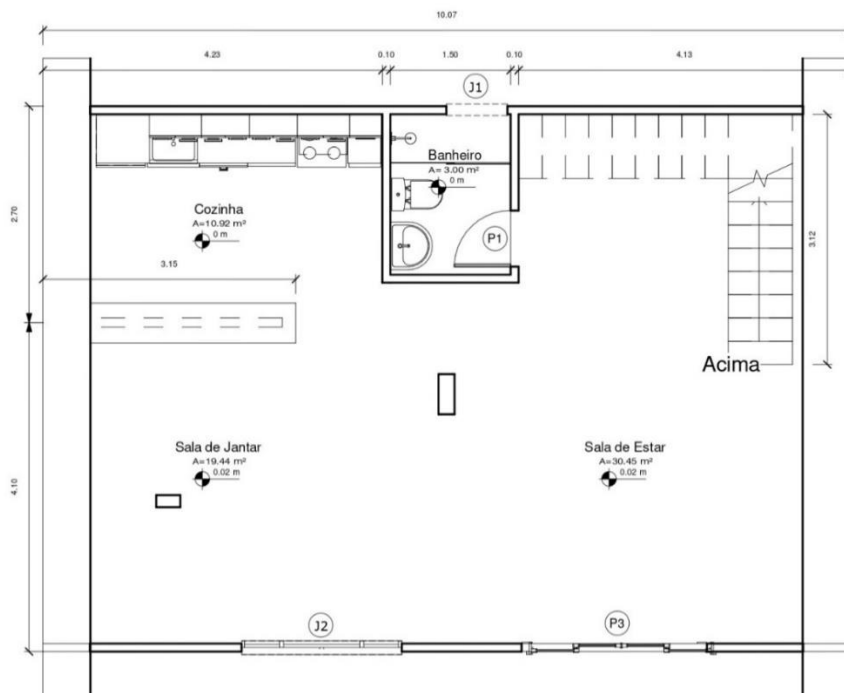
Figura 10 – Layout do pavimento superior



Fonte: Da autora (2022)

No pavimento térreo da edificação situam-se a sala de estar com 19,44 m² e a sala de jantar com 30,45 m², bem como a cozinha e um banheiro com 10,92 m² e 3 m², respectivamente, conforme mostrado na Figura 11.

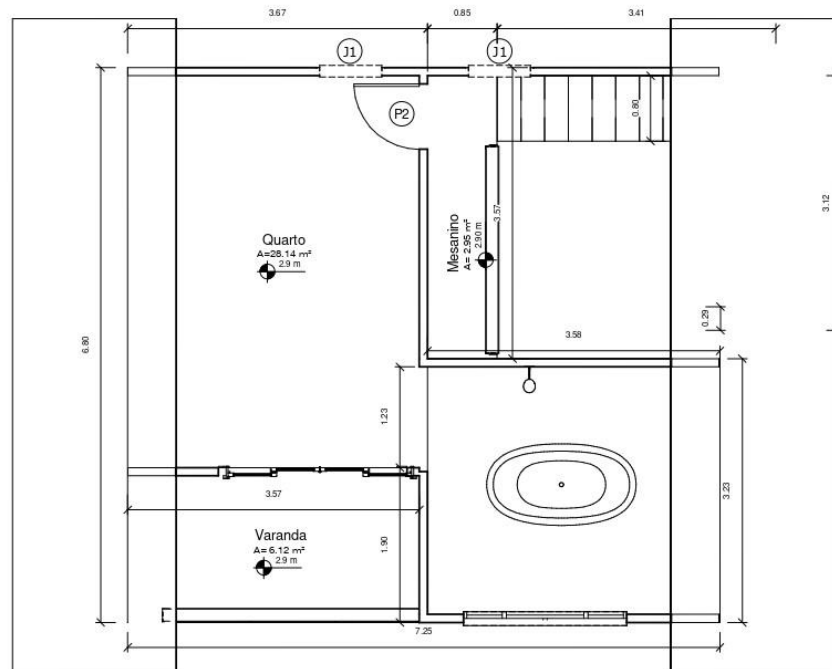
Figura 11 – Planta baixa do térreo



Fonte: Da autora (2022)

Os cômodos são dispostos de modo que a privacidade do casal esteja no andar superior. Ao subir as escadas, o casal se depara com um mezanino de 2,95 m² na entrada do quarto cuja área é de 28,14 m², uma banheira de hidromassagem com capacidade de 1000 litros e uma varanda de 6,12 m² com vista para o campo, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Planta baixa do pavimento superior



Fonte: Da autora (2022)

3.2 Materiais a serem utilizados na construção

A madeira é o material predominante na arquitetura do chalé. Ela está presente nas paredes, no piso, no teto e na estrutura do telhado, a qual é aparente compondo também o estilo arquitetônico da edificação.

O cimento queimado é o revestimento utilizado no piso das áreas molhadas e na escada, remetendo a um efeito de rusticidade e sofisticação ao mesmo tempo para o cômodo, e combinando com a madeira.

O porcelanato compõe as paredes do banheiro, na cor cinza fosco e como revestimento decorativo amadeirado nas paredes internas do box. As bancadas da cozinha são de granito Aqualux® e as esquadrias utilizadas no projeto são em madeira e vidro.

Apesar desse estilo de edificação dispensar paredes de vedação na lateral das águas do telhado, é necessário fazer o fechamento da fachada frontal e posterior. O material escolhido para este fim é o tijolo maciço, o qual está à vista externamente e revestido de madeira na parte interna do chalé.

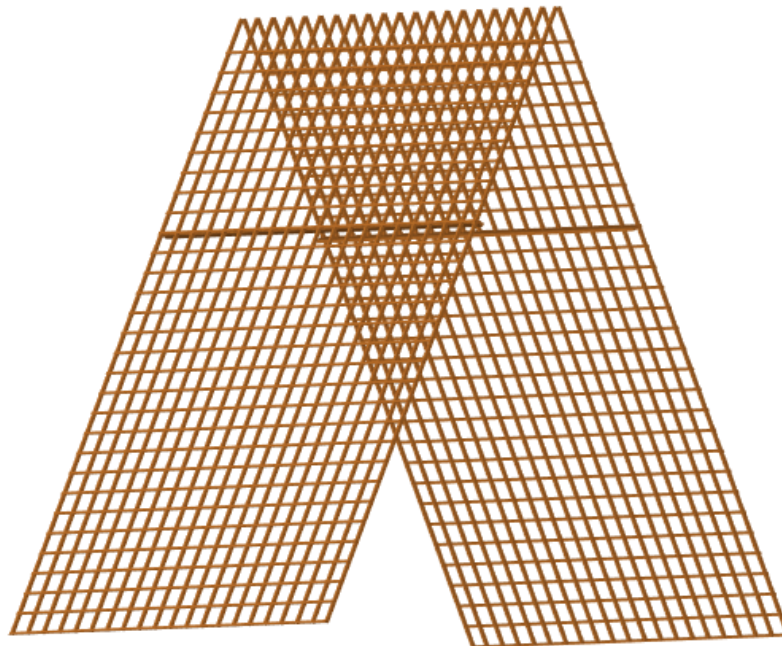
Essa combinação de diferentes materiais e união em um só estilo faz com que exista uma flexibilidade na elaboração das plantas baixas e da disposição dos elementos estruturais, pois um material pode ser substituído pelo outro facilmente sem que haja modificação brusca na proposta arquitetônica inicial.

3.3 Concepção do Projeto Estrutural

3.3.1 Estrutura do telhado

A estrutura do telhado é composta por ripas, caibros e terças, conforme mostra a Figura 13, sendo esses elementos responsáveis por transmitir a carga da cobertura para a superestrutura do chalé. Para fazer o dimensionamento das peças, inicia-se pelas ripas, que recebem a carga permanente das telhas e a variável da ação do vento, posteriormente dimensionam-se os caibros, os quais suportam as cargas das ripas e descarregam nas terças e diretamente em vigas de concreto e, por último, as terças, sendo suporte para a carga da cobertura toda e transmitindo para as vigas de concreto.

Figura 13 – Estrutura do telhado



Fonte: Da autora (2022)

Para se iniciar uma construção em madeira é importante avaliar as características físico-mecânicas que determinarão qual a melhor escolha da espécie da madeira de acordo com a necessidade de cada projeto. Tais características são cruciais para a determinação da resistência da madeira, bem como sua durabilidade de acordo com o local onde se deseja construir.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) é a norma técnica que contém o regramento para elaboração de projetos estruturais de madeira. Nela são considerados fatores como as variabilidades de resistência e rigidez da madeira de acordo com sua espécie, seu desempenho em função dos carregamentos e seu comportamento de acordo com o ambiente em que será instalado. É de suma importância conhecer os parâmetros que determinam tais características da madeira e que afetarão diretamente na escolha da mesma em cada tipo de estrutura.

Os aspectos a serem considerados no cálculo da resistência da madeira são aqueles que influenciam na máxima tensão suportada sem que ocorram grandes deformações ou ruptura na estrutura. Os efeitos de duração do carregamento, a umidade do ambiente, a densidade da madeira, o módulo de elasticidade de acordo com a orientação das fibras diante do carregamento são determinantes para o emprego da madeira em determinada situação estrutural.

A madeira é um material ortotrópico, ou seja, possui diferentes comportamentos dependendo da direção de suas fibras perante um carregamento. Sendo assim, para dimensionar uma peça estrutural de madeira é necessário considerar, além dos fatores citados anteriormente, o sentido do carregamento em relação às suas fibras.

Nos projetos são consideradas, dentre outras, as resistências à compressão, tração, cisalhamento e embutimento nas direções paralela e normal às fibras, de acordo com a solicitação na peça. Com relação à rigidez, o módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras é a referência empregada atualmente.

A determinação das cargas solicitantes na estrutura é feita para verificação de segurança no estado limite último (ELU) e no estado limite de serviço (ELS). Os esforços de cálculo são usualmente determinados para combinação última normal e calculados a partir do somatório das ações permanentes e quase permanentes que atuam na estrutura conforme as Equações 01 e 02.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q [F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k}] \quad (01)$$

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad (02)$$

Onde:

γ_{Gi} é o coeficiente de majoração para combinação permanente das ações;

$F_{Gi,k}$ é a carga permanente aplicada;

γ_Q é o coeficiente de ponderação para combinações variáveis de ações;

$F_{Q1,k}$ é a carga variável principal;

Ψ_{0j} e Ψ_{2j} são fatores de combinação e de utilização;

$F_{Qj,k}$ é a carga variável secundária.

As Tabelas 01 e 02 contém os valores dos coeficientes de majoração γ_G e γ_Q para ações permanentes e variáveis, respectivamente, de acordo com o tipo de carregamento: normal, especial ou excepcional.

Tabela 01 – Coeficientes de ponderação para combinação permanente de ações.

| Ações permanentes | | |
|--------------------------|------------------|------------------|
| Combinações | Para efeitos | |
| | Desfavoráveis | Favoráveis |
| Normais | $\gamma_G = 1,4$ | $\gamma_G = 0,9$ |
| Especiais | $\gamma_G = 1,3$ | $\gamma_G = 0,9$ |
| Excepcionais | $\gamma_G = 1,2$ | $\gamma_G = 0,9$ |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997)

Tabela 02 – Coeficiente de ponderação para combinações variáveis de ações.

| Ações variáveis | |
|------------------------|------------------|
| Combinações | Ações em geral |
| Normais | $\gamma_Q = 1,4$ |
| Especiais | $\gamma_Q = 1,2$ |
| Excepcionais | $\gamma_Q = 1,0$ |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997)

Na Tabela 03 são mostrados os valores dos fatores de combinação de acordo com o tipo de ação variável aplicada na estrutura.

Tabela 03 – Fatores de combinação e utilização

| Ações em estruturas correntes | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
|--|----------|----------|----------|
| - Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local | 0,6 | 0,5 | 0,3 |
| - Pressão dinâmica do vento | 0,5 | 0,2 | 0 |
| Cargas acidentais dos edifícios | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
| - Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas. | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| - Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas. | 0,7 | 0,6 | 0,4 |
| - Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens | 0,8 | 0,7 | 0,6 |

Fonte: Adaptada da NBR 7190 (ABNT, 1997)

As solicitações de cálculo (Sd) são comparadas às resistências de cálculo (Rd), sendo necessário que as tensões resistentes sejam superiores, ou no máximo iguais às solicitantes para a peça estar de acordo com os critérios de dimensionamento.

Para padronizar as propriedades da madeira e possibilitar a utilização de várias espécies que possuem características semelhantes em um mesmo projeto, existem as classes de resistências, as quais são separadas para as dicotiledôneas e para as coníferas, e agrupadas em função da sua resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$).

As propriedades das coníferas e das dicotiledôneas estão presentes nas Tabelas 04 e 05 de acordo com suas classes de resistência. As variáveis $f_{c0,k}$ e $f_{v,k}$ são as resistências características à compressão paralela e ao cisalhamento, respectivamente, $E_{c0,m}$ é o módulo de elasticidade médio na compressão paralela e $\rho_{bas,m}$ é a densidade básica média, e $\rho_{aparente}$ é a densidade aparente média da classe representada.

Tabela 04 – Classes de resistência para coníferas.

| Coníferas | | | | | |
|--|-------------------|------------------|-------------------|-------------------------------------|--|
| Valores na condição padrão de referência U=12% | | | | | |
| Classes | $f_{c0,k}$ MPa | $f_{v,k}$ MPa | $E_{c0,m}$ MPa | $\rho_{bas,m}$ kg/m ³ | $\rho_{aparente}$ kg/m ³ |
| C20 | 20 | 4 | 3500 | 400 | 500 |
| C25 | 25 | 5 | 8500 | 450 | 550 |
| C30 | 30 | 6 | 14500 | 500 | 600 |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997)

Tabela 05 – Classes de resistência para dicotiledôneas.

| Dicotiledôneas | | | | | |
|--|-------------------|------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Valores na condição padrão de referência U=12% | | | | | |
| Classes | $f_{c0,k}$ MPa | $f_{v,k}$ MPa | $E_{c0,m}$ MPa | $P_{bas,m}$ kg/m ³ | $P_{aparente}$ kg/m ³ |
| C20 | 20 | 4 | 9500 | 500 | 650 |
| C30 | 30 | 5 | 14500 | 650 | 800 |
| C40 | 40 | 6 | 19500 | 750 | 950 |
| C60 | 60 | 8 | 24500 | 800 | 1000 |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997)

Os fatores que influenciam na resistência da madeira são considerados através do k_{mod} , coeficiente de modificação que ajusta os valores de resistência em função do tipo de material, o tempo de carregamento, o efeito da umidade e a classificação estrutural da madeira.

O coeficiente parcial de modificação $k_{mod 1}$, com valores mostrados na Tabela 06, leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado.

Tabela 06 – Valores de $k_{mod 1}$

| Classe de carregamento | Tabela 06 – Valores de $k_{mod 1}$ | |
|------------------------|--|--------------------|
| | Madeira serrada, laminada e compensada | Madeira recomposta |
| Permanente | 0,60 | 0,30 |
| Longa duração | 0,70 | 0,45 |
| Média duração | 0,80 | 0,65 |
| Curta duração | 0,90 | 0,90 |
| Instantânea | 1,10 | 1,10 |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997)

A umidade considerada em projeto é a umidade de equilíbrio da madeira de acordo com o local onde o projeto será executado. Para isso, são consideradas de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) as classes de umidade presentes na Tabela 07.

Tabela 07 – Classes de umidade

| Classe de umidade | Tabela 07 – Classes de umidade | |
|-------------------|--|----------------------------------|
| | Umidade relativa do ambiente | Umidade de equilíbrio da madeira |
| 1 | $\leq 65\%$ | 12% |
| 2 | $65\% < U_{amb} \leq 75\%$ | 15% |
| 3 | $75\% < U_{amb} \leq 85\%$ | 18% |
| 4 | $U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos | $\geq 25\%$ |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997)

O coeficiente parcial de modificação $k_{mod 2}$, cujos valores estão contidos na Tabela 08, leva em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado.

Tabela 08 – Valores de $k_{mod 2}$

| Classe de umidade | Tabela 08 – Valores de $k_{mod 2}$ | |
|-------------------|--|--------------------|
| | Madeira serrada, laminada e compensada | Madeira recomposta |
| 1 e 2 | 1,0 | 1,0 |
| 3 e 4 | 0,8 | 0,9 |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997)

O coeficiente parcial de modificação $k_{mod 3}$, com valores mostrados na Tabela 09, leva em conta a categoria da madeira. A primeira categoria engloba madeiras que foram classificadas

visualmente e/ou mecanicamente com a menor quantidade de defeitos e maior qualidade estrutural. As demais madeiras são classificadas como segunda categoria.

Tabela 09 – Valores de $k_{mod\ 3}$

| Valores de $k_{mod\ 3}$ | |
|--|--|
| Madeira de primeira categoria, classificada visualmente e mecanicamente. | Madeira de segunda categoria, não classificada, e coníferas. |
| 1,0 | 0,8 |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997)

Por fim, o k_{mod} é dado pelo produto de suas parciais conforme a Equação 03.

$$k_{mod} = k_{mod\ 1} \cdot k_{mod\ 2} \cdot k_{mod\ 3} \quad (03)$$

A resistência de cálculo f_d é obtida a partir do valor característico da resistência (f_{ck}) da madeira, sendo ele reduzido pelos coeficientes de modificação (k_{mod}) da madeira e minoração (γ_w) da solicitação, conforme a Equação 04.

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_w} \quad (04)$$

O coeficiente de minoração (γ_w) varia de acordo com a direção da solicitação da carga, bem como o estado limite de verificação o qual a peça se encontra conforme a mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – coeficiente de minoração.

| ELU | |
|---------------------------------|----------------|
| Compressão paralela às fibras | $\gamma_w=1,4$ |
| Tração paralela às fibras | $\gamma_w=1,8$ |
| Cisalhamento paralelo às fibras | $\gamma_w=1,8$ |
| ELS | |
| | $\gamma_w=1,0$ |

Fonte: Adaptada NBR 7190 (ABNT, 1997)

3.3.1.1 Dimensionamento das ripas

O esforço atuante nas ripas é a flexão oblíqua, pois elas recebem cargas que produzem momentos fletores e esforços cortantes nas peças cujas atuações não ocorrem nos planos principais da seção. A verificação de segurança é feita nos vértices da seção onde se têm máximas tensões de tração e de compressão. Para seu cálculo deve-se considerar a carga das telhas como permanente na estrutura e a ação do vento como variável, além do seu peso próprio e o peso das ligações.

A telha utilizada é a cerâmica, sendo possível amarrá-las nas ripas. Suas dimensões constam na Tabela 11. A madeira utilizada nas ripas é da classe C40, e a Tabela 12 contém algumas propriedades dessa classe.

Tabela 11 – Dimensões da telha

| Telha cerâmica | |
|-----------------------|------|
| Comprimento - cm | 44,9 |
| Largura - cm | 26,4 |
| Galga - cm | 37,5 |

Fonte: Da autora (2022)

Tabela 12 – Propriedades da madeira da classe C40

| | |
|---------------------------------------|----------|
| ρ_{ap} (12%) - kN/m ³ | 9,50 |
| f_{c0k} - MPa | 40,00 |
| f_{t0k} - MPa | 51,95 |
| f_{c90k} - MPa | 10,00 |
| f_{vk} - MPa | 6,00 |
| $E_{c0,m}$ - MPa | 19500,00 |
| $E_{c0,ef}$ - MPa | 10920,00 |
| γ_w - compressão | 1,40 |
| γ_w - cisalhamento | 1,80 |

Fonte: adaptada NBR 7190 (ABNT, 1997)

A Tabela 13 contém o valor de K_{mod} calculado de acordo com as Tabelas 06, 07, 08 e 09.

Tabela 13 - K_{mod} calculado

| K_{mod} | | |
|-----------------------------|---------|-------------|
| longa duração | k mod 1 | 0,7 |
| umidade 1 | k mod 2 | 1 |
| segunda categoria | k mod 3 | 0,8 |
| k mod | | 0,56 |

Fonte: Da autora (2022)

Para calcular a ação do vento na estrutura é necessário fazer algumas considerações que influenciam diretamente na intensidade que o vento age na edificação. Essas considerações levam em conta a velocidade do vento na região de implantação, a rugosidade e altura do terreno, e fatores topográficos, entre outros.

De acordo com a NBR 6123 (ABNT, 1998) foi calculada a ação do vento no telhado, e são demonstrados os resultados na Tabela 14.

Tabela 14 – Ação do vento

| Ação do vento | | |
|----------------------|---------|------------------------------------|
| V0 - m/s | 45 | SP |
| S1 | 1 | Terrenos com $\theta \leq 3^\circ$ |
| S2 | 0,86 | Cat. IV; Classe A (z=10 m) |
| S3 | 0,88 | Grupo 4 |
| Vk - m/s | 34,056 | |
| q - N/m ² | 710,964 | |
| C _{pe} 0° | 0,7 | Sobre pressão |
| C _{pe} 90° | -0,9 | sucção |
| C _{pi} 2 | -0,3 | impermeável |
| ΔC_p (N) | 1 | sobre pressão |
| ΔC_p (kN) | -0,6 | sucção |
| Fv x - kN/m | 0,267 | sobre pressão em x |
| Fv x - kN/m | -0,160 | sucção em x |
| Fv θ - kN/m | 0,2173 | sobre pressão inclinada |
| Fv θ - kN/m | -0,1304 | sucção inclinada |

Fonte: Da autora (2022)

Analisando a Tabela 14, observa-se que a força do vento é mais crítica na sobre pressão na direção X, com valor de aproximadamente 0,267 kN/m, portanto ela é a carga do vento utilizada nos próximos cálculos.

Para iniciar as verificações de resistência da peça são consideradas as dimensões iniciais desejadas para a ripa, e, se necessário, posteriormente a seção é aumentada caso não suporte as cargas a que estão sujeitas. As dimensões iniciais adotadas para o projeto são mostradas na Tabela 15.

Tabela 15 – Dimensões de projeto da ripa

| Dimensões da ripa | |
|-----------------------------------|-------|
| Largura (cm) | 5,00 |
| Altura (cm) | 1,50 |
| Área útil (cm ²) | 7,50 |
| I _y (cm ⁴) | 1,41 |
| I _x (cm ⁴) | 15,63 |

Fonte: Da autora (2022)

Em que: I_x e I_y são as inércias da ripa relativas às direções x e y, respectivamente.

Utilizando a Equação 01, foram calculados os valores das combinações de ações para o ELU, considerando a carga da telha, o peso próprio da ripa e das ligações como permanentes, e a carga do vento como variável (Tabela 16).

Tabela 16 – Combinação de ações para estado limite último das ripas

| Combinação de ações ELU | |
|-----------------------------|-------|
| γ_g – desfavorável | 1,40 |
| γ_q | 1,40 |
| γ_g – favorável | 0,90 |
| Q telha – kN/m ² | 0,450 |
| Q telha – kN/m | 0,267 |
| Q p. próprio – kN/m | 0,007 |
| Fd desfav. Y – kN/m | 0,657 |
| Fd desfav. X – kN/m | 0,383 |
| Fd fav.- kN/m | 0,444 |

Fonte: Da autora (2022)

Analisando a Tabela 16, nota-se que a solicitação crítica na ripa é desfavorável à estrutura e atua na direção Y com valor de 0,657 kN/m.

O cálculo das tensões solicitantes de compressão, tração e cisalhamento da peça é feito através das Equações 5, 6 e 7, respectivamente, e a verificação de resistência para ELU é obtida por meio das Equações 8, 9 e 10, para o comparativo da tensão solicitante com a resistência de cálculo da peça.

$$\sigma_{c,d} = \frac{M}{I}y \quad (5)$$

$$\sigma_{t,d} = \frac{M}{I}y \quad (6)$$

$$\tau_d = \frac{3V}{2A} \quad (7)$$

Em que:

M = momento fletor solicitante;

I = momento de inércia da seção;

y = distância de interesse da tensão de compressão ou tração em relação à linha neutra;

V = esforço cortante;

A = área da seção transversal.

$$\sigma_{c,d} \leq f_{c0,d} \quad (8)$$

$$\sigma_{t,d} \leq f_{t0,d} \quad (9)$$

$$\tau_d \leq f_{v0,d} \quad (10)$$

Em que:

$\sigma_{c,d}$ = tensão de compressão solicitante de cálculo;

$\sigma_{t,d}$ = tensão de tração solicitante de cálculo;

τ_d = tensão de cisalhamento solicitante de cálculo;

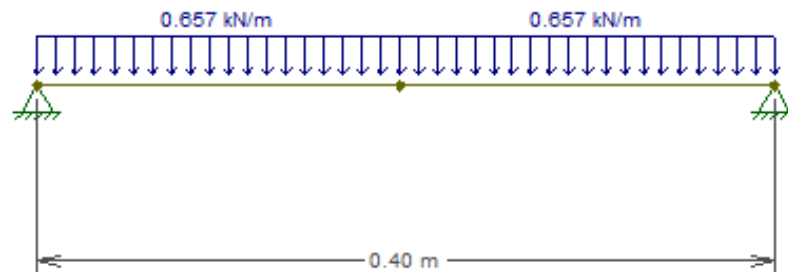
$f_{c0,d}$ = resistência à compressão de cálculo;

$f_{i0,d}$ = resistência à tração de cálculo;

$f_{v0,d}$ = resistência ao cisalhamento de cálculo;

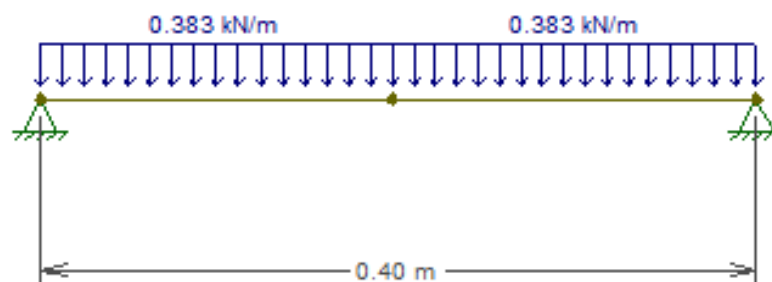
Os esquemas de carregamento da peça (Figuras 14 e 15), os diagramas de esforço cortante (Figura 16 e 17) e os momentos fletores (Figura 18 e 19) da ripa foram obtidos por meio do *software* Ftool® .

Figura 14 – Esquema de carregamento em Y da ripa



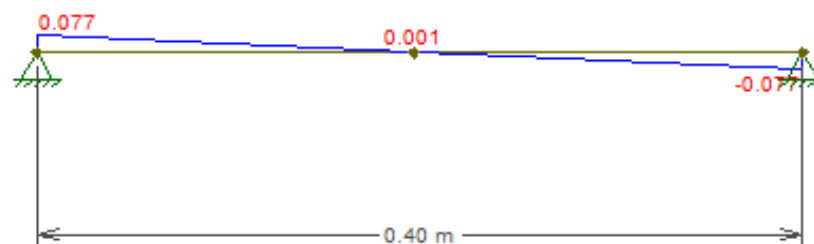
Fonte: Da autora (2022)

Figura 15 – Esquema de carregamento em X da ripa



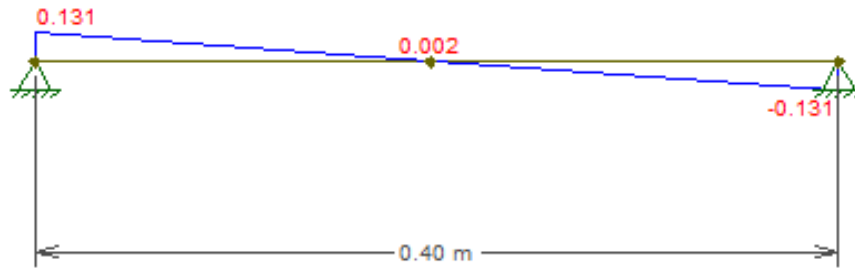
Fonte: Da autora (2022)

Figura 16 – Diagrama de esforços cortantes na direção X da ripa (kN)



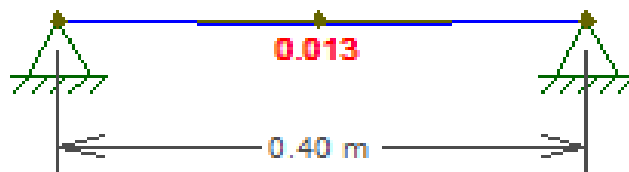
Fonte: Da autora (2022)

Figura 17 – Diagrama de esforços cortantes na direção Y da ripa (kN)



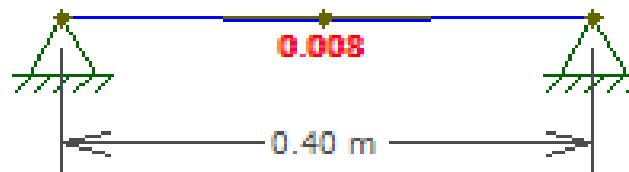
Fonte: Da autora (2022)

Figura 18 – Diagrama de momento fletor em Y da ripa (kN.m)



Fonte: Da autora (2022)

Figura 19 – Diagrama de momento fletor em X da ripa (kN.m)



Fonte: Da autora (2022)

Após o cálculo de esforço cortante e momento fletor, faz-se o cálculo da tensão atuante de compressão, tração e cisalhamento da peça por meio das Equações 05, 06 e 07. A Tabela 17 contém os resultados obtidos.

Tabela 17 – Dados de cálculo das ripas

(continua)

| Dados de cálculo ELU – Flexão oblíqua | |
|--|----------|
| k_m | 0,5 |
| $M_{d,x}$ – kN.m | 0,008 |
| $M_{d,y}$ – kN.m | 0,013 |
| y_x – m | 0,025 |
| y_y – m | 0,008 |
| $\sigma_{cd,x}$ – kN/m ² | 1226,76 |
| $\sigma_{td,x}$ – kN/m ² | 1226,76 |
| $\sigma_{cd,y}$ – kN/m ² | 7007,79 |
| $\sigma_{td,y}$ – kN/m ² | 7007,79 |
| $f_{c0,d}$ – kN/m ² | 16000,00 |
| $f_{t0,d}$ – kN/m ² | 16000,00 |

(continuação)

| Dados de cálculo ELU – Cisalhamento | |
|--|---------|
| V_y – kN | 0,131 |
| V_x – kN | 0,077 |
| $\tau_{d,y}$ – kN/m ² | 262,79 |
| $\tau_{d,x}$ – kN/m ² | 153,35 |
| τ_d – kN/m ² | 304,26 |
| $f_{v,d}$ – kN/m ² | 1866,67 |

Fonte: Da autora (2022)

A verificação de resistência para ELU é obtida por meio das Equações 8, 9 e 10. A Tabela 18 contém os resultados das verificações.

Tabela 18 - Verificação de segurança das ripas

| Tensão | Tensão solicitante de cálculo (kN/m²) | Resistência de cálculo (kN/m²) | Verificação |
|-------------------|---|--|--------------------|
| Compressão em X | 1226,763 | 16000,000 | Atende |
| Compressão em Y | 7007,794 | 16000,000 | Atende |
| Tração em X | 1226,763 | 16000,000 | Atende |
| Tração em Y | 7007,794 | 16000,000 | Atende |
| Cisalhamento em X | 153,345 | 1866,667 | Atende |
| Cisalhamento em Y | 262,792 | 1866,667 | Atende |

Fonte: Da autora (2022)

Para verificar se o deslocamento provocado pela flexão não é excessivo em relação ao limite estabelecido por norma, faz-se a verificação para ELS calculando a flecha causada pelos esforços solicitantes e comparando com o deslocamento limite da peça.

O cálculo da flecha em peças biapoiadas se dá por meio da Equação 11, para carga concentrada no meio do vão, e da Equação 12, para carga distribuída em todo o vão. A Equação 13 calcula o módulo de elasticidade efetivo.

$$f = \frac{Pl^3}{48 \cdot E_{c0,ef} I} \quad (11)$$

$$f = \frac{5Pl^4}{384 \cdot E_{c0,ef} I} \quad (12)$$

$$E_{c0,ef} = k_{mod} \cdot E_{c0,m} \quad (13)$$

Em que:

P = carga aplicada;

l = comprimento da peça;

I = momento de inércia da seção;

$E_{c0,ef}$ = módulo de elasticidade efetivo na compressão paralela;

Os deslocamentos limites são preconizados pela NBR 7190 (ABNT, 1997) e estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Deslocamento limite

| Verificação | Ações a considerar e combinações | Deslocamento calculado | Deslocamento limite |
|---|---|----------------------------|-----------------------------|
| Construções correntes | Permanentes + variáveis | Em um vão 'L' entre apoios | $\frac{L}{200}$ |
| | Fazer combinação de longa duração | Em balanço de vão Lb | $\frac{L_b}{100}$ |
| Construções com materiais frágeis não estruturais | Permanentes + variáveis Pode-se fazer combinação de média ou curta duração | Em um vão 'L' entre apoios | $\frac{L}{350}$ |
| | | Em balanço de vão Lb | $\frac{L_b}{175}$ |
| | Variáveis Pode-se fazer combinação de média ou curta duração | Em um vão 'L' entre apoios | $\frac{L}{300} \leq 15mm$ |
| | | Em balanço de vão Lb | $\frac{L_b}{150} \leq 15mm$ |

Fonte: Adaptada NBR 7190(ABNT, 1997)

Já a verificação para ELS é feita conforme a Equação 14.

$$S_{d,uti} \leq S_{lim} \quad (14)$$

Onde:

$S_{d,uti}$ = valores dos efeitos estruturais decorrentes da aplicação das ações estabelecidas para a verificação, calculados com a hipótese de comportamento elástico linear da estrutura.

S_{lim} = valor limite fixado para o efeito estrutural que determina o aparecimento do estado limite considerado.

A Tabela 20 contém os valores considerados nos cálculos e os deslocamentos obtidos para a verificação da ripa.

Tabela 20 - Cálculo de deslocamento das ripas

| | |
|-------------------------|-------|
| Ψ_2 vento | 0 |
| Q_{telha} – kN/m | 0,267 |
| Q_{vento} – kN/m | 0,217 |
| $Q_{p. próprio}$ – kN/m | 0,007 |
| F_{dy} – kN/m | 0,252 |
| F_{dx} – kN/m | 0,107 |
| f_x – cm | 0,002 |
| f_y – cm | 0,055 |
| δ_{lim} – cm | 0,2 |

Fonte: Da autora (2022)

Como a flecha tanto na direção x como na direção y são menores do que o deslocamento limite permitido, a ripa não sofre deslocamento excessivo, sendo assim atende à verificação do estado limite de serviço.

3.3.1.2 Dimensionamento dos caibros

O esforço atuante nos caibros é a flexão composta reta, pois as cargas que eles recebem das ripas são verticais e os mesmos encontram-se inclinados. Sendo assim, é necessário decompor a solicitação nas direções x e y, fazendo com que a peça seja solicitada transversal e paralelamente.

Assim como as ripas, a madeira utilizada para fazer os caibros são da Classe C40 cujas propriedades estão apresentadas na Tabela 12. O k_{mod} dos caibros também terá o mesmo valor das ripas representado na Tabela 13, pois as peças estão sujeitas à mesma umidade, são da mesma madeira e possuem carregamento de longa duração.

Para fazer a combinação de ações é necessário antes determinar as dimensões iniciais dos caibros e do forro, para que os pesos próprios dos mesmos sejam considerados, e posteriormente realizada a verificação de resistência do caibro. A Tabela 21 contém as dimensões adotadas para o caibro no projeto.

Tabela 21 – Dimensões de projeto do caibro e do forro

(continua)

| Dimensões | |
|------------------------------|---------|
| Caibro | |
| Largura (cm) | 7,00 |
| Altura (cm) | 14,00 |
| Comprimento (cm) | 400,00 |
| Área útil (cm ²) | 98,00 |
| I_y (cm ⁴) | 1600,67 |
| I_x (cm ⁴) | 400,167 |

(continuação)

| Forro | |
|----------------|-------|
| Largura (cm) | 10,00 |
| Espessura (cm) | 1,00 |

Fonte: Da autora (2022)

Com as dimensões pré determinadas a combinação de ações nas direções x e y foram feitas conforme mostra a Tabela 22.

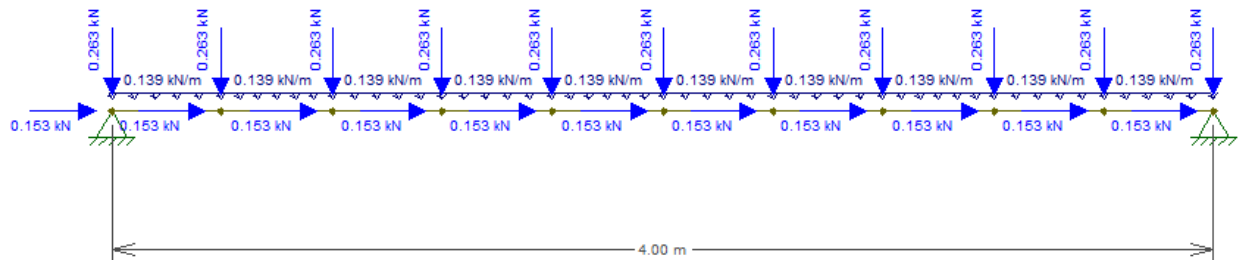
Tabela 22 – Combinação de ações ELU nos caibros

| Combinação de ações ELU | | |
|--------------------------------|-------|------------|
| γ_g | 1,40 | |
| γ_q | 1,40 | |
| Q ripa x - kN | 0,153 | |
| Q ripa y - kN | 0,263 | |
| Q forro – kN/m | 0,006 | |
| Q p. próprio – kN/m | 0,093 | |
| Fd,x – kN/m | 0,054 | Compressão |
| Fd,y – kN/m | 0,128 | Flexão |
| Fd,x – kN | 0,153 | Compressão |
| Fd,y – kN | 0,263 | Flexão |

Fonte: Da autora (2022)

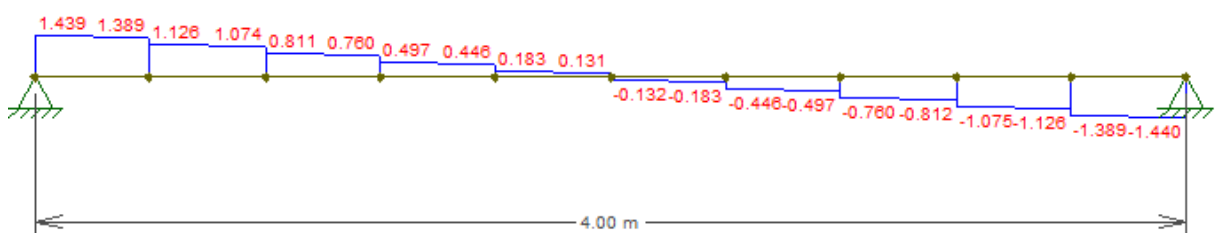
As figuras 20, 21 e 22 contêm o esquema de carregamento, os diagramas de esforço cortante e de momento fletor, respectivamente, os quais foram obtidos por meio do *software* Ftool®.

Figura 20 – Esquema de carregamento do caibro



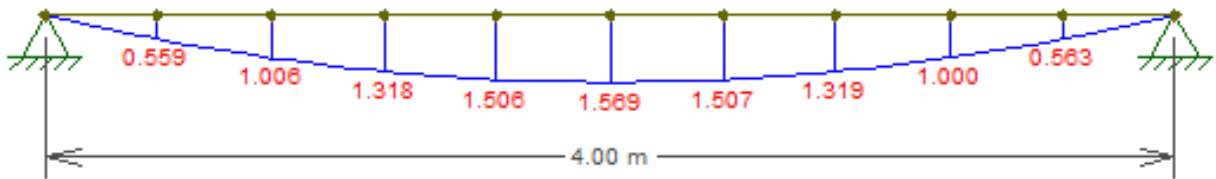
Fonte: Da autora (2022)

Figura 21 – Diagrama de esforço cortante do caibro (kN)



Fonte: Da autora (2022)

Diagrama de momento fletor do caibro (kN.m)



Fonte: Da autora (2022)

Após o cálculo de esforço cortante e momento fletor, faz-se o cálculo da tensão atuante de compressão, tração e cisalhamento da peça através das equações 05, 06 e 07. Como a sollicitação na direção y é a mais crítica, as verificações são feitas apenas nessa direção. A Tabela 23 mostra os resultados obtidos.

Tabela 23 – Dados de cálculo do caibro

| Dados de cálculo ELU - Flexão composta | |
|---|-----------|
| M_y - kN.m | 1,569 |
| y - m | 0,070 |
| $\sigma_{cd,y}$ - kN/m ² | 6861,516 |
| $\sigma_{td,y}$ - kN/m ² | 6861,516 |
| $f_{c0,d}$ - kN/m ² | 16000,000 |
| F_d - kN | 1,751 |
| $\sigma_{Nc,d}$ - kN/m ² | 178,665 |
| Dados de cálculo ELU - Cisalhamento | |
| V_y máx - kN | 1,440 |
| τ_d - kN/m ² | 220,408 |
| $f_{v,d}$ - kN/m ² | 1866,667 |

Fonte: Da autora (2022)

A verificação da resistência da peça é feita considerando as duas sollicitações combinadas, compressão normal e flexão reta, através da inequação 15 para o eixo y , a qual se satisfeita, a peça é resistente.

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}}\right) \leq 1 \quad (15)$$

A Tabela 24 mostra o resultado da verificação de resistência.

Tabela 24 – Verificação de segurança dos caibros

| Tensão | < 1 | Verificação |
|-----------------|---------------|--------------------|
| Flexão composta | 0,429 | Atende |
| Cisalhamento | 0,118 | Atende |

Fonte: Da autora (2022)

Para verificar se o deslocamento provocado pela flexão não é excessivo em relação ao limite estabelecido por norma, faz-se a verificação para ELS calculando a flecha causada pelos esforços solicitantes e comparando com o deslocamento limite da peça.

O cálculo da flecha se dá por meio das Equações 11, para carga concentrada no meio do vão, e 12, para carga distribuída em todo o vão. A Tabela 25 contém os cálculos de deslocamento obtidos de acordo com as solicitações do caibro.

Tabela 25 – Cálculo de deslocamento do caibro

| Combinação de ações ELS | |
|--------------------------------|-------|
| $Q_{ripa\ y}$ - kN | 0,242 |
| Q_{forro} - kN/m | 0,006 |
| $Q_{p. próprio}$ - kN/m | 0,093 |
| $F_{d,y}$ - kN/m | 0,091 |
| F_{dy} - kN | 0,242 |
| f - cm | 0,358 |
| δ_{lim} - cm | 2 |

Fonte: Da autora (2022)

Como a flecha é menor do que o deslocamento limite permitido, o caibro não sofre deslocamento excessivo, sendo assim atende à verificação do estado limite de serviço.

3.3.1.3 Dimensionamento das terças

O esforço atuante nas terças é a flexão oblíqua, pois elas recebem cargas que produzem momentos fletores e esforços cortantes nas peças cujas atuações não ocorrem nos planos principais da seção. A verificação de segurança é feita nos vértices da seção onde se tem máximas tensões de tração e de compressão.

A madeira utilizada para as terças também é da Classe C40, cujas propriedades estão apresentadas na Tabela 12. O k_{mod} das terças também tem o mesmo valor do calculado e apresentado na Tabela 13, pois as peças estão sujeitas a mesma umidade, são da mesma madeira e possuem carregamento de longa duração.

Para fazer a combinação de ações é necessário antes determinar as dimensões iniciais da peça, para que o peso próprio seja considerado, e posteriormente realizada a verificação de resistência. A terça é o elemento estrutural mais solicitado do telhado, pois ela recebe a carga de todos os outros elementos e transmite para a supra estrutura da edificação, sendo assim, faz-se necessário que ela tenha uma seção transversal maior pois estará sujeita a maiores esforços. A Tabela 26 contém as dimensões adotadas para a terça no projeto.

Utilizando a Equação 01, foram calculados os valores das combinações de ações para o ELU, considerando o peso próprio da terças e a carga dos caibros (Tabela 27).

Tabela 26 – Dimensões de projeto da terça

| Dimensões | |
|-----------------------------------|---------|
| Largura (cm) | 8,00 |
| Altura (cm) | 20,00 |
| Comprimento (cm) | 800,00 |
| Área útil (cm ²) | 108,00 |
| I _y (cm ⁴) | 2916,00 |
| I _x (cm ⁴) | 324,000 |

Fonte: Da autora (2022)

Tabela 27 – Combinação de ações ELU nas terças

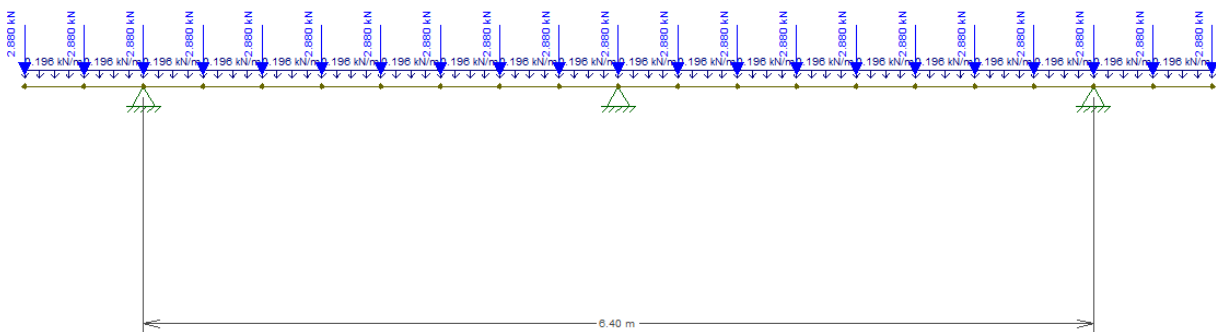
| Combinação de ações ELU | |
|-------------------------|-------|
| γ_g | 1,40 |
| Q caibro - kN | 2,880 |
| Q p. próprio - kN/m | 0,103 |
| F _{d,y} - kN/m | 0,196 |
| F _{d,x} - kN/m | 0,083 |
| F _{d,y} - kN | 2,880 |

Fonte: Da autora (2022)

As terças terão 3 apoios para descarregamento com o objetivo de não se ter valores de esforços internos elevados nem deslocamento excessivo da peça, e de não necessitar de uma seção transversal com grandes dimensões.

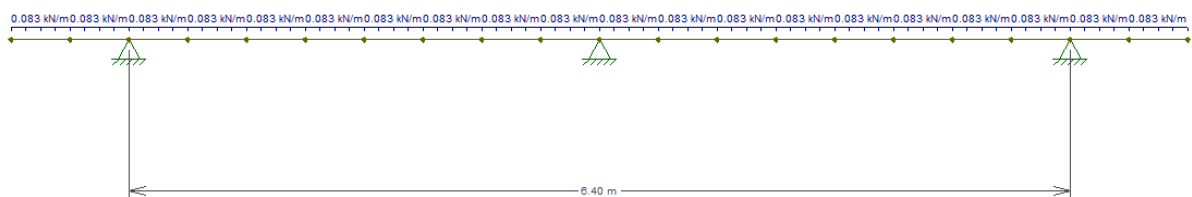
As figuras 23, 24, 25, 26, 27 e 28 contêm os esquemas de carregamento nas direções x e y, os diagramas de esforço cortante nas direções x e y e de momentos fletores nas direções x e y, respectivamente, os quais foram obtidos por meio do *software* Ftool®.

Figura 23 – Esquema de carregamento da terça na direção Y



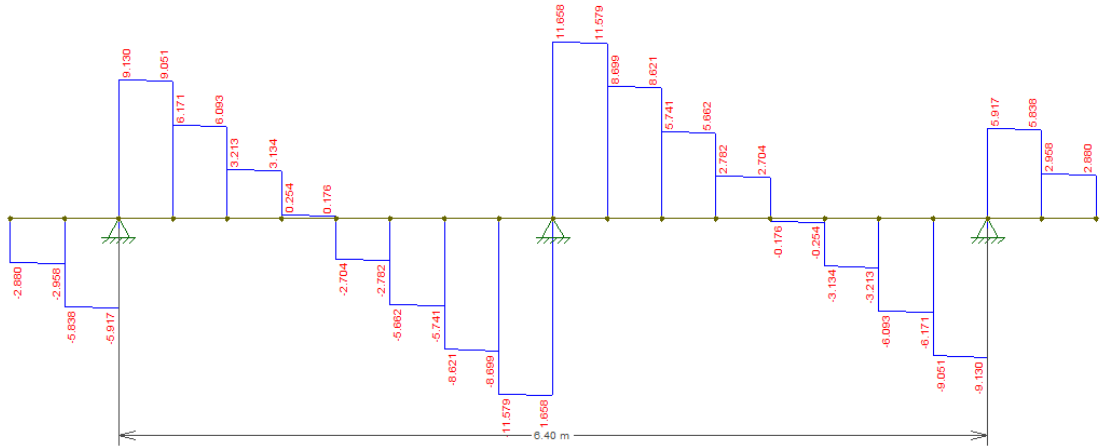
Fonte: Da autora (2022)

Figura 24 - Esquema de carregamento da terça na direção X



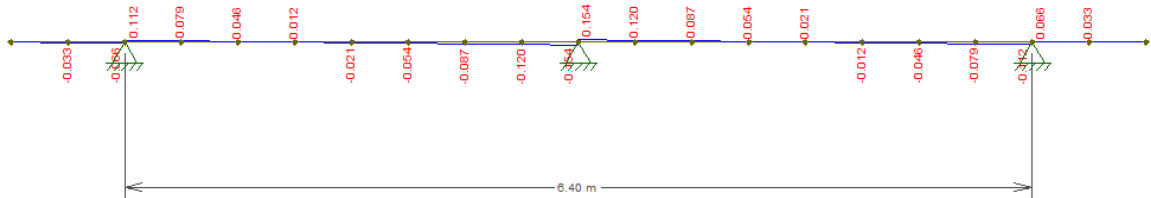
Fonte: Da autora (2022)

Figura 25 – Diagrama de esforço cortante da terça na direção Y (kN)



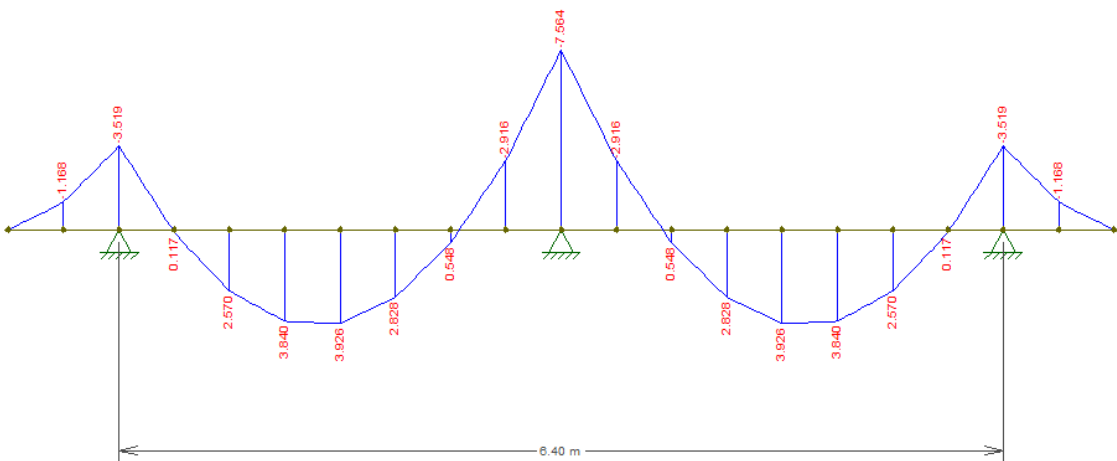
Fonte: Da autora (2022)

Figura 26 – Diagrama de esforço cortante da terça na direção X (kN)



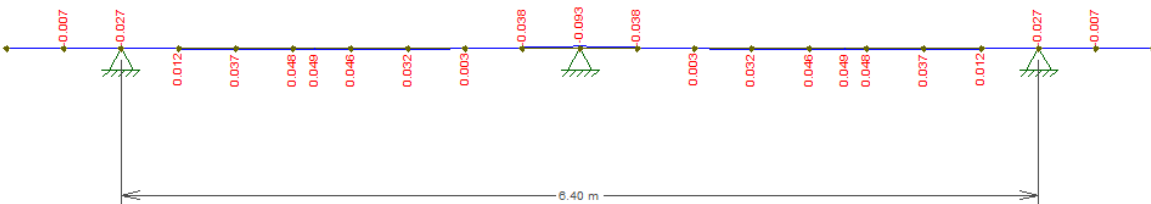
Fonte: Da autora (2022)

Figura 27 – Diagrama de momento fletor da terça na direção Y (kN.m)



Fonte: Da autora (2022)

Figura 28 – Diagrama de momento fletor da terça na direção X (kN.m)



Fonte: Da autora (2022)

Após o cálculo de esforço cortante e momento fletor, faz-se o cálculo da tensão atuante de compressão, tração e cisalhamento da peça por meio das Equações 05, 06 e 07. A Tabela 28 mostra os resultados obtidos.

Tabela 28 – Dados de cálculo da terça

| Dados de cálculo ELU - Flexão oblíqua | |
|--|------------|
| k_m | 0,5 |
| M_y - kN.m | -7,564 |
| M_x - kN.m | -0,093 |
| y_y - m | 0,100 |
| $\sigma_{cd,y}$ - kN/m ² | -14182,500 |
| $\sigma_{td,y}$ - kN/m ² | -14182,500 |
| y_x - m | 0,040 |
| $\sigma_{cd,x}$ - kN/m ² | -435,940 |
| $\sigma_{td,x}$ - kN/m ² | -435,940 |
| $f_{c0,d}$ - kN/m ² | 16000,000 |
| Dados de cálculo ELU - Cisalhamento | |
| $V_{x \text{ máx}}$ - kN | 0,154 |
| $V_{y \text{ máx}}$ - kN | 11,658 |
| $V_{\text{ máx}}$ - kN | 11,659 |
| $\tau_{d, x}$ - kN/m ² | 14,438 |
| $\tau_{d, y}$ - kN/m ² | 1092,938 |
| τ_d - kN/m ² | 1093,033 |
| $f_{v,d}$ - kN/m ² | 1866,667 |

Fonte: Da autora (2022)

A verificação de resistência para ELU é obtida por meio das Equações 8, 9 e 10. A Tabela 29 contém os resultados das verificações.

Tabela 29 – Verificação de segurança da terça

| Tensão | Tensão solicitante de cálculo | Resistência de cálculo | Verificação |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Compressão em X | 435,940 | 16000,000 | Atende |
| Compressão em Y | 14182,500 | 16000,000 | Atende |
| Tração em X | 435,940 | 16000,000 | Atende |
| Tração em Y | 14182,500 | 16000,000 | Atende |
| Cisalhamento em X | 14,438 | 1866,667 | Atende |
| Cisalhamento em Y | 1092,938 | 1866,667 | Atende |

Fonte: Da autora (2022)

Para verificar se o deslocamento provocado pela flexão não é excessivo em relação ao limite estabelecido por norma, faz-se a verificação para ELS calculando a flecha causada pelos esforços solicitantes e comparando com o deslocamento limite da peça.

O cálculo da flecha se dá por meio das Equações 11, para carga concentrada no meio do vão, e 12, para carga distribuída em todo o vão. A Tabela 30 contém os cálculos de deslocamento obtidos de acordo com as solicitações da terça.

Tabela 30 – Cálculo de deslocamento da terça

| Combinação de ações ELS | |
|--------------------------------|-------|
| $Q_{\text{caibro } y}$ - kN | 2,880 |
| $Q_{\text{p. próprio}}$ - kN/m | 0,152 |
| $F_{d,x}$ - kN/m | 0,060 |
| $F_{d,y}$ - kN/m | 0,140 |
| F_{dy} - kN | 2,880 |
| f_x - cm | 1,396 |
| f_y - cm | 0,795 |
| δ_{lim} - cm | 3,2 |

Fonte: Da autora (2022)

Como a flecha tanto na direção x (f_x) como na direção y (f_y) são menores do que o deslocamento limite permitido (δ_{lim}), a terça não sofre deslocamento excessivo, sendo assim atende a verificação do estado limite de serviço.

Analisando o dimensionamento das peças estruturais de madeira, conclui-se que o dimensionamento adotado atende as solicitações e suporta as cargas atuantes sem que haja grandes deformações ou ruptura da peça.

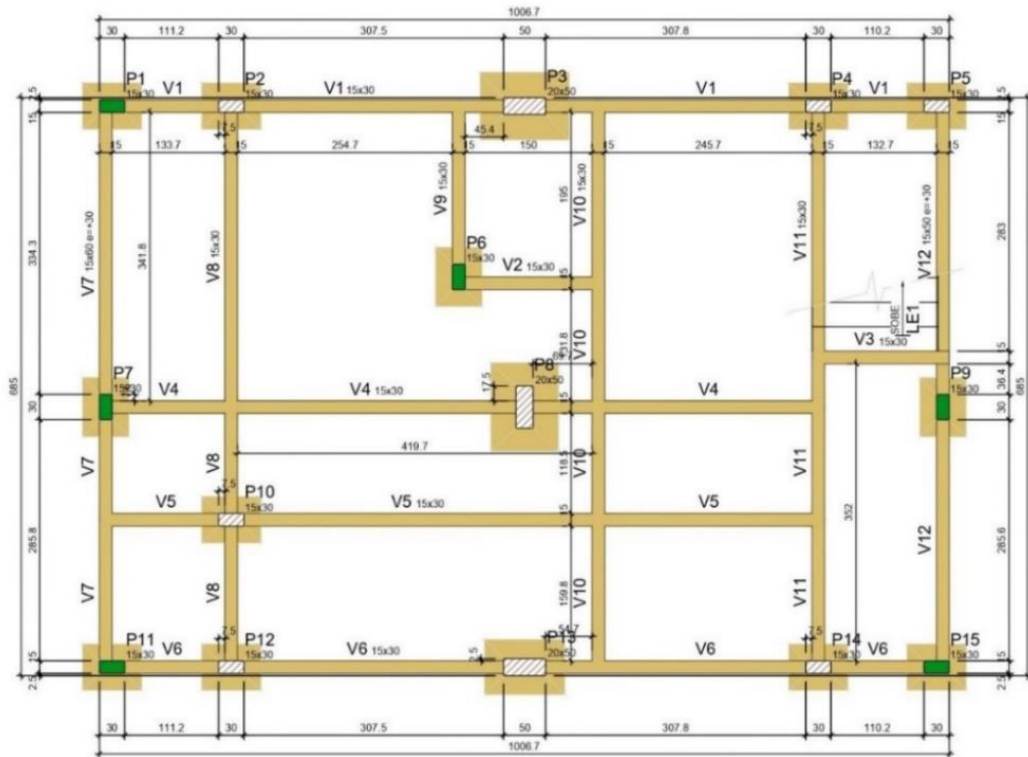
3.3.1.4 Dimensionamento da superestrutura

A supra estrutura do chalé é composta por concreto armado. Além de cada elemento sustentar seu peso próprio, as lajes recebem as cargas de utilização do ambiente e as permanentes de revestimento do piso e do forro, as vigas suportam as cargas do telhado vindas das terças e dos caibros além das ações da laje, e os pilares são responsáveis por transmitir as cargas recebidas das vigas para a fundação.

Para iniciar o dimensionamento da estrutura, primeiramente faz-se a planta de forma a qual determinará a posição de cada elemento de modo que não haja conflito entre o projeto arquitetônico e estrutural. A compatibilização dos projetos é de extrema importância e mudanças são muito comuns nessa etapa, pois a necessidade ou não de alteração estrutural se dá após o pré dimensionamento das peças.

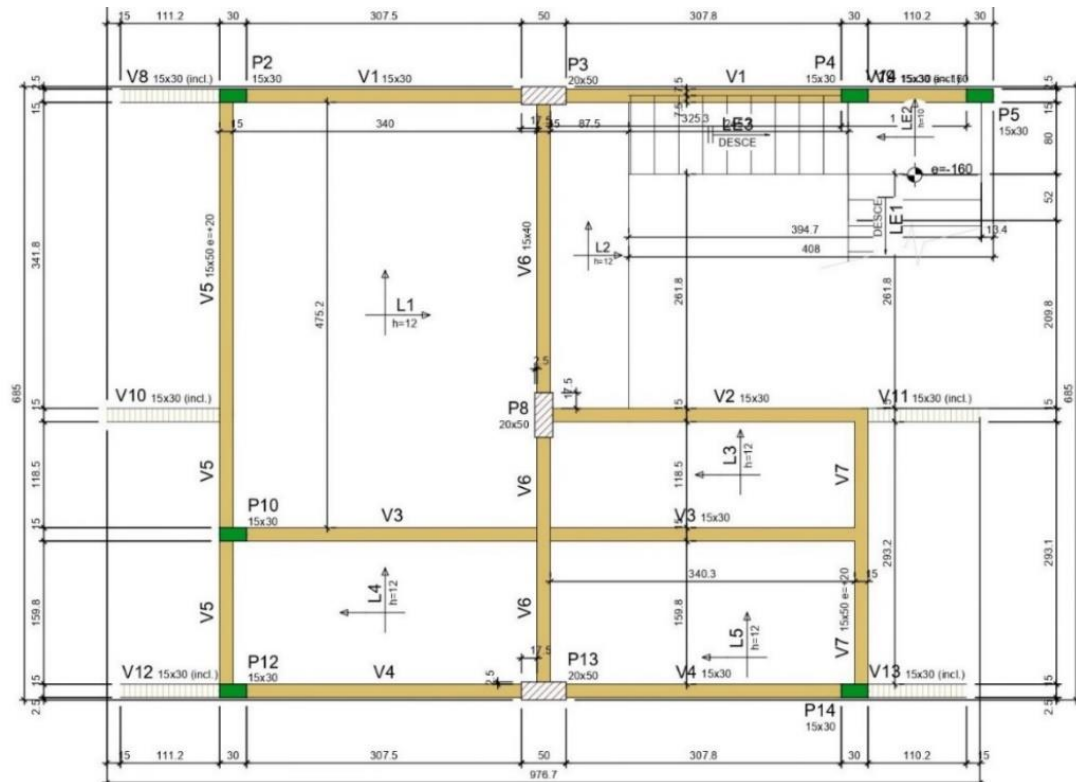
Nas Figuras 29, 30 e 31 são mostradas a planta de forma do pavimento térreo, do pavimento superior e da cobertura, respectivamente.

Figura 29 – Planta de forma do pavimento térreo.



Fonte: Da autora (2022)

Figura 30 – Planta de forma do pavimento superior



Fonte: Da autora (2022)

Tabela 31 – Dados das lajes

| Nome | Tipo | Dados | | | Sobrecarga (kgf/m ²) | | |
|------|--------|----------------|---------------|------------|------------------------------------|-----------|-----------|
| | | Espessura (cm) | Elevação (cm) | Nível (cm) | Peso próprio (kgf/m ²) | Adicional | Acidental |
| L1 | Maciça | 12 | 0 | 280 | 300 | 154 | 150 |
| L2 | Maciça | 12 | 0 | 280 | 300 | 154 | 150 |
| L3 | Maciça | 12 | 0 | 280 | 300 | 182 | 150 |
| L4 | Maciça | 12 | 0 | 280 | 300 | 154 | 150 |
| L5 | Maciça | 12 | 0 | 280 | 300 | 182 | 150 |
| LE1 | Maciça | 10 | -160 | 120 | 479 | 159 | 300 |
| LE2 | Maciça | 10 | -160 | 120 | 250 | 154 | 300 |
| LE3 | Maciça | 10 | -160 | 280 | 504 | 166 | 300 |

Fonte: Da autora (2022)

O segundo elemento dimensionado é a viga, sendo responsável por suportar a solicitação das lajes e também do telhado e transmitir para os pilares, bem como seu peso próprio. Neste projeto as vigas inclinadas V2, V3, V4, V5, V6 e V7 mostradas na Figura 29 recebem a solicitação das terças e se estendem da viga V1 mais alta do chalé até a base dos pilares do pavimento térreo. A Figura 32 contém a representação 3D produzida pelo Eberick® dos elementos estruturais de concreto armado, e na Figura 33 é representado o gráfico de deslocamento dos elementos em escala de cores.

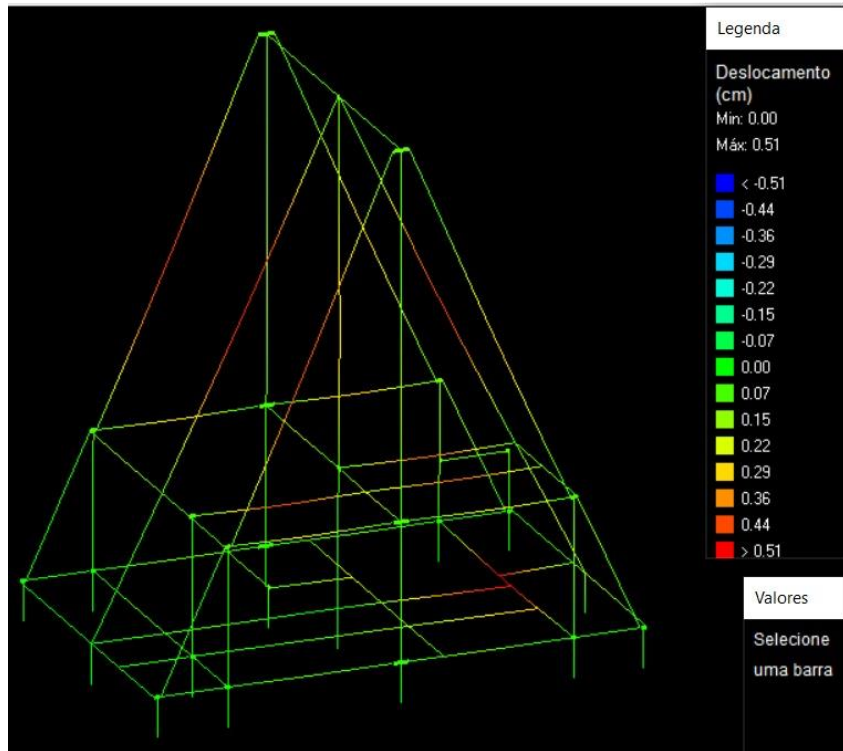
As dimensões das vigas estão disponíveis no projeto de plantas de forma do Apêndice 2, sendo V1 a viga de maior seção transversal.

Figura 32 – Representação 3D da estrutura



Fonte: Da autora (2022)

Figura 33 – Gráfico de deslocamento da estrutura



Fonte: Da autora (2022)

O último elemento da supra estrutura do chalé é o pilar. Os pilares são responsáveis por receber as solicitações das vigas e transmitir diretamente para fundação. No projeto deste chalé os pilares centrais vão das sapatas até a viga V1, e os pilares de canto se estendem da fundação até a laje do pavimento superior, como pode ser observado na planta de formas do Apêndice 2. Os dados dos pilares estão presentes na Tabela 32.

A seção apresentada é a dimensão do pilar adotada para suportar os esforços solicitantes. A carga vertical máxima considera que todas as cargas estejam atuando simultaneamente na estrutura e a carga vertical mínima é o mínimo a ser considerado levando em consideração as cargas permanentes que não sofrem alteração ao decorrer da vida útil da estrutura. Os dados $F_{x\text{máx}}$ e $F_{y\text{máx}}$ são as forças horizontais atuantes na estrutura nas direções x e y, respectivamente, onde estão consideradas as ações do vento.

Tabela 32 – Resultado dos pilares

(continua)

| Nome | Seção (cm) | Carga | Carga | Fx máx. (tf) | | Fy máx. (tf) | |
|------|------------|-------------------|-------------------|--------------|----------|--------------|----------|
| | | Vertical Máx (tf) | Vertical Mín (tf) | Positivo | Negativo | Positivo | Negativo |
| P1 | 15x30 | 3,7 | 1,1 | 0,4 | -0,4 | 0,2 | 0,0 |
| P2 | 15x30 | 7,4 | 4,5 | 0,1 | -0,5 | 0,2 | 0,0 |

(continuação)

| | | | | | | | |
|-----|-------|------|------|-----|------|-----|------|
| P3 | 20x50 | 16,4 | 14,6 | 1,0 | -0,5 | 0,2 | 0,0 |
| P4 | 15x30 | 7,8 | 4,6 | 0,7 | 0,0 | 0,6 | 0,0 |
| P5 | 15x30 | 5,4 | 1,1 | 0,3 | -0,3 | 0,3 | 0,0 |
| P6 | 15x30 | 1,6 | 1,3 | 0,0 | -0,4 | 0,1 | -0,4 |
| P7 | 15x30 | 6,3 | 4,0 | 0,0 | -0,4 | 0,2 | -0,3 |
| P8 | 20x50 | 20,5 | 17,9 | 0,0 | -1,1 | 0,4 | -0,2 |
| P9 | 15x30 | 6,2 | 4,6 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | -0,7 |
| P10 | 15x30 | 4,8 | 3,9 | 0,0 | -0,6 | 0,1 | -0,3 |
| P11 | 15x30 | 3,5 | 1,2 | 0,4 | -0,2 | 0,0 | -0,1 |
| P12 | 15x30 | 6,8 | 4,0 | 0,3 | -0,4 | 0,1 | 0,0 |
| P13 | 20x50 | 14,8 | 13,5 | 0,8 | -0,4 | 0,0 | -0,1 |
| P14 | 15x30 | 7 | 4,2 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | -0,7 |
| P15 | 15x30 | 5,3 | 1,2 | 0,6 | -0,2 | 0,1 | -0,1 |

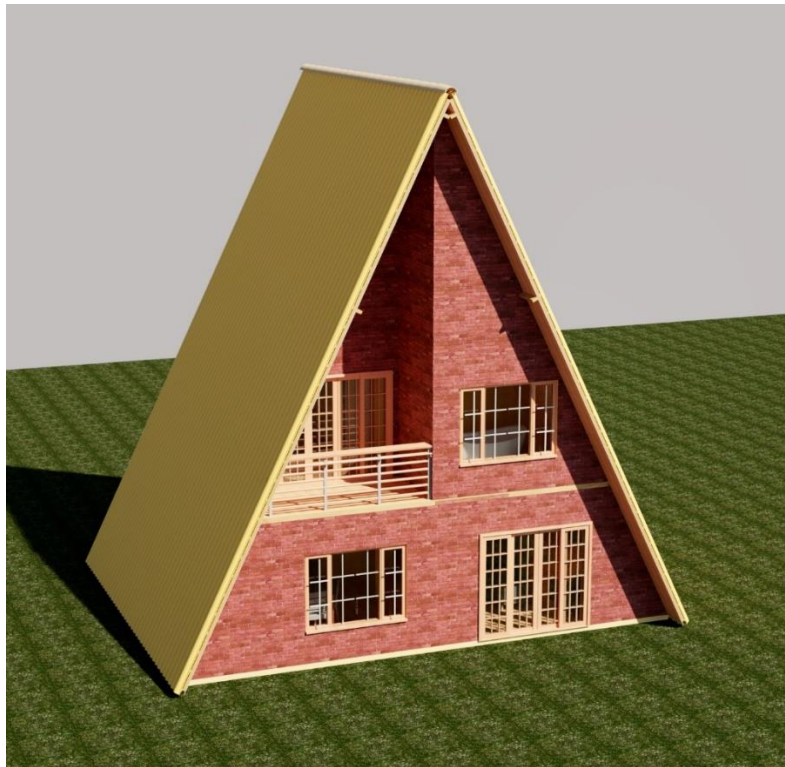
Fonte: Da autora (2022)

Analisando o dimensionamento das peças estruturais de concreto armado, conclui-se que o dimensionamento adotado atende as solicitações e suporta as cargas atuantes sem que haja grandes deformações ou ruptura da peça.

5 RENDERIZAÇÕES

As imagens a seguir são renderizações do projeto do chalé em 3D. A Figura 34 representa a fachada frontal do chalé, as Figuras 35, 36 e 37 são renderizações do pavimento térreo, onde são mostradas a cozinha, as salas e o banheiro.

Figura 34 – Fachada frontal



Fonte: Da autora (2022)

Figura 35 – Cozinha



Fonte: Da autora (2022)

Figura 36 – Sala de estar e sala de jantar



Fonte: Da autora (2022)

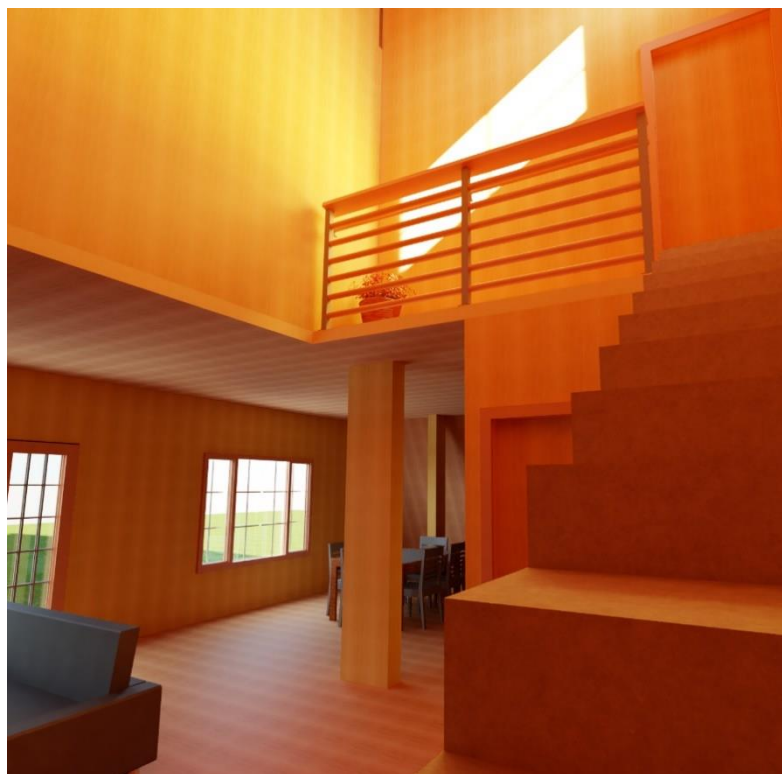
Figura 37 – Banheiro



Fonte: Da autora (2022)

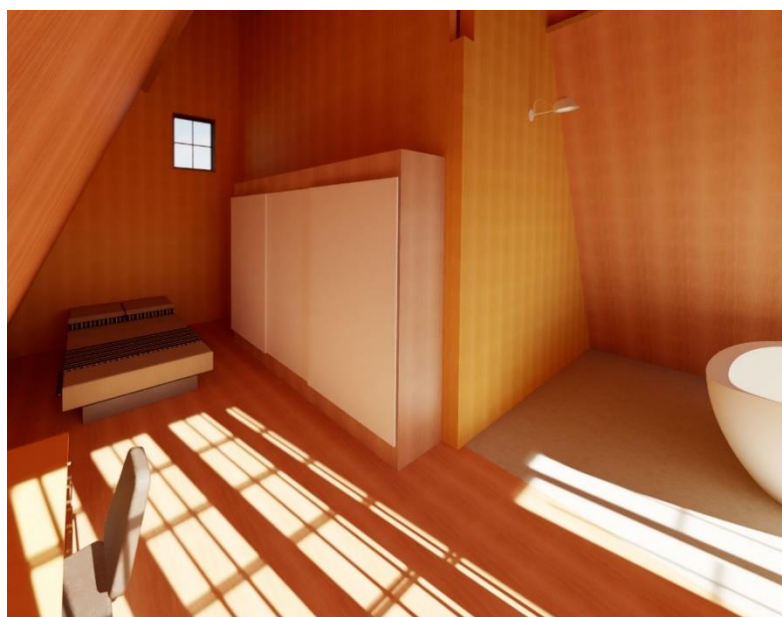
A Figura 38 representa a vista da escada e nas Figuras 39 e 40 são mostradas renderizações do pavimento superior, sendo o quarto e o espaço da banheira.

Figura 38 – Vista do ambiente na posição do patamar da escada



Fonte: Da autora (2022)

Figura 39 – Quarto



Fonte: Da autora (2022)

Figura 40 – Área da banheira



Fonte: Da autora (2022)

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada a proposta do projeto de um chalé a ser implantado em regiões turísticas de clima frio. Ao longo do seu desenvolvimento foram encontrados diversos desafios de compatibilização do projeto estrutural com o arquitetônico e também dos materiais a serem combinados na estrutura.

Desenvolvendo o projeto foi possível observar vantagens de usar a combinação de diferentes materiais na estrutura como alívio de cargas na fundação e economia da mesma, bem como a combinação de revestimentos que tornam o ambiente harmônico e determina o estilo desejado para determinado fim.

A utilização do *software* Revit® foi de extrema importância para a realização visual do projeto, possibilitando o acesso às vistas em 3D para implementação dos revestimentos e da arquitetura do chalé. O *software* Eberick® auxiliou no dimensionamento da estrutura de concreto armado, gerando gráficos visuais, vistas em 3D e dados que informaram o status de segurança da estrutura desejada.

Por fim, dimensionou-se as peças estruturais de acordo com suas peculiaridades e necessidades conforme carregamento. Observam-se os diferentes comportamentos da madeira e do concreto armado perante as solicitações e a distinção no dimensionamento dos dois materiais.

O dimensionamento da estrutura de concreto armado e de madeira foi satisfatório, as peças atendem as solicitações, não sofrendo deformações excessivas nem rompimento da estrutura.

Para trabalhos futuros sugere-se a análise dos custos da construção da edificação, a elaboração do cronograma de execução da obra, detalhamento dos revestimentos utilizados e o dimensionamento da fundação do chalé.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações.** Rio de Janeiro, 1988.

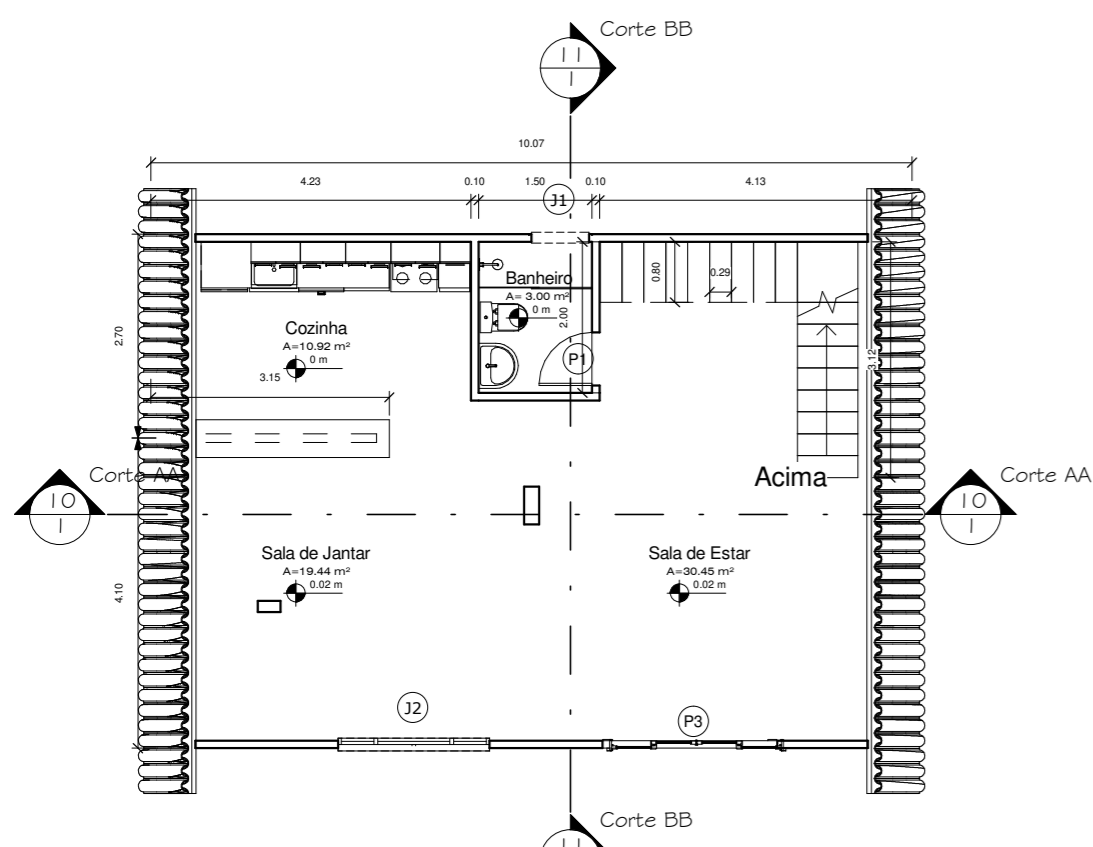
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro, 2019.

MADEIRA, Chale de. **O que é um chalé?** 2020. Disponível em: <https://chaledemadeira.com>. Acesso em: 25 mar. 2022.

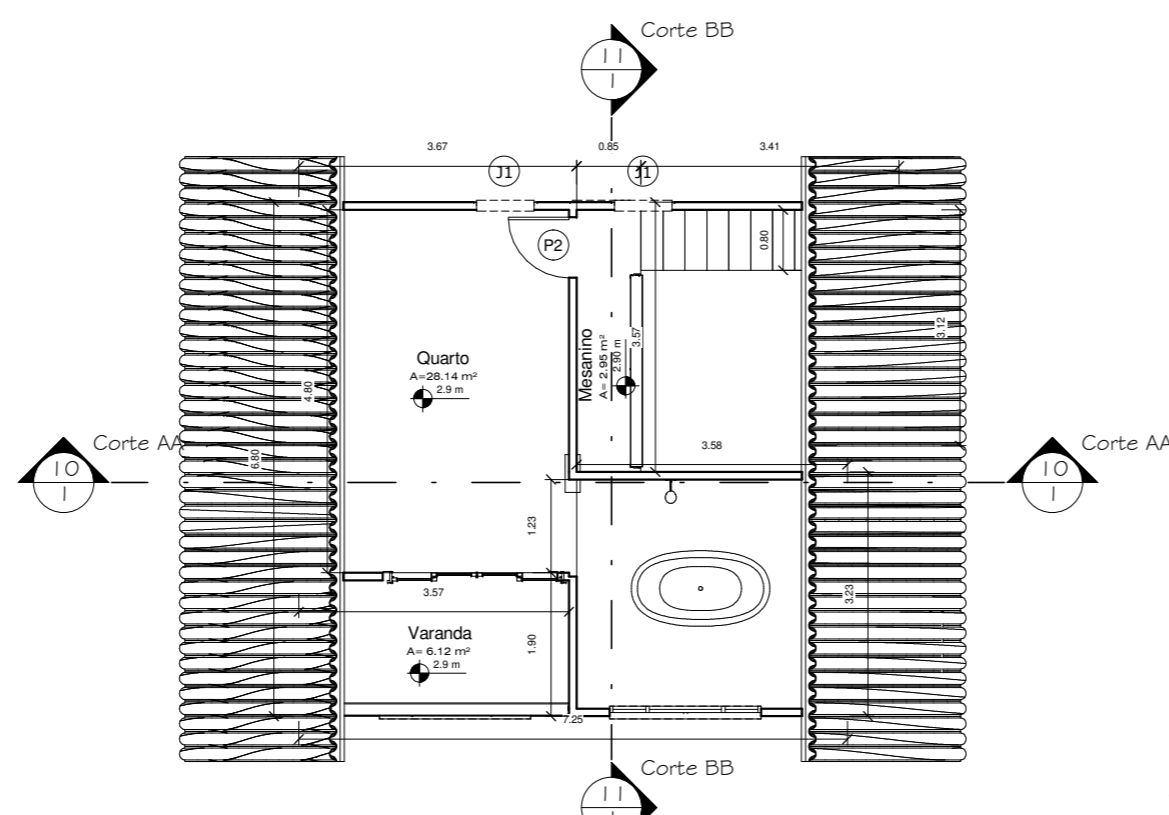
WOOD, Naturally. **Hybrid-timber construction.** c2022. Disponível em: <https://www.naturallywood.com>. Acesso em: 15 mar. 2022.

CAMILLO, Roger. **Setta Arquitetura.** 2022. Instagram: settaarquitetura. Disponível em: <https://www.instagram.com/settaarquitetura/>. Acesso em: 01 abr. 2022.

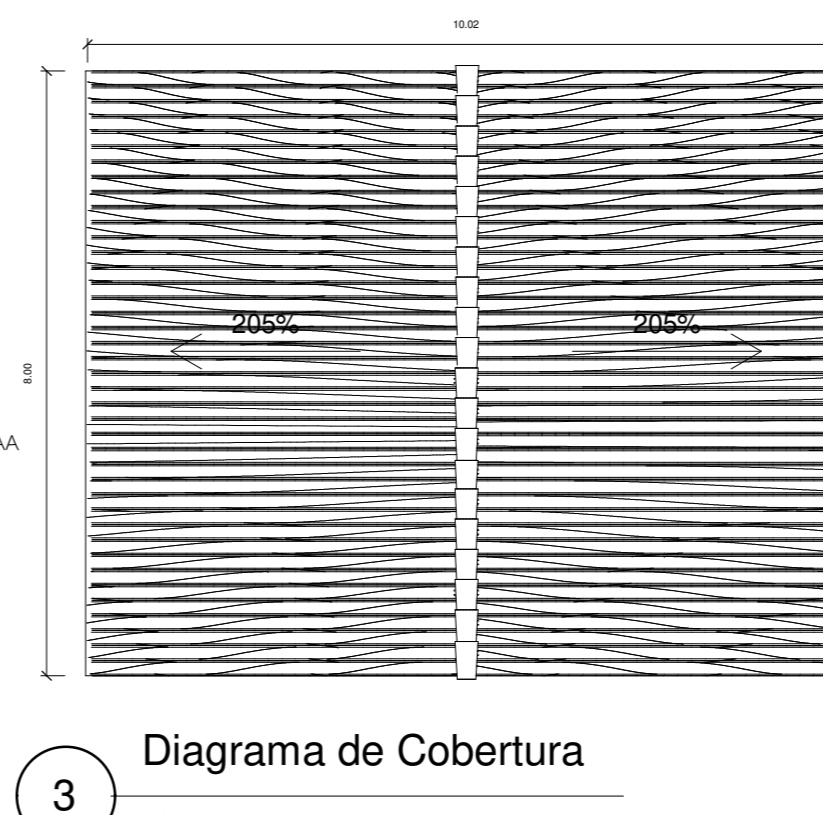
APÊNDICE 1 - PROJETO ARQUITETÔNICO



1 Planta Baixa - Térreo
1 : 100



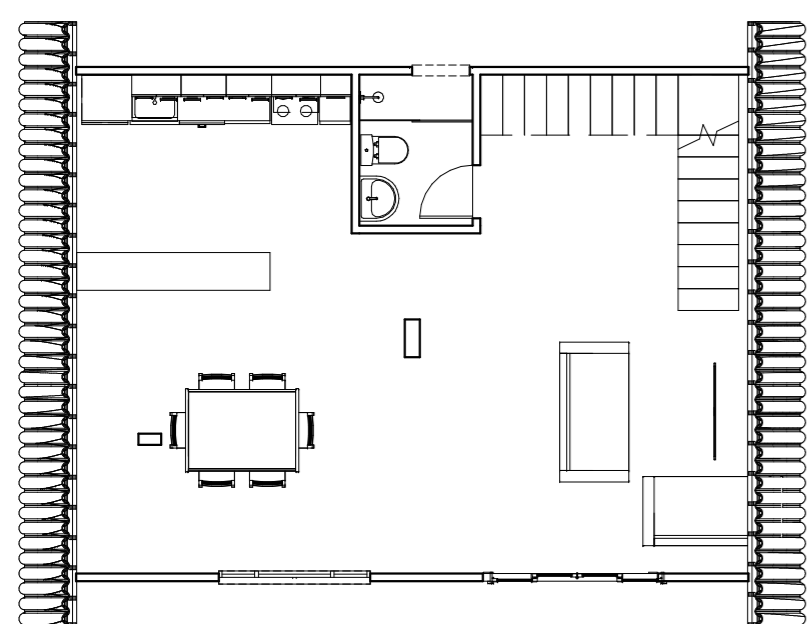
2 Planta Baixa - 1º pavimento
1 : 100



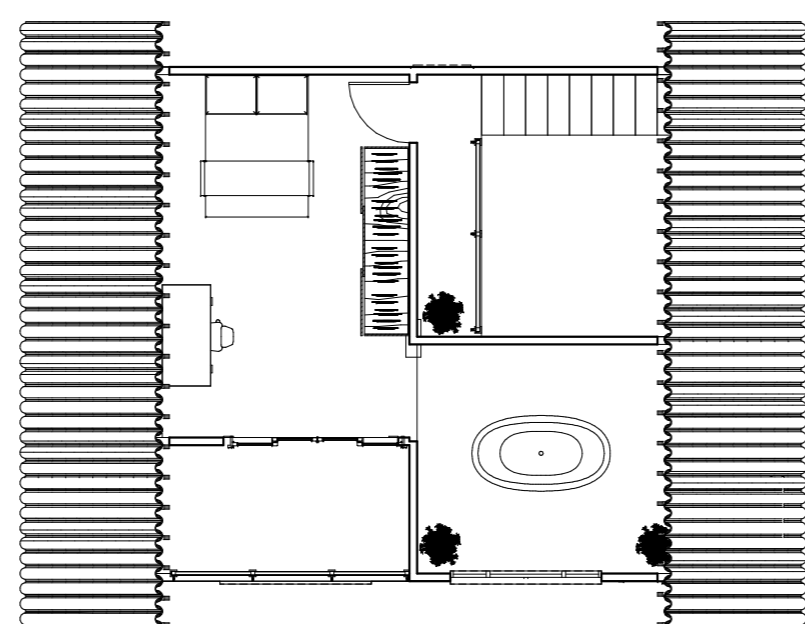
3 Diagrama de Cobertura
1 : 100

| Legendas | Quantidade | Altura | Largura | Altura do peitoril |
|----------|------------|--------|---------|--------------------|
| J1 | 3 | 0.91 | 0.76 | |
| J2 | 2 | 1.50 | 2.00 | 0.60 |
| P1 | 1 | 0.70 | 2.10 | - |
| P2 | 1 | 0.80 | 2.10 | - |
| P3 | 2 | 2.30 | 2.10 | |

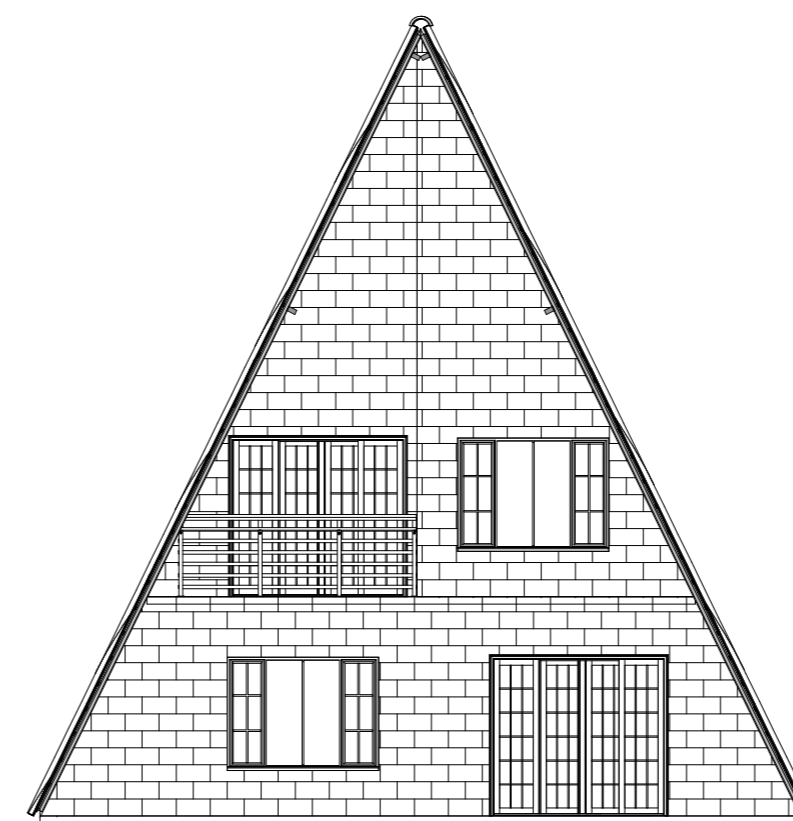
| Ambiente | Nível | Área |
|----------------|--------------|----------|
| Banheiro | Térreo | 3.00 m² |
| Cozinha | Térreo | 10.92 m² |
| Sala de Jantar | Térreo | 19.44 m² |
| Sala de Estar | Térreo | 30.45 m² |
| Quarto | 1º pavimento | 28.14 m² |
| Varanda | 1º pavimento | 6.12 m² |
| Mesanino | | 2.95 m² |



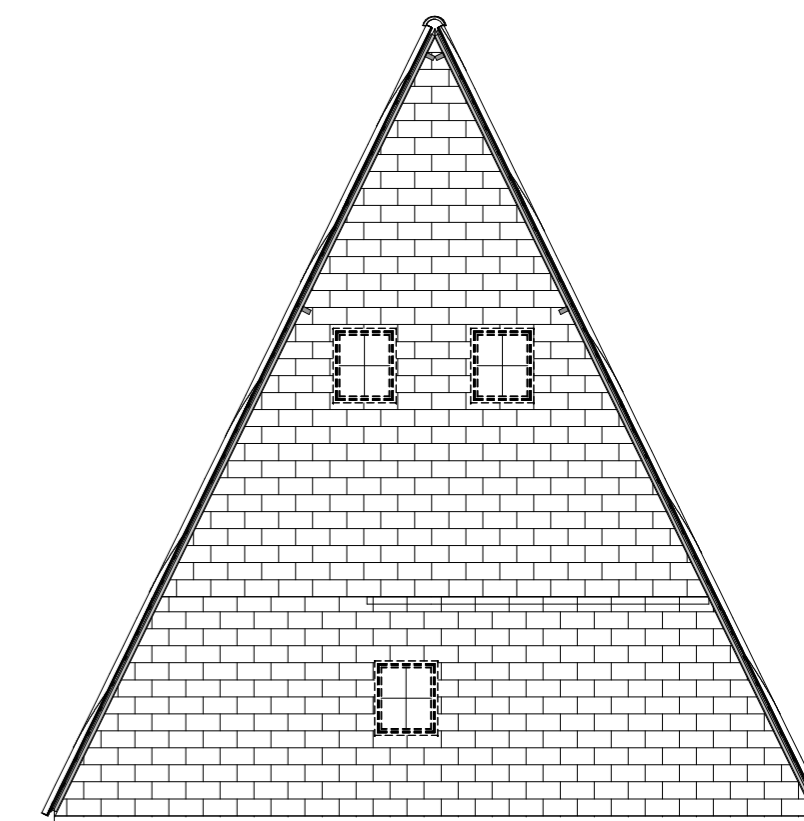
4 Layout Térreo
1 : 100



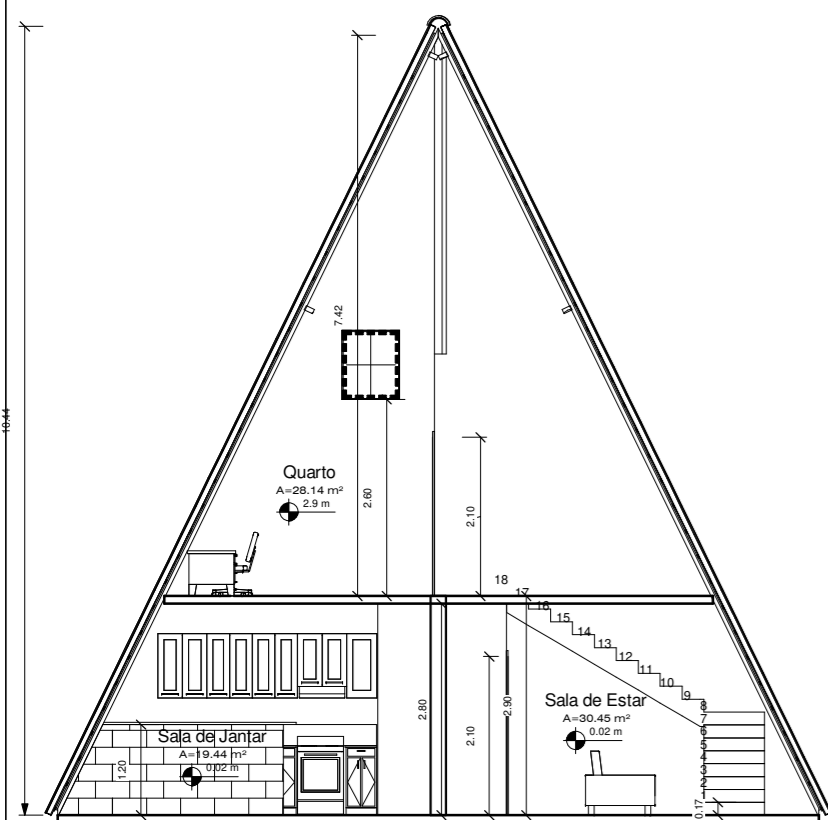
5 Layout 1º pavimento
1 : 100



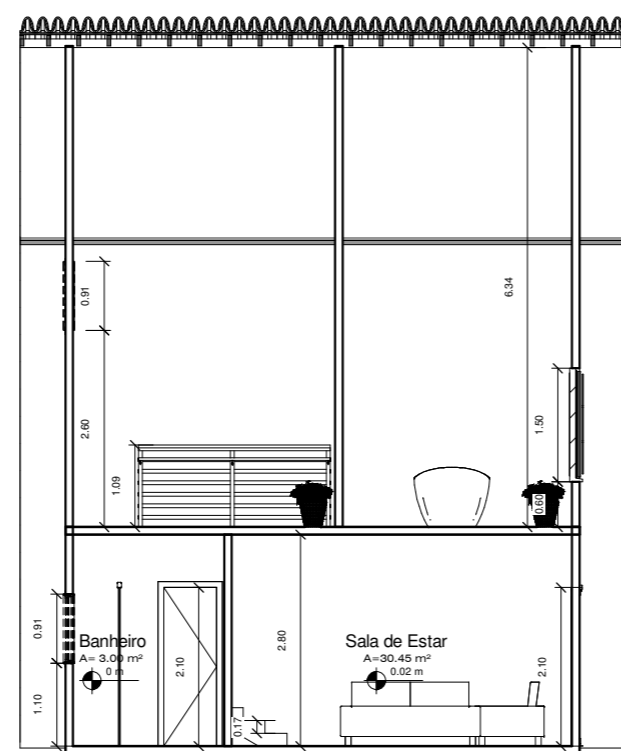
6 Fachada Frontal
1 : 100



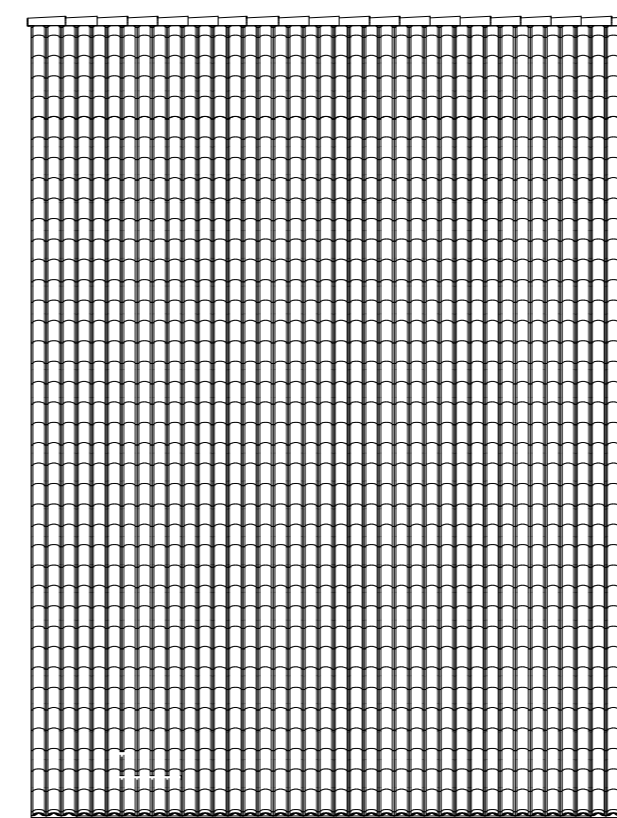
7 Fachada Posterior
1 : 100



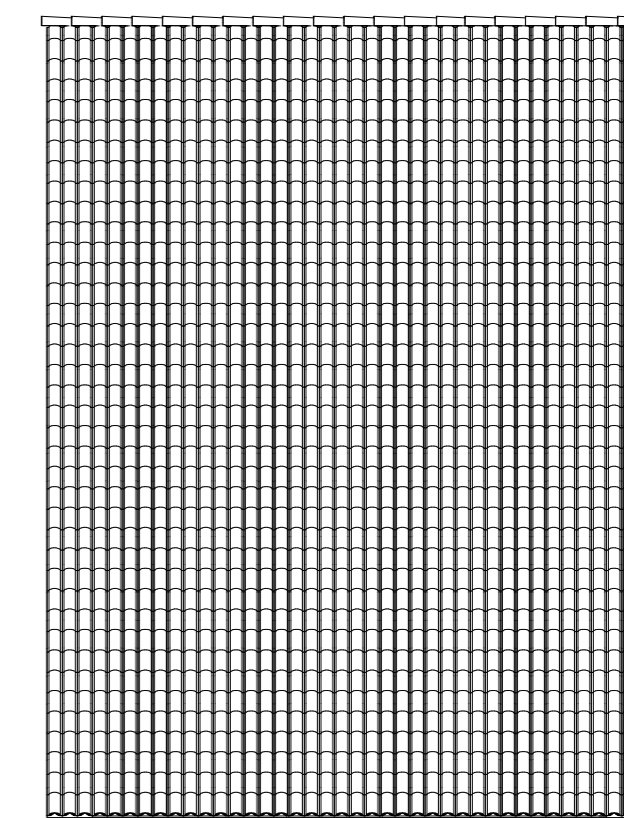
10 Corte AA
1 : 100



11 Corte BB
1 : 100

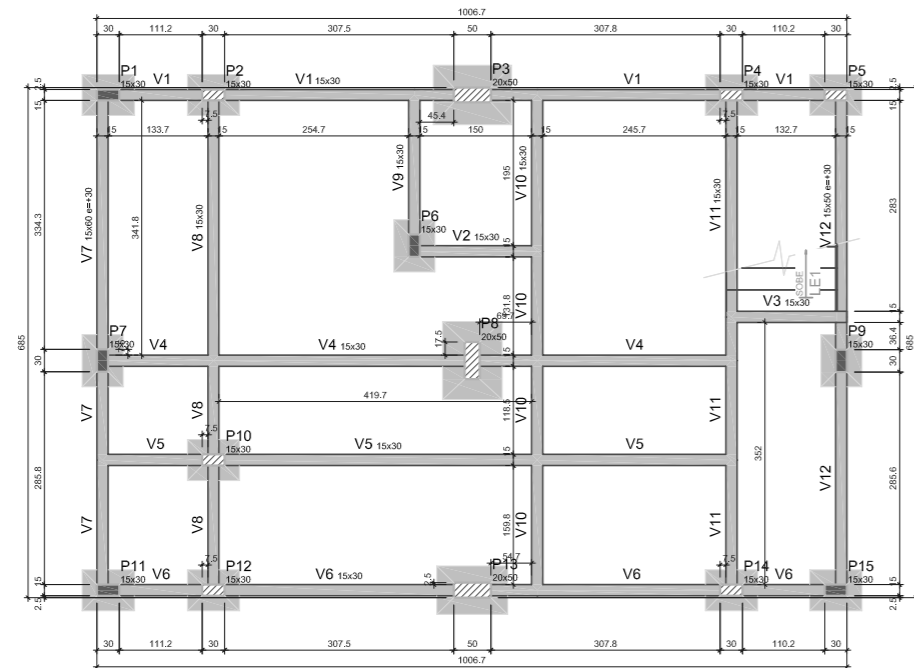


8 Fachada Lateral Direita
1 : 100



9 Fachada Lateral Esquerda
1 : 100

APÊNDICE 2 - PLANTAS DE FORMA

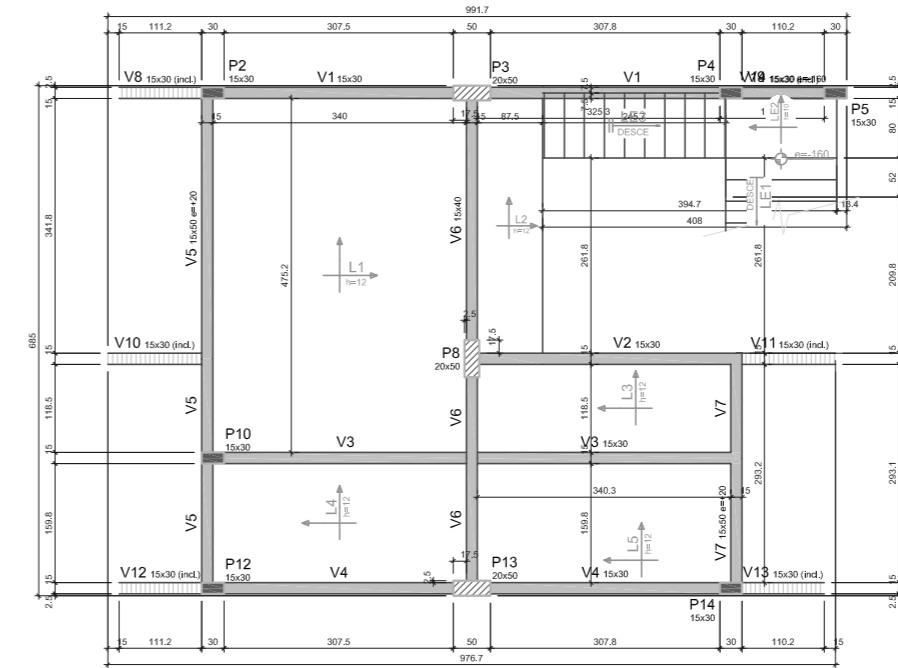


Forma do pavimento Térreo

| Características dos materiais | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Elemento | Isa (kg/cm ²) | Ecc (kg/cm ²) |
| Vigas | 300 | 268384 |
| Placas | 300 | 268384 |
| Sapatas | 300 | 268384 |

| Legenda dos pilares | |
|---------------------|-----------------|
| | Pilar que morre |
| | Pilar que passa |

| Legenda das vigas e paredes | |
|-----------------------------|----------------|
| | Viga |
| | Viga inclinada |



Forma do pavimento 1º Pavimento

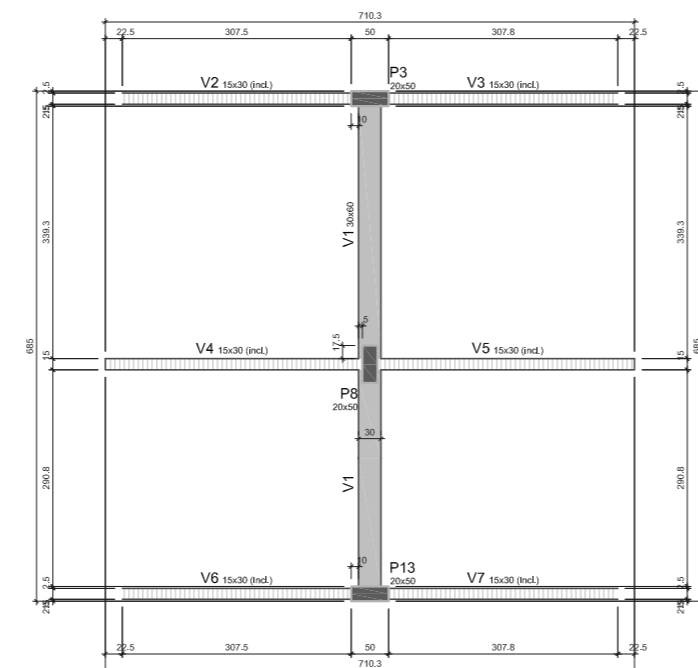
| Lajes | | | | | | |
|-------|------|-------------|---------------|------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Nome | Tipo | Altura (cm) | Elevação (cm) | Nível (cm) | Peso próprio (kg/m ²) | Sobrecarga (kg/m ²) |
| L1 | Laçã | 12 | 0 | 280 | 300 | 154 |
| L2 | Laçã | 12 | 0 | 280 | 300 | 154 |
| L3 | Laçã | 12 | 0 | 280 | 300 | 154 |
| L4 | Laçã | 12 | 0 | 280 | 300 | 154 |
| L5 | Laçã | 12 | 0 | 280 | 300 | 154 |
| LE1 | Laçã | 10 | -160 | 120 | 470 | 159 |
| LE2 | Laçã | 10 | -160 | 120 | 250 | 154 |
| LE3 | Laçã | 10 | 0 | 280 | 504 | 166 |

| Área de lajes | | | |
|---------------|-------------|---------------------------------------|------------------------|
| Tipo | Altura (cm) | Bloco de Enchimento (m ²) | Área (m ²) |
| Laçã | 10 | - | 5,37 |
| Laçã | 12 | - | 34,05 |

| Características dos materiais | | |
|-------------------------------|---------------------------|--|
| Isa (kg/cm ²) | Ecc (kg/cm ²) | |
| 300 | 268384 | |

| Legenda dos pilares | |
|---------------------|-----------------|
| | Pilar que morre |
| | Pilar que passa |

| Legenda das vigas e paredes | |
|-----------------------------|----------------|
| | Viga |
| | Viga inclinada |



Forma do pavimento Cobertura

| Características dos materiais | | |
|-------------------------------|---------------------------|--|
| Isa (kg/cm ²) | Ecc (kg/cm ²) | |
| 300 | 268384 | |

| Legenda dos pilares | |
|---------------------|-----------------|
| | Pilar que morre |
| | Pilar que passa |

| Legenda das vigas e paredes | |
|-----------------------------|----------------|
| | Viga |
| | Viga inclinada |