



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL

FERNANDO GABRIEL CAMPOS FREITAS

**DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA COMPOSTA POR PERFIS E CHAPAS DE
MADEIRA (WOOD FRAME)**

CARAÚBAS - RN
2018

FERNANDO GABRIEL CAMPOS FREITAS

**DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA COMPOSTA POR PERFIS E CHAPAS DE
MADEIRA (WOOD FRAME)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia civil da Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro civil.

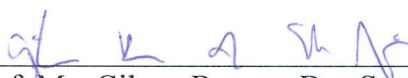
Orientador(a): Manoel Denis Costa Ferreira.

APROVADO EM: 19/04/2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Manoel Denis Costa Ferreira
Presidente



Prof. Me. Gilvan Bezerra Dos Santos Junior
Primeiro Membro



Prof. Me. Leonete Cristina De Araújo Ferreira Medeiros Silva
Segundo Membro

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F862d Freitas, Fernando Gabriel Campos.
Dimensionamento de estrutura composta por
perfis e chapas de madeira (Wood Frame) /
Fernando Gabriel Campos Freitas. - 2018.
63 f. : il.

Orientador: Manoel Denis Costa Ferreira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2018.

1. Projeto estrutural. 2. Wood Frame. 3.
SAP2000. I. Ferreira, Manoel Denis Costa, orient.
II. Título.

DEDICATÓRIA

A meu avô, José Eustáquio Campos (in memoriam),
por todo carinho, confiança e ensinamentos.

A meu pai, Charles Bruno Brito de Freitas e a
minha mãe, Muriel Nunes Campos de Freitas.
As duas pessoas que são mais importantes para
mim e que mais me apoiam.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu avô, José Eustáquio Campos, pelos ensinamentos, conhecimentos e apoio.

As pessoas que mais amo na minha vida, minha mãe Muriel Nunes Campos e meu pai Charles Bruno Brito de Freitas, por todo amor, carinho e todo apoio ao longo da minha caminhada acadêmica.

As minhas irmãs, Jessica e Michelle, por todos os momentos de alegria, companheirismo e amor.

A toda minha família, pelo apoio e confiança depositada em mim sempre me fortalecendo nos momentos difíceis.

A minha namorada Hellen, quero agradecer por todo incentivo, carinho, companheirismo, amor, e principalmente por toda paciência.

A meu companheiro de luta desde a infância, AlefJohn, por toda essa alegria contagiante e brincadeiras que deixam os dias mais descontraídos.

Aos amigos da universidade, Ilg, Felipe, Lucas, Miguel, Jayro, Diego, Aline, Myrelle, Thayse e Mara, por vários momentos de ajuda e companheirismo.

A todos os professores que de alguma maneira me ajudaram nessa escalada acadêmica.

Ao meu orientador, Manoel Denis Costa Ferreira por toda confiança, ensinamentos, conhecimentos e empenho para realização desse trabalho.

RESUMO

Wood Frame é um sistema construtivo que consiste na utilização da madeira como elemento estrutural de uma edificação, substituindo os mais convencionais que são o concreto armado e o aço. No Brasil esse sistema ainda é pouco utilizado, porém com o passar dos anos vem ganhando cada vez mais espaço no mercado da engenharia civil. Uma das dificuldades para realização de projetos em Wood Frame é a inexistência de uma norma nacional para ser seguida que explique detalhadamente com executar tal projeto, como já existe para estruturas de aço ou concreto armado, sendo necessário utilizar normas estrangeiras como as normas americanas do NDS, por esse motivo nota-se uma escassez de profissional qualificados para realizar o dimensionamento de estruturas dessa natureza. O presente trabalho tem o objetivo de dimensionar detalhadamente uma edificação residencial com 2 pavimentos em Wood Frame com base nas normas americanas do NDS compatibilizadas com a norma brasileira de estruturas de madeira. Para os cálculos os esforços solicitantes foi utilizado o software computacional SAP2000 que trabalha com elementos finitos e possibilita que o usuário obtenha os esforços solicitantes em cada peça, o que tornou possível localizar qual delas foram mais solicitadas para o cálculo das resistências. Também foi possível verificar se a estrutura resistiu com segurança a todos os esforços demandados. Além disso, este trabalho contribui para profissionais que desejem realizar este tipo de dimensionamento, tendo em vista que no Brasil existe pouco conteúdo sobre o assunto.

Palavras-chave: Projeto estrutural, Wood Frame, SAP2000.

ABSTRACT

Wood Frame is a constructive system that consists of the use of wood as a structural element of a building, replacing the more conventional ones that are the reinforced concrete and the steel. In Brazil this system is still little used, but over the years it has been gaining more and more space in the civil engineering market. One of the difficulties in carrying out projects in Wood Frame is the lack of a national standard to be followed that explains in detail how to execute such a project, as it exists for steel structures or reinforced concrete, and it is necessary to use foreign standards such as the US NDS standards, therefore notes a shortage of qualified professional to perform the design of wooden structures. The present work has the objective to dimension in detail a residential building of 2 floors in Wood Frame based on the American norms of NDS compatible with the Brazilian standard of wood structures. For the calculations the requesting efforts were obtained from the modeling in SAP2000 computational software that works with finite elements and allows the user to obtain the requesting efforts in each piece of the structure which made it possible to locate the most requested building elements for the calculation of the resistances. Checking if the structure resists safely all the applicant efforts, besides helping professionals who wish to carry out this type of dimensioning, considering that in brazil there is little content on the subject.

Key words: Structure Project, Wood Frame, SAP2000.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ILUSTRAÇÃO DA IGREJA SANTA MARIA EM CHICAGO	12
FIGURA 2: CONSTRUÇÃO EM WOOD FRAME	13
FIGURA 3: ESQUEMA CONSTRUTIVO WOOD FRAME.....	14
FIGURA 4: RADIER.....	15
FIGURA 5: SAPATA CORRIDA	16
FIGURA 6: QUADRO ESTRUTURAL DAS PAREDES.....	16
FIGURA 7: DETALHE DAS LIGAÇÕES DA COBERTA	18
FIGURA 8: SAP2000.....	19
FIGURA 9: MODELAGEM TRIDIMENSIONAL.	24
FIGURA 10: PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TÉRREO.....	25
FIGURA 11: PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO SUPERIOR.....	25
FIGURA 12: 3D E SEÇÃO DAS VIGAS E MONTANTES.....	27
FIGURA 13: PAINEL COM JANELA.....	28
FIGURA 14: 3D E SEÇÃO DO PILAR.	29
FIGURA 15: 3D DA TRELIÇA DE LAJE.....	30
FIGURA 16: 3D DA TRELIÇA DE COBERTURA.....	30
FIGURA 17: SEÇÕES UTILIZADA NAS TRELIÇAS.	30
FIGURA 18: PAINEL COMPOSTO POR TODAS AS PEÇAS ESTRUTURAIS.	31
FIGURA 19: VISTA FRONTAL.....	32
FIGURA 20: VISTA POSTERIOR.	33
FIGURA 21: VISTA LATERAL ESQUERDA.	33
FIGURA 22: VISTA LATERAL DIREITA.....	34
FIGURA 23: VIGAS DO PISO DO PAVIMENTO SUPERIOR.	34
FIGURA 24: PAINEL COM DE JANELA.....	35
FIGURA 25: PAINEL COM PORTA E JANELA.....	35
FIGURA 26: PERSPECTIVA ISOMÉTRICA.....	36
FIGURA 27: DIFERENÇA ENTRE $(C_e - C_i)$	37
FIGURA 28: FORÇA AXIAL NO PAINEL DO MONTANTE MAIS SOLICITADO A COMPRESSÃO.....	55
FIGURA 29: DIAGRAMA DE MOMENTO NO PAINEL DO MONTANTE MAIS SOLICITADO A COMPRESSÃO.	56
FIGURA 30: FORÇA AXIAL NO PAINEL DO MONTANTE MAIS SOLICITADO A TRAÇÃO.....	56
FIGURA 31: DIAGRAMA DE MOMENTO NO PAINEL DO MONTANTE MAIS SOLICITADO A TRAÇÃO.....	57
FIGURA 32: FORÇA AXIAL NO PAINEL DA TRELIÇA MAIS SOLICITADA A COMPRESSÃO.	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: VALORES MÉDIOS DE MADEIRAS DICOTILEDÔNEAS NATIVAS E DE FLORESTAMENTO.	
.....	26
TABELA 2: AÇÕES PERMANENTES	36
TABELA 3: AÇÕES VARIÁVEIS	37
TABELA 4: CARREGAMENTO FINAL DE VENTO	38
TABELA 5: COMBINAÇÕES ADOTADAS.....	39
TABELA 6: VALORES MÉDIOS SEGUNDO NBR 7190:1997	40
TABELA 7: COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO	41
TABELA 8: MONTANTE MAIS SOLICITADO A COMPRESSÃO	58
TABELA 9: MONTANTE MAIS SOLICITADO A TRAÇÃO.....	58
TABELA 10: TRELIÇA DE COBERTURA MAIS SOLICITADA A COMPRESSÃO	59

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS	11
1.1.1. Objetivo Geral.....	11
1.1.2. Objetivos Específicos	11
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	12
2.1 HISTÓRIA DO WOOD FRAME	12
2.2 WOOD FRAME	13
2.3 SISTEMA ESTRUTURAL	15
2.3.1 Fundação	15
2.3.2 Painéis das Paredes	16
2.3.3 Cobertura	17
2.4 Programa de Análise Estrutural (SAP2000).....	18
2.5 NORMA AMERICANA	19
2.6 NORMA BRASILEIRA.....	20
3. METODOLOGIA	24
3.1 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA	24
3.2 DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS	26
3.2.1 Montantes e Vigas	27
3.2.2 Pilar.....	28
3.2.3 Treliças.....	29
3.3 MODELAGEM	32
3.4 CARREGAMENTOS.....	36
3.5 COMBINAÇÕES DE CARGAS	38
3.6 VERIFICAÇÕES	40
3.6.1 Montantes.....	41
3.6.1.1 Flexo-compressão.....	42
3.6.1.2 Tração.....	43
3.6.2 Vigas	44
3.6.2.1 Flexo-compressão.....	44
3.6.2.2 Tração.....	46
3.6.3 Treliças de Laje.....	47
3.6.3.1 Flexo-compressão.....	47
3.6.3.2 Tração.....	49
3.6.4 Treliças de Cobertura.....	49
3.6.4.1 Flexo-compressão.....	50
3.6.4.2 Tração.....	51
3.6.5 Pilar.....	52
3.6.5.1 Compressão	52
3.6.5.2 Tração.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1 RESULTADO DO SAP2000	55
4.2 RESULTADOS DAS VERIFICAÇÕES	60
5. CONCLUSÃO	61
6. REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

O Wood Frame é um sistema estrutural construído por painéis de madeira com a finalidade de receber, resistir e transmitir os esforços atuantes sobre a estrutura, exercendo assim o trabalho que comumente é realizado por estruturas de concreto armado, alvenaria ou aço.

Esse sistema é bastante comum e muito utilizado em alguns países, geralmente de clima frio, porém é um sistema de construção que vem ganhando força no cenário da engenharia civil do Brasil devido a vários motivos, principalmente quando relacionado à questão ambiental, rapidez de execução, redução de mão de obra e seu peso próprio.

Uma das principais dificuldades na utilização do Wood Frame no Brasil se dá devido ao pouco conhecimento da implantação desse tipo de sistemas na nossa região. Para resolver esse problema a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) vem desenvolvendo, desde o ano de 2017, uma norma específica para uma execução segura e confiável dentro dos padrões normativos do Brasil, porque até então as estruturas aqui construídas eram realizadas com base nas normas americanas.

Até o momento da realização do presente trabalho a norma ainda não foi disponibilizada pela a ABNT e por esse motivo será necessário realizar correlações entre a norma americana e a norma brasileira NBR 7190:1997 (Projeto de estruturas de madeira).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Utilizar um exemplo prático para demonstrar o método de dimensionamento de uma edificação construída utilizando de perfis de madeira (Wood Frame).

1.1.2. Objetivos Específicos

- Estudar os componentes e esforços solicitantes que estão sujeita este tipo construção;
- Analisar os elementos e métodos construtivos empregados, bem como suas características físicas e estruturais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HISTÓRIA DO WOOD FRAME

Existem relatos sobre a utilização de casas de madeiras transportadas desde o século XVI, porém o Wood Frame ganhou muita força no continente norte americano com a revolução industrial juntamente com o rápido crescimento dos Estados Unidos fazendo com que surgisse à necessidade de construções de fácil e rápida execução.

Até hoje existem controvérsias sobre o surgimento do Wood Frame, porém a Igreja de Santa Maria localizada na cidade de Chicago, mostrado na Figura 1, é conhecida historicamente como a primeira obra construída a partir desse sistema, realizada em julho 1833.

Figura 1: Ilustração da Igreja Santa Maria em Chicago



Fonte: <https://prefabricadosteelframe.wordpress.com>

No Brasil o Wood Frame teve sua primeira aparição no Rio Grande do Sul e desde então vem ganhando cada vez mais espaço, principalmente nas últimas décadas devido a sua praticidade de execução, além de ser uma construção limpa, pois é um dos métodos construtivos atuais que menos gera resíduo.

Mesmo com tantos pontos positivos este método de construção ainda é muito desvalorizado no Brasil devido às construções em alvenaria serem mais conhecidas e aceitas, além de já fazer parte da cultura da engenharia civil do nosso país, porém já existem empresas no Brasil, como a Tecverde, especializadas no sistema Wood Frame.

A Battistella Indústria e Comercio LTDA., com sede em Curitiba-PR, foi uma das pioneiras a implantar efetivamente o sistema de wood frame para casas de madeira de médio e alto padrão no Brasil, sendo que a primeira casa do Brasil em wood frame foi construída em 2001 na cidade de Viamão, no Estado do Rio Grande do Sul, pelo engenheiro Carlos Alves e pelo construtor americano Alfred Lee Edgar (MOLINA & CALIL JUNIOR, 2010, p. 144-145).

Segundo a revista Técnica (2017), a empresa Tecverde já construiu para o programa Minha casa Minha vida mais de 80 mil m² utilizando o sistema Wood Frame. Mostrando que a aceitação desse método construtivo está cada vez maior. A Figura 2 mostra a construção de uma casa construída com esse método construtivo.

Figura 2: Construção em Wood Frame



Fonte: <http://russianconstruction.com>

2.2 WOOD FRAME

O Wood Frame é um sistema construtivo que consiste em uma estrutura constituída por perfis leves de madeira (geralmente de pinus ou eucalipto) contraventados por chapas estruturais de madeira do tipo OSB (Oriented Strand Board) que consiga receber, resistir e transmitir todos os esforços solicitados à edificação de forma precisa e segura, seguindo os padrões de segurança exigidos pela ABNT.

Esse método construtivo é muito comum nos Estados Unidos para realização de apartamentos, casas e edifícios sejam eles comerciais ou industriais, contanto que tenham no

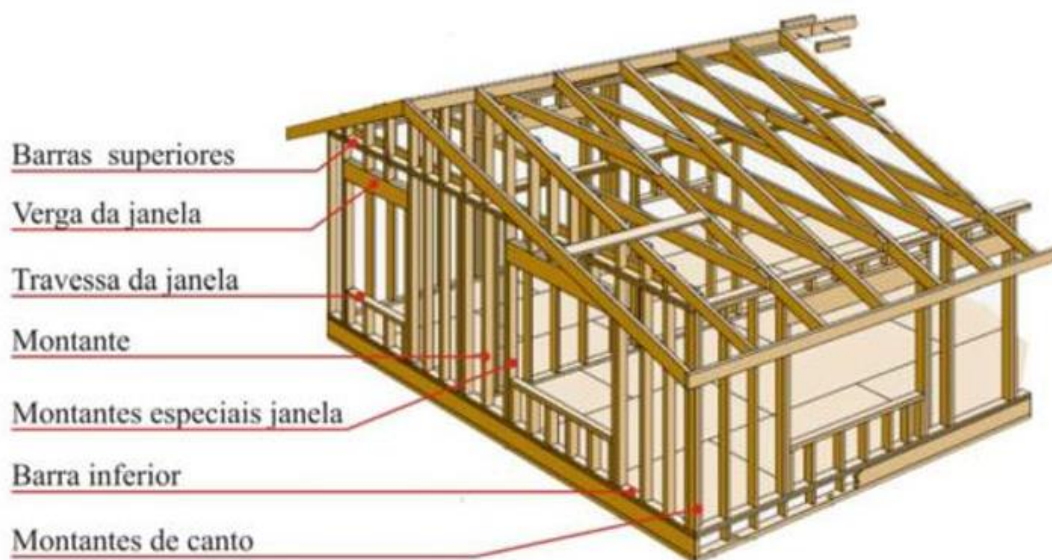
máximo cinco pavimentos. “Nos EUA a tecnologia wood frame é utilizada em 95% das casas construídas” (MOLINA & CALIL JUNIOR, 2010, p. 144).

As construções realizadas em madeira são economicamente mais viáveis, tem uma boa isolamento térmica e acústica, além de um satisfatório grau de conforto. Outro ponto positivo do Wood Frame é sua versatilidade de estilo, podendo ser realizadas construções dos mais variados estilos arquitetônicos, indo dos mais antigos e tradicionais, aos mais atuais e futuristas.

No método construtivo do Wood Frame é realizado primeiramente um esqueleto, constituído por montantes de madeira, como mostrado na Figura 3, que com o auxílio da industrialização ficou bem mais prático e rápido construir as peças, em quantidades e medidas necessárias para a construção, além de diminuir consideravelmente o desperdício pelo fato das peças serem pré-moldadas. Após a realização das instalações elétrica e hidráulica é contraventada com placas OSB podendo ser revestida em ambos os lados com diversos materiais.

O wood frame para casas consiste num sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o fogo (MOLINA & CALIL JUNIOR, 2010, p. 144).

Figura 3: Esquema construtivo Wood Frame.



Fonte: Souza (2013).

Segundo Caio Bonatto, da fornecedora Tecverde, algumas vantagens do Wood Frame são a redução de 80% da emissão de CO₂ e de 85% dos resíduos, além da o tempo de construção ser no mínimo 25% menor que o dos métodos convencionais.

2.3 SISTEMA ESTRUTURAL

2.3.1 Fundação

As fundações do sistema Wood Frame igualmente aos outros métodos construtivos é o elemento mais solicitado da edificação, pois tem a função de transmitir os esforços para o solo, nesse sistema a fundação também é realizada em concreto armado, porém os esforços exercidos por uma estrutura de madeira são menores que os exercidos por uma estrutura de alvenaria idêntica. “Fundações são elementos estruturais destinados a suportar toda a carga de pressão proveniente dos carregamentos dos esforços oriundos do peso próprio dos elementos estruturais como um todo, acrescidos dos carregamentos provenientes do uso (sobrecarga)” (SALGADO, 2009, p. 48).

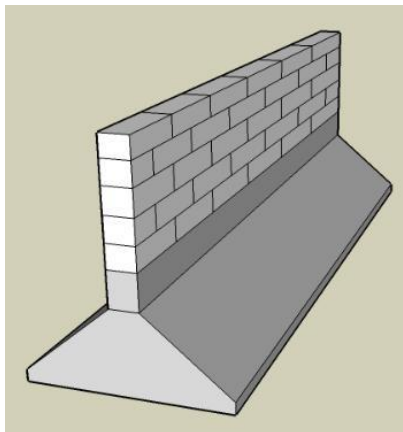
Geralmente no Wood Frame, devido todas as paredes da edificação servirem para transmitir esforços, as fundações são realizadas em forma radier ou de sapata corrida pela necessidade de se ter uma fundação em que as paredes possam ser apoiadas, como mostrado nas Figuras 4 e 5 respectivamente.

Figura 4: Radier



Fonte: <http://felipeschmitzhaus.blogspot.com.br>

Figura 5: Sapata corrida



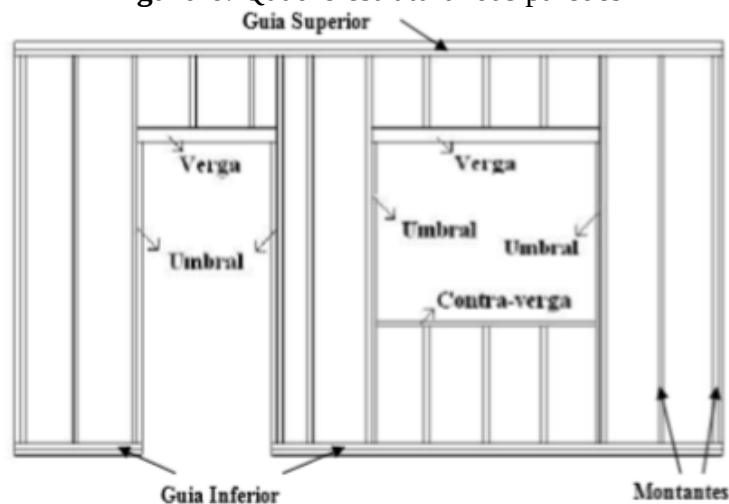
Fonte: <https://naarraes.wordpress.com>

2.3.2 Painéis das Paredes

Segundo o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas, diretriz nº 005, os painéis das paredes são compostos por quadros estruturais que são “formados por peças de madeira maciça serrada, denominadas montantes, travessas, bloqueadores, umbrais, vigas, caibros, ripas e sarrafos, com alta resistência natural ao ataque de organismos xilófagos ou tratadas quimicamente sob pressão”, como mostra a Figura 6. O contraventamento pode ser composto por algumas peças de madeiras como diagonais, montantes ou travessas, além de ser fechado por chapas de madeiras como compensado ou OBS.

A fixação dos painéis pode ser feita por encaixe, pregos do tipo anelado ou ardox, grampos, chumbadores, grampos de ancoragem, pinos, conectores, chapas dentadas e parafusos.

Figura 6: Quadro estrutural das paredes



Fonte: Martins (2014)

De acordo com Velloso (2010), existem diferentes tipos de industrialização para a confecção dos painéis, que são:

- Kits pré-cortados (Pre-cut homes): Os kits são compostos de peças de madeira pré-cortadas nas seções transversais definidas em projeto, e todo o esqueleto é montado no canteiro de obras.
- Casas Panelizadas (Panelized Homes): São produzidos na forma de painéis de parede e treliças de cobertura pré-fabricadas, visando reduzir o tempo de execução no canteiro de obras. Além disso, é mais fácil garantir a confiabilidade dimensional dos elementos e componentes produzidos no ambiente de fábrica, para que posteriormente a montagem da edificação no canteiro seja realizada, sem a necessidade de ajustes, ou de retrabalho.
- Casas Modulares (Modular Homes): Seus componentes apresentam um maior grau de industrialização quando comparado as casas panelizadas, pois já são fabricados módulos tridimensionais que vão compor a edificação montada no canteiro de obras, onde na maioria das vezes já possuem as esquadrias e as instalações.
- Casas Industrializadas (Manufactured Homes): São transportadas inteiramente para o canteiro de obras, com todas as instalações e acabamentos já finalizados.

2.3.3 Cobertura

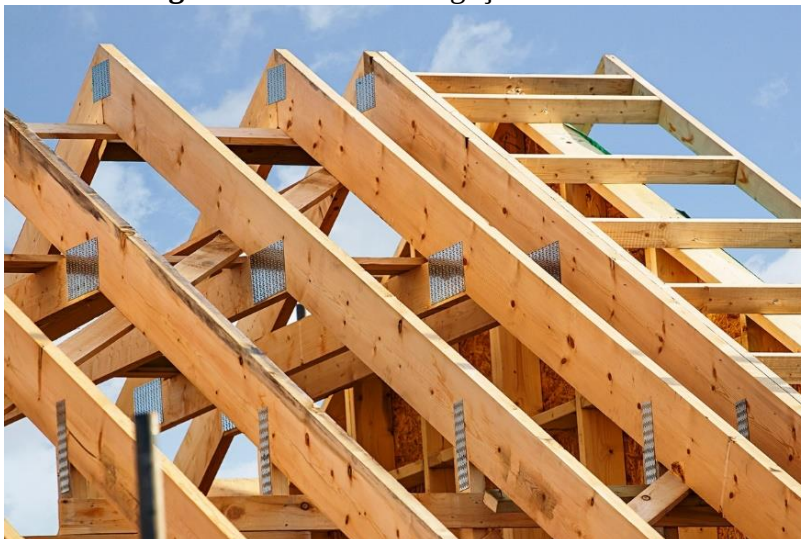
Segundo Leite e Lahr (2016), as coberturas são realizadas de maneira igual ao sistema convencional, utilizando uma estrutura mais leve, pois o fechamento geralmente é realizado com telhas mais leves.

A cobertura é formada por elementos leves em madeira, podendo ser executados em diferentes formatos, utilizando-se diversos tipos e formatos de telhas. As treliças são os elementos estruturais mais utilizados, cujo espaçamento deve coincidir com a modulação dos quadros estruturais com o objetivo de coincidir os montantes com o eixo das treliças (CAMPOS, 2006, p. 53).

Os conectores utilizados para fazer as ligações das treliças geralmente são chapas dentadas, como pode ser visto na Figura 7, pelo fato de proporcionar uma boa fixação e de não ficar aparente, pois as tesouras ficam escondidas pelo forro.

De acordo com Campos (2006), a cobertura é o elemento estrutural final na montagem, pois ela também é responsável pelo travamento e contaventamento da estrutura.

Figura 7: Detalhe das ligações da cobertura



Fonte: <https://www.atlantictruss.com>

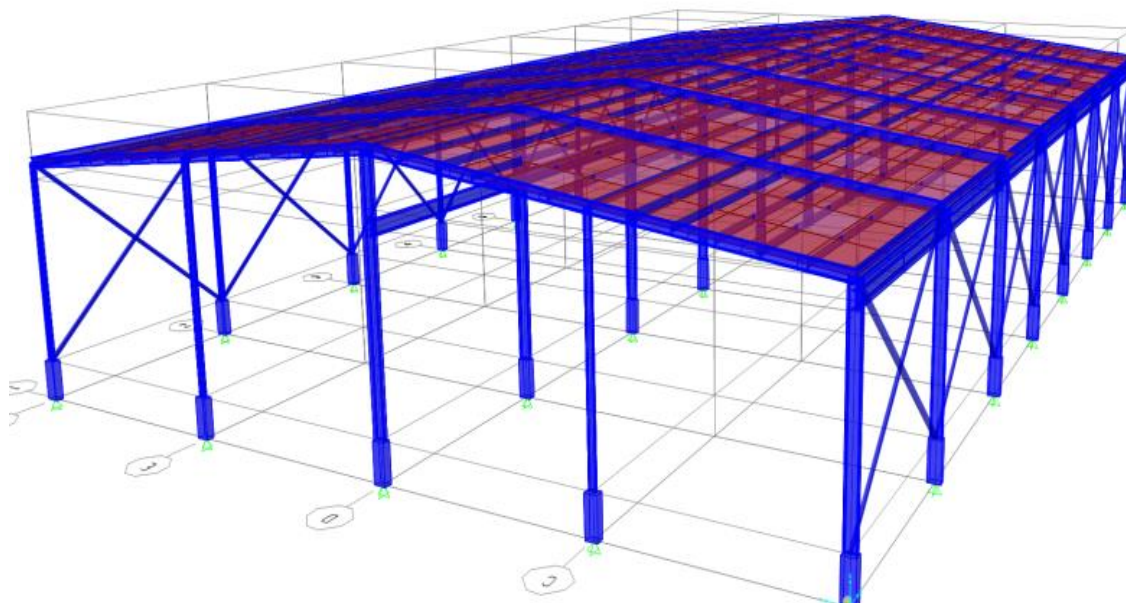
2.4 Programa de Análise Estrutural (SAP2000)

Com o passar dos anos e com o avanço da tecnologia foram surgindo e sendo aperfeiçoados softwares computacionais que auxiliam as mais diversas áreas da engenharia. A área de estruturas foi uma das que obteve uma boa evolução. Um dos softwares utilizados para o auxílio de análises estruturais é o SAP2000, sendo atualizado constantemente e possuindo as ferramentas necessárias para realização de análises em estruturas complexas.

O SAP2000 é um programa com base em elementos finitos que realiza modelagem, análises e dimensionamento dos mais diversos tipos de estruturas, desde as mais simples em 2D até as tridimensionais mais complexas. O software também contém uma interface gráfica 3D que facilita e acelera o processo produtivo do usuário. A Figura 8 mostra uma estrutura modelada no SAP2000.

A empresa já está no mercado há bastante tempo e é conhecida por sempre oferecer um software de fácil utilização, além de uma boa precisão dos resultados, algoritmos numéricos eficientes e processamento rápido. O primeiro software para o método de elementos finitos foi desenvolvido pelo Dr. Edward Wilson em 1961 denominado de SAP (Structural Analysis Program). O software SAP2000 foi desenvolvido e vem sendo atualizado periodicamente pela empresa CSI-America. O SAP surgiu no Brasil quando ainda se chamava SAP80 e foi introduzido pelo professor Harold Hirth no ano de 1982.

Figura 8: SAP2000



Fonte: <http://www.eng-tips.com>

2.5 NORMA AMERICANA

Atualmente o Brasil não possui uma norma específica para construções em Wood Frame, porém a mesma já está em fase de desenvolvimento pela ABNT. Por esse motivo, neste trabalho será utilizada a NBR 7190:1997 - Projeto de Estruturas de Madeira, além de algumas recomendações das normas americanas específicas para este sistema estrutural, fazendo assim, uma compatibilização das duas normas.

As normas americanas utilizadas na atualidade são as NDS - National Design Specifications for Wood Construction (Especificações Nacionais para o Dimensionamento de Madeira para Construção) são desenvolvidas e atualizadas pela American Wood Council (AWC).

As normas do NDS contêm todas as informações necessárias que devem ser utilizadas para um correto e adequado esquema estrutural de uma edificação em Wood Frame. Sobre as normas tem-se que:

O maior foco do NDS está na apresentação de dados mecânicos relativos à diferentes espécies (chamado de “grades” – variações de espécies, ou séries) como: resistência a compressão, resistência a flexão, resistência a tração, resistência ao cisalhamento, orientação das fibras, parâmetros de cálculos e dimensionamentos, tipos de carregamentos adotados, variáveis de majoração e redução, coeficientes de segurança, tipos de produtos fabricados em madeira pela indústria, comportamento de produtos manufaturados de madeira, processos de produção desses produtos, testes padronizados,

dimensionamento de conexões, dimensionamento para carregamentos verticais e horizontais, ordem cronológica de execução das etapas de projeto, diagramas para dimensionamento de ações horizontais, dimensionamento para ações sísmicas e bibliografias associadas (CESARINO, 2016, p.31).

A norma americana já é bem estabelecida e de grande confiabilidade para se tomar como referência para adaptação da norma brasileira de estruturas de madeira (que foi criada para estruturas de madeira de forma geral) para o projeto estrutural deste sistema wood frame. As NDS são bem reconhecidas devido ao tempo em que o EUA faz uso deste método construtivo, adquirindo assim um grande conhecimento na área e desenvolvendo uma norma de ótima qualidade.

2.6 NORMA BRASILEIRA

Nos dias de hoje todas as estruturas de madeiras construídas no Brasil devem seguir a NBR 7190:1997 obedecendo assim todos os parâmetros de segurança estabelecidos pela ABNT. “Esta Norma fixa as condições gerais que devem ser seguidas no projeto, na execução e no controle das estruturas correntes de madeira, tais como pontes, pontilhões, coberturas, pisos e cimbres” (ABNT, 1997)

A NBR 7190:1997 é a norma brasileira que contém os dados importantes relacionados as estruturas de madeiras como: as resistências mecânicas das diferentes espécies de madeira de acordo com a direção das nas peças; as formulas, dados e tabelas necessários para realização da verificação de resistência da peça desejada; coeficientes de segurança, majoração e minoração utilizados; como e quais ligações utilizar além de vários outros dados.

Devido a importância dessa norma para as estruturas de madeira realizadas no brasil, as construções em Wood Frame que são realizadas no nosso país são dimensionadas a partir de uma compatibilização da norma americana com a NBR 7190:1997 com o intuito de que a estrutura seja dimensionada corretamente de acordo com a ABNT e com as particularidades do nosso país.

Com o crescimento do Wood Frame no Brasil, está sendo desenvolvida uma norma específica para esse sistema com a finalidade de se utilizar uma norma desenvolvida especialmente para as características físicas e meteorológicas encontradas ao longo do vasto território brasileiro. A elaboração dessa norma irá sanar uma das dificuldades encontradas na realização de construções utilizando esse sistema, referente a necessidade compatibilização das normas americanas com as normas brasileiras.

Sistema construtivo consolidado no exterior, o *Wood Frame* vem se desenvolvendo no Brasil há menos de dez anos, mas em breve suas especificações deverão ser disponibilizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A Comissão de Estudo do Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002) já avançou bastante na discussão de Projeto e Execução, partes importantes da norma que abrangerá também requisitos gerais e componentes, entre outros itens (ABNT, s.d.).

No Brasil os cálculos realizados para verificar a resistência das peças são feitos conforme as exigências da ABNT, seguindo um passo a passo.

- Esbeltez da peça

Primeiramente realiza-se o grau de esbeltez da peça, caracterizando-a entre: curta para um índice de esbeltez entre 0 e 40, medianamente esbelta para um índice entre 40 e 80 e esbelta quando o índice obtido estiver entre 80 e 140. Para encontrar o índice de esbeltez é necessário calcular o raio de giração e com ele o índice de esbeltez, como mostrado nas Equações 1 e 2 respectivamente

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} \quad (Eq. 1)$$

$$\lambda = \frac{L_0}{r_{min}} \quad (Eq. 2)$$

- Carga crítica de Euler

A carga crítica de Euler é calculada pela Equação 3, para posteriormente ser utilizada no cálculo do momento fletor.

$$N_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (Eq. 3)$$

- Excentricidade

Para uma maior segurança a NBR 7190:1997 utiliza uma excentricidade nos seus cálculos, onde esta excentricidade é o diferencial no cálculo de peças curtas, medianamente esbeltas e esbeltas. Para as peças esbeltas é necessário utilizar as três excentricidades, sendo

elas acidental, inicial e complementar. Já para as peças medianamente esbeltas não é necessário a utilização da excentricidade complementar.

A excentricidade total e a soma das excentricidades de acordo com o grau de esbeltez da peça, conforme a Equação 4.

$$e_1 = e_a + e_i + e_c \quad (Eq. 4)$$

A excentricidade acidental é utilizada em todos os cálculos independente da esbeltez da peça, como mostra a Equação 5.

$$e_a = \frac{L_0}{300} \quad (Eq. 5)$$

Já a excentricidade inicial é utilizada para as peças medianamente esbeltas e esbeltas, para uma maior segurança. A Equação 6, mostra como é calculado a excentricidade inicial.

$$e_i = \frac{M_{1d}}{N_d} \quad (Eq. 6)$$

A excentricidade complementar é utilizada somente quando a peça é caracterizada como esbelta, pois é necessária uma segurança ainda maior, para isso é calculado uma constante k conforme a Equação 7, onde a mesma é utilizada para o cálculo da excentricidade complementar mostrado na Equação 8.

$$k = \frac{\varphi [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]}{N_e - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]} \quad (Eq. 7)$$

$$e_c = (e_i + e_a)\{exp^k - 1\} \quad (Eq. 8)$$

- Momento fletor

Com a obtenção de todos os dados necessários para o cálculo do momento fletor, o mesmo é calculado de acordo com a Equação 9.

$$M_d = N_d \times (e_1) \left(\frac{N_e}{N_e - N_d} \right) \quad (Eq. 9)$$

- Tensões

Para a verificação de resistência a compressão e flexo-compressão é necessário calcular a tensão atuante e a tensão gerada pelo momento fletor, como mostrado respectivamente pelas Equações 10 e 11.

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} \quad (Eq. 10)$$

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{W} \quad (Eq. 11)$$

- Verificação

Após o cálculo das tensões pode ser feita a verificação a peça, onde a mesma é realizada conforme a Equação 12.

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0d}} \leq 1 \quad (Eq. 12)$$

- Tração

Para a verificação a tração o cálculo é bem menor, sendo necessário somente calcular a tensão de tração atuante e verificar conforme a resistência da espécie da madeira utilizada, como mostra as Equações 13 e 14.

$$\sigma_{td} = \frac{N_{td}}{A} \quad (Eq. 13)$$

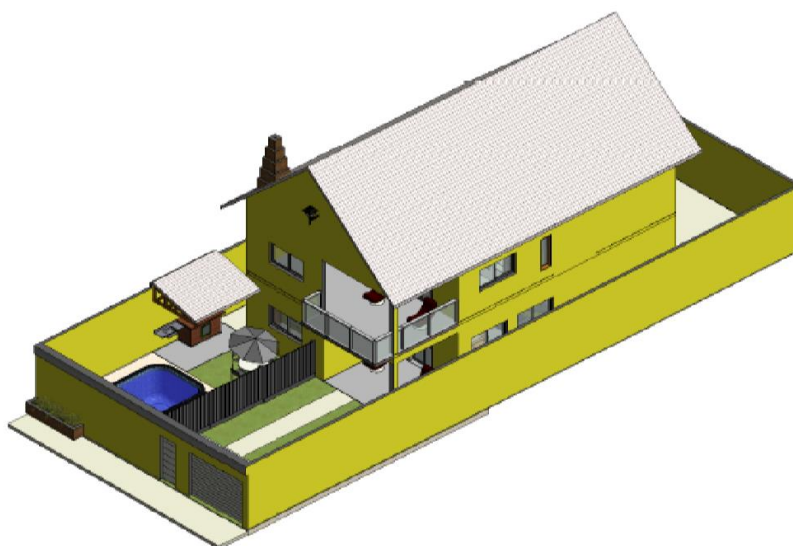
$$\sigma_{td} \leq f_{t0d} \quad (Eq. 14)$$

3. METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

O projeto utilizado no presente trabalho foi desenhado por Diogo Medeiros Jales, o mesmo foi desenvolvido a partir da plataforma gráfica Revit Arquitetura versão 2015. Sendo projetado para ser localizado na cidade de Mossoró – RN. A visualização em 3D pode ser observada na Figura 9.

Figura 9: Modelagem tridimensional.

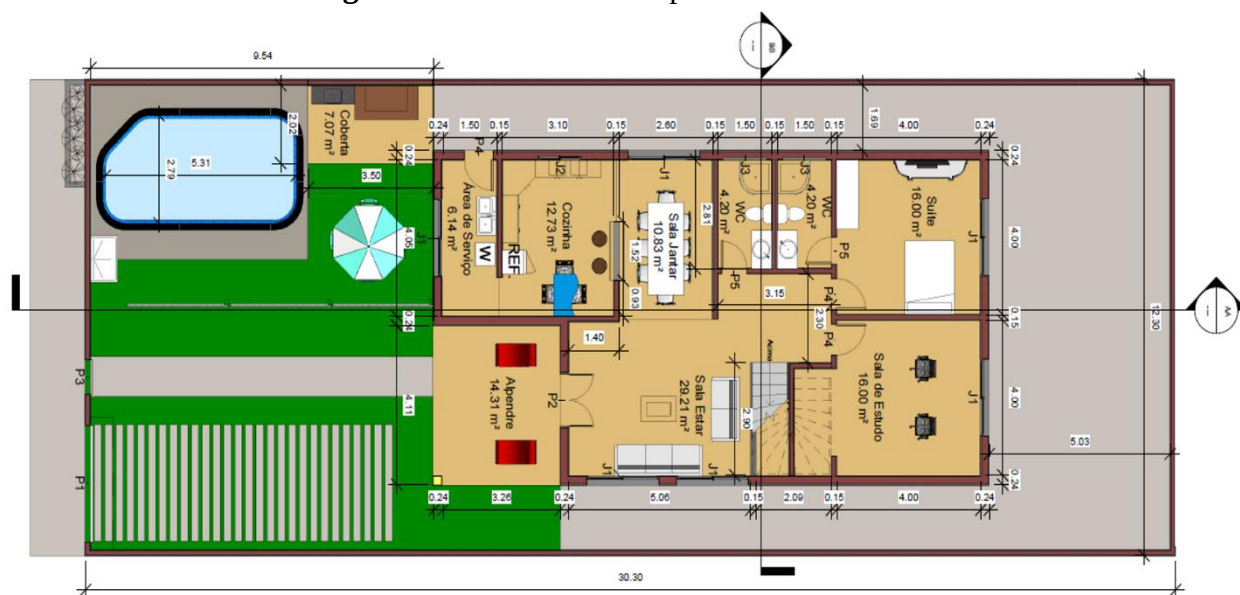


Fonte: JALES (2016)

A edificação consiste em uma residência unifamiliar de 2 pavimentos e tem uma área total de 372,69 m² com 270,59 m² construídos distribuídos entre o térreo e superior, como pode ser observado na Figura 10 e 11 respectivamente.

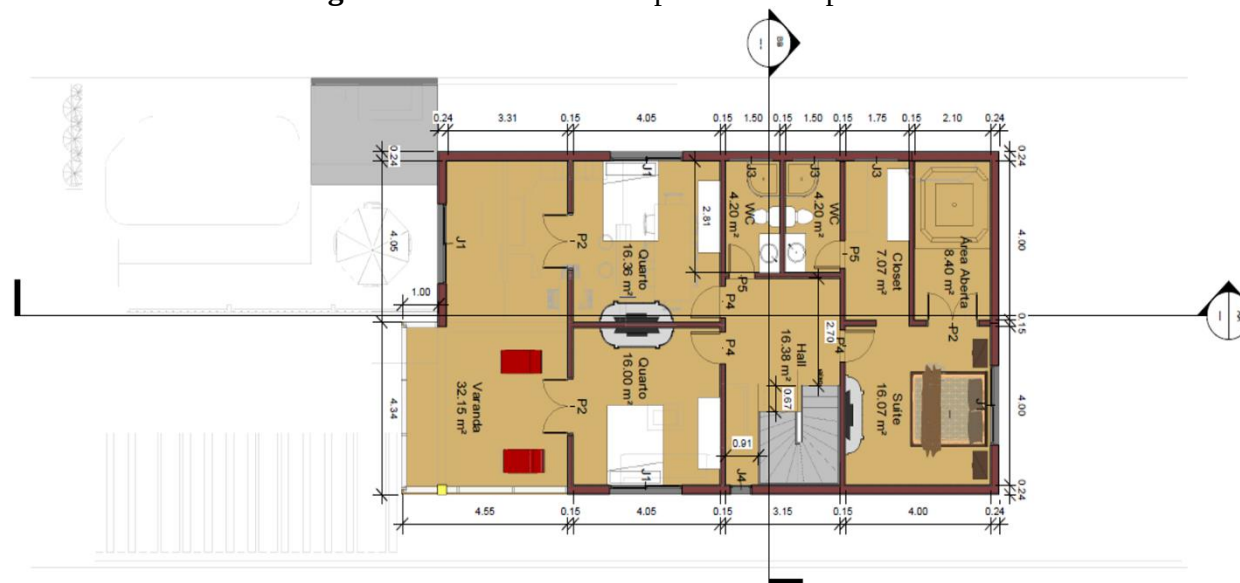
- Pavimento Térreo: Alpendre, área de serviço, cozinha, sala de jantar, sala de estar, banheiro, sala de estudo e suíte;
- Pavimento Superior: Varanda, dois quartos, banheiro, hall e uma suíte com closet e área aberta.

Figura 10: Planta baixa do pavimento térreo.



Fonte: Jales (2016)

Figura 11: Planta baixa do pavimento superior.



Fonte: Jales (2016)

3.2 DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS

O dimensionamento dos perfis utilizados na edificação foi feito com base nas dimensões comumente utilizada nas edificações realizadas em Wood Frame e também comercializadas, sendo elas 2'x4', 2'x6' e 2'x8' (38x90, 38x140 e 38x190 respectivamente em milímetros). Conhecendo as seções mais utilizadas para esse sistema foi escolhido para ser utilizado a seção 38mm x 140 mm para os montantes e vigas dos painéis, para o pilar da varanda por motivos estéticos foi utilizado uma seção de 240 mm x 240 mm e para as vigas externas das treliças foi necessário utilizar uma seção diferente das convencionais, sendo ela de 100 mm x 190 mm.

Após a escolha da seção foi definida a espécie da madeira a ser utilizada, seguindo o conceito do sistema construtivo em questão foi escolhido a espécie *Eucalyptus dunnii*, comumente conhecida como Eucalipto Dunnii, devido a sua alta resistência e baixa massa específica como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento.

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap}^{(1)}$ kg/m ³	$f_{c0}^{(2)}$ MPa	$f_{t0}^{(3)}$ MPa	$f_{90}^{(4)}$ MPa	$f_v^{(5)}$ MPa	$E_{c0}^{(6)}$ MPa	$n^{(7)}$
E. Alba	<i>Eucalyptus alba</i>	705	47,3	69,4	4,6	9,5	13 409	24
E. Camaldulensis	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	899	48,0	78,1	4,6	9,0	13 286	18
E. Citriodora	<i>Eucalyptus citriodora</i>	999	62,0	123,6	3,9	10,7	18 421	68
E. Cloeziana	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	822	51,8	90,8	4,0	10,5	13 963	21
E. Dunnii	<i>Eucalyptus dunnii</i>	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18 029	15
E. Grandis	<i>Eucalyptus grandis</i>	640	40,3	70,2	2,6	7,0	12 813	103
E. Maculata	<i>Eucalyptus maculata</i>	931	63,5	115,6	4,1	10,6	18 099	53
E. Maidene	<i>Eucalyptus maidene</i>	924	48,3	83,7	4,8	10,3	14 431	10
E. Microcorys	<i>Eucalyptus microcorys</i>	929	54,9	118,6	4,5	10,3	16 782	31
E. Paniculata	<i>Eucalyptus paniculata</i>	1 087	72,7	147,4	4,7	12,4	19 881	29
E. Propinqua	<i>Eucalyptus propinqua</i>	952	51,6	89,1	4,7	9,7	15 561	63
E. Punctata	<i>Eucalyptus punctata</i>	948	78,5	125,6	6,0	12,9	19 360	70

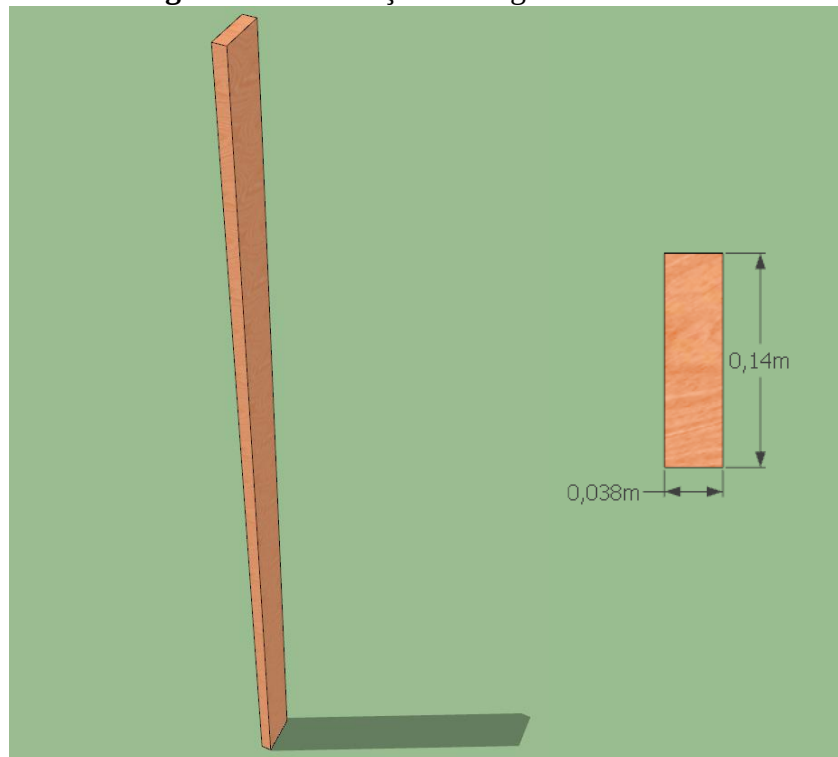
Fonte: ABNT

Já definido as seções, espaçamento e espécie da madeira a ser utilizada e conhecendo também as dimensões da edificação, temos as seguintes características para as peças da edificação.

3.2.1 Montantes e Vigas

Os montantes e as vigas foram utilizados na formação dos painéis das paredes da edificação e nas vigas de piso. A Figura 12 mostra a seção adotada e um modelo tridimensional da peça

Figura 12: 3D e seção das vigas e montantes.

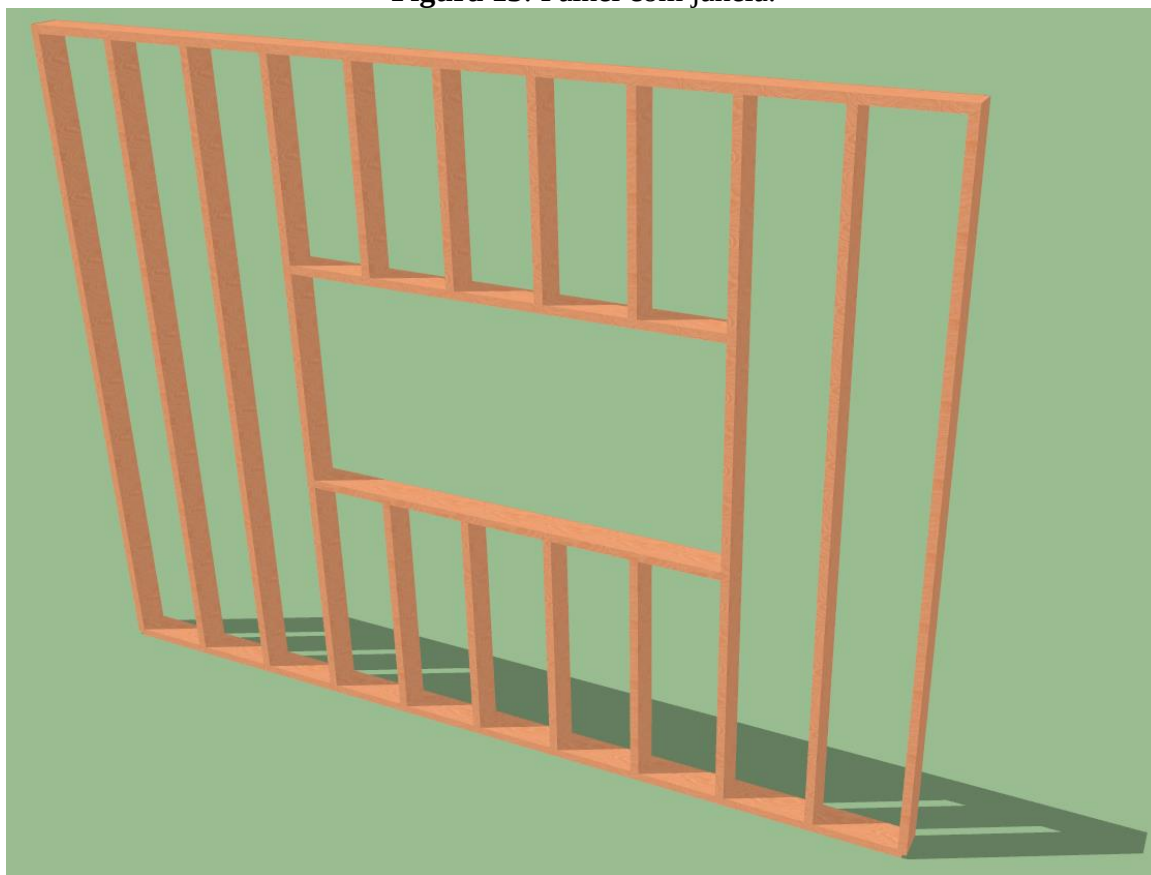


Fonte: Próprio autor

Características:

- Espécie: *Eucalyptus dunnii*
- Seção: 38mm x 140mm
- Espaçamento: 40 centímetros
- Resistência à compressão paralela às fibras: 48,9 Mpa
- Resistência à tração paralela às fibras: 139,2 Mpa
- Resistência ao cisalhamento: 9,8 Mpa
- Massa específica: 690 kg/m³
- Pé-direito: 3 metros
- Velocidade média do vento: 30 m/s

Figura 13: Painel com janela.



Fonte: Próprio autor

Na Figura 13 pode se ter uma visualização de como fica um painel de parede após a ligação das vigas e montantes.

3.2.2 Pilar

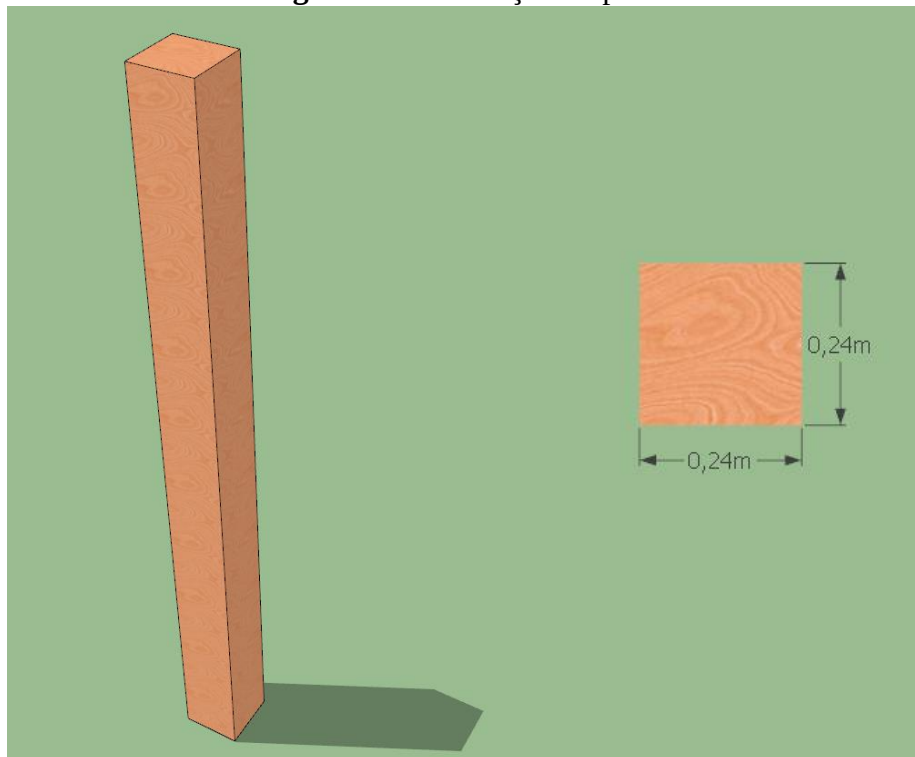
O pilar foi utilizado somente no final da sacada da casa e por motivo estético foi utilizado uma seção pouco usual. A Figura 14 mostra a seção adotada e um modelo tridimensional da peça.

Características:

- Espécie: *Eucalyptus dunnii*
- Seção: 240mm x 240mm
- Resistência à compressão paralela às fibras: 48,9 Mpa
- Resistência à tração paralela às fibras: 139,2 Mpa

-
- Resistência ao cisalhamento: 9,8 Mpa
 - Massa específica: 690 kg/m³
 - Pé-direito: 3 metros
 - Velocidade média do vento: 30 m/s

Figura 14: 3D e seção do pilar.

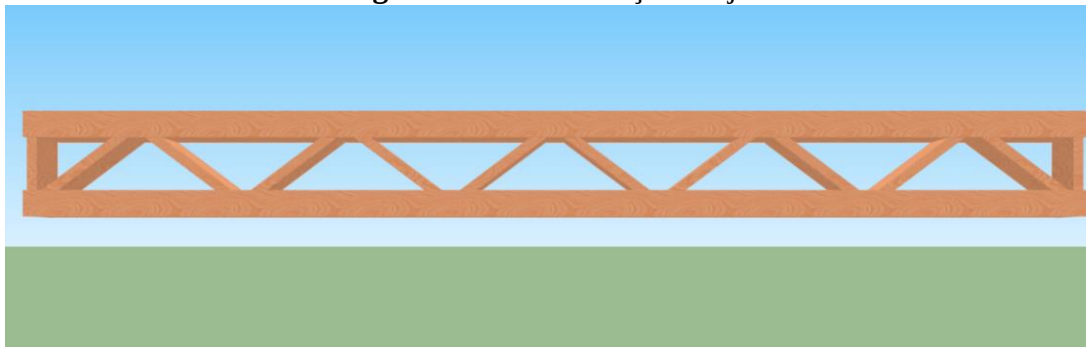


Fonte: Próprio autor

3.2.3 Treliças

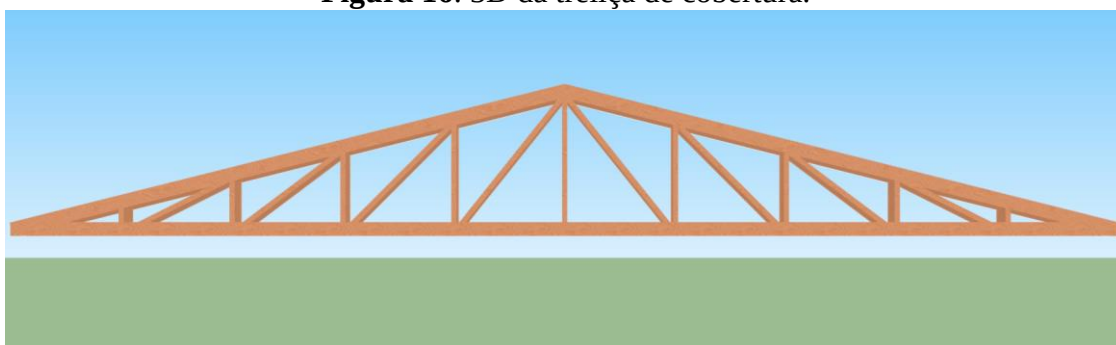
Foram utilizados dois tipos de treliça na edificação, sendo elas, treliça de laje e treliça de cobertura. A treliça de laje foi utilizada na varanda do prédio devido à ausência de paredes abaixo da mesma e necessidade de uma maior resistência, já a treliça de cobertura como o nome já diz foi utilizado na cobertura. As Figura 15 e 16 mostram uma visualização tridimensional das treliças utilizadas.

Figura 15: 3D da treliça de laje.



Fonte: Próprio autor

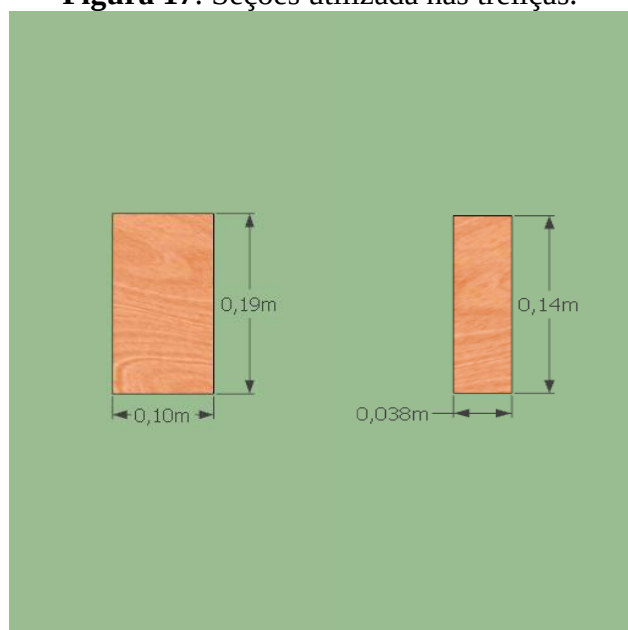
Figura 16: 3D da treliça de cobertura.



Fonte: Próprio autor

Para as treliças foram adotadas duas seções que foram 100 mm x 190 mm para as barras superiores e inferiores e 38 mm x 140 mm para os contraventamentos interiores como mostrado na figura 17.

Figura 17: Seções utilizada nas treliças.



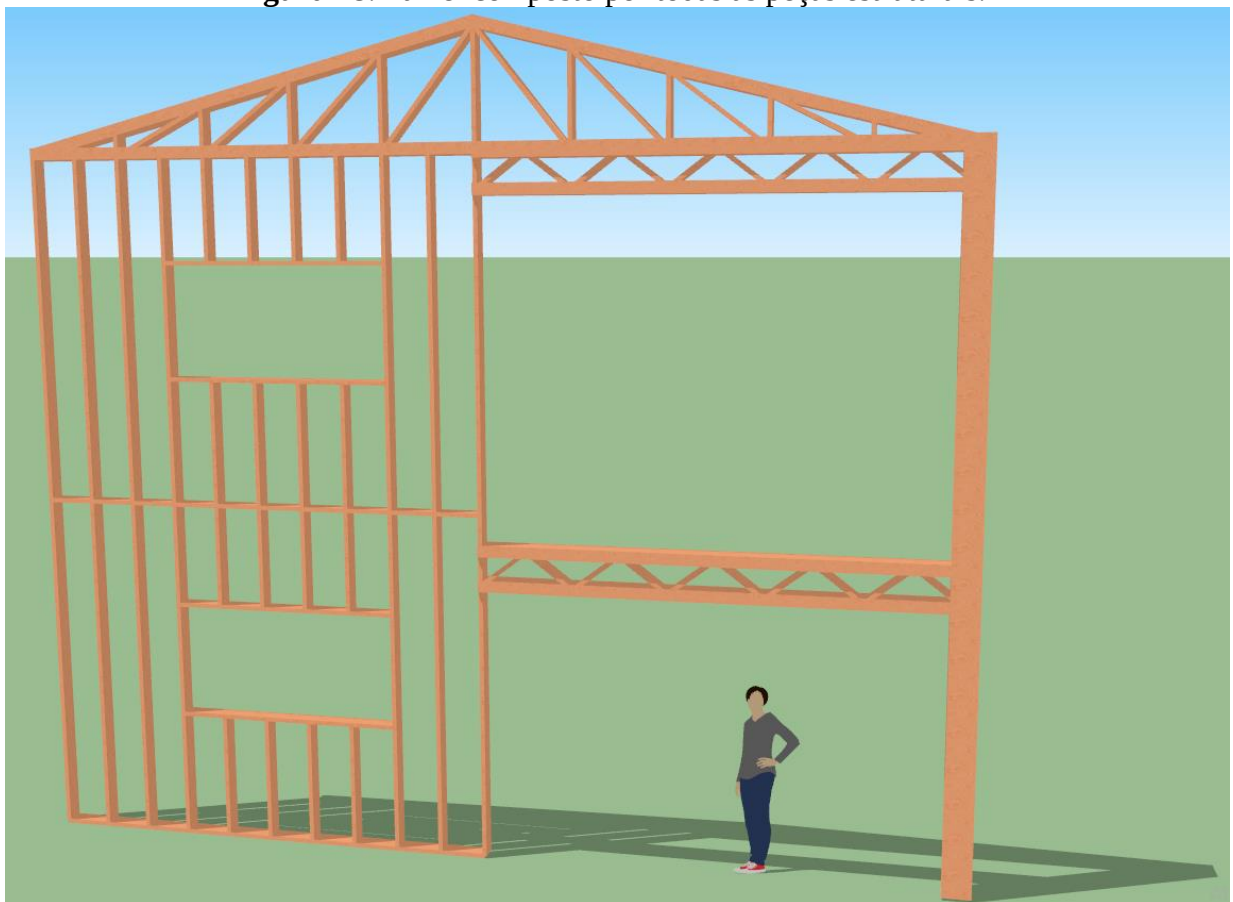
Fonte: Próprio autor

Características:

- Espécie: *Eucalyptus dunnii*
- Seções: 100 mm x 190 mm e 38mm x 140mm
- Espaçamento: 40 centímetros
- Resistência à compressão paralela às fibras: 48,9 Mpa
- Resistência à tração paralela às fibras: 139,2 Mpa
- Resistência ao cisalhamento: 9,8 Mpa
- Massa específica: 690 kg/m³
- Velocidade média do vento: 30 m/s

Para uma melhor visualização das peças estruturais em união é mostrado na Figura 18 um painel composto por todas as peças utilizadas na edificação.

Figura 18: Painel composto por todas as peças estruturais.

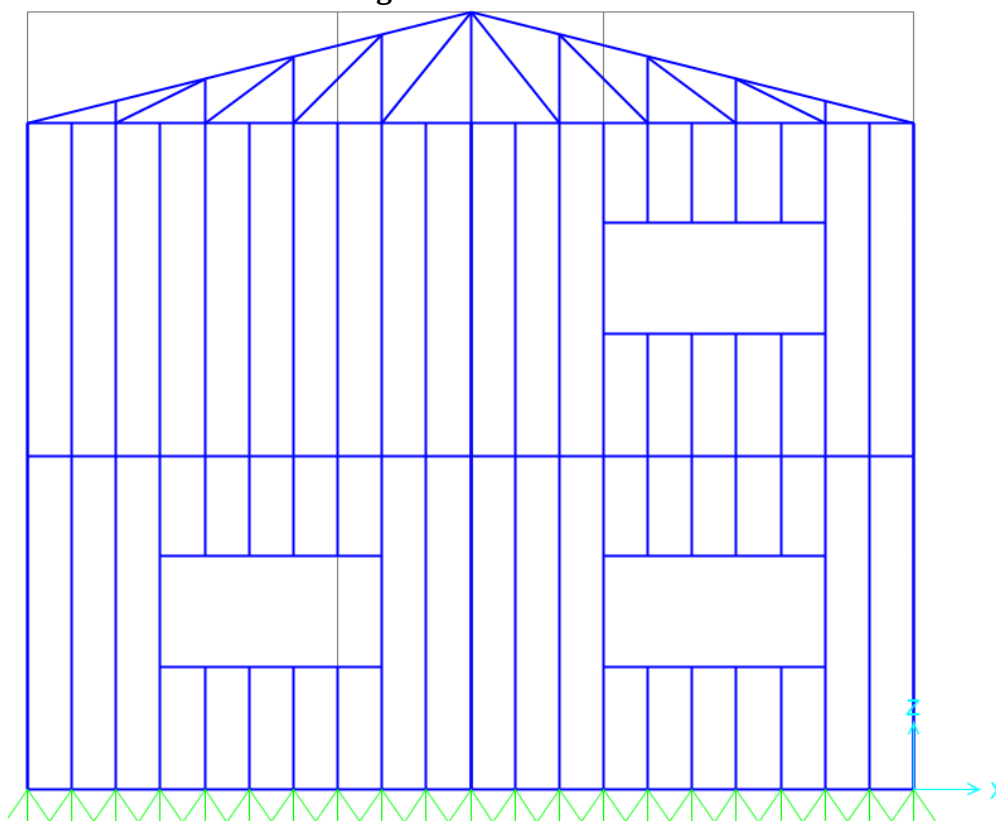


Fonte: Próprio autor

3.3 MODELAGEM

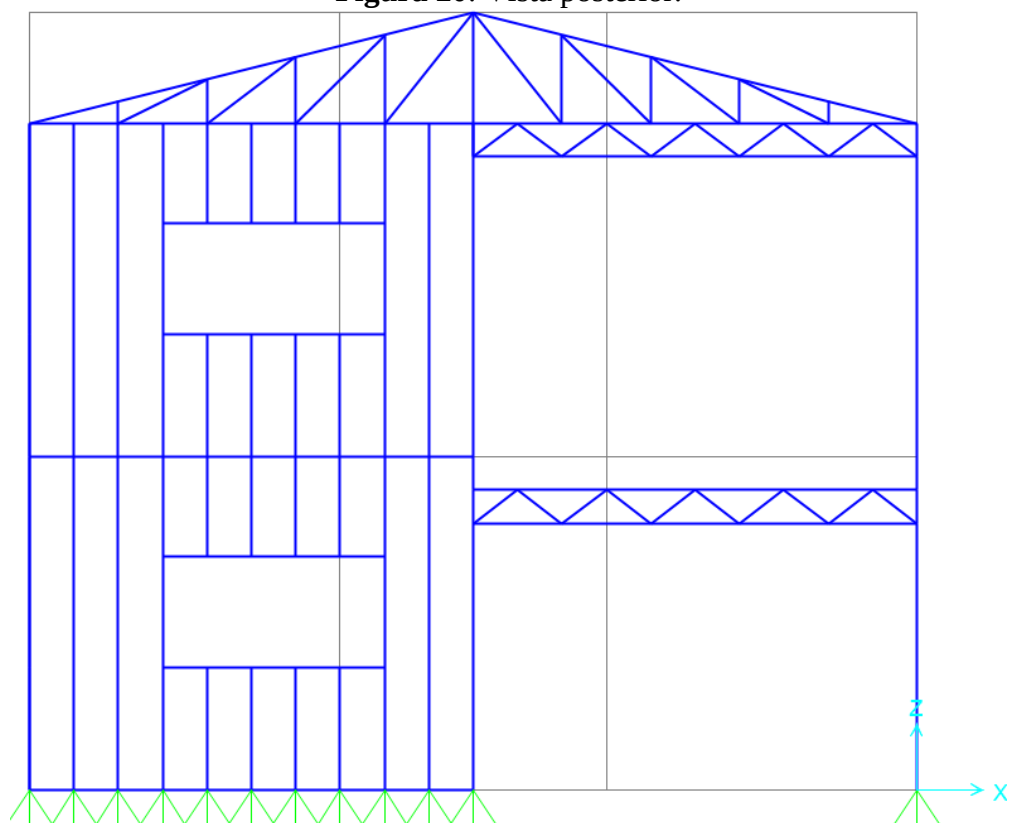
Conhecendo todos os dados necessários para a modelagem foi possível realizar a mesma com o auxílio da plataforma SAP2000, obtendo-se com os resultados do software os esforços solicitantes em todos os pontos da estrutura, permitindo assim encontrarmos as peças expostas aos maiores carregamentos para então conferir a partir dos cálculos de resistência da compatibilização das normas americanas com a norma brasileira de madeiras NBR 7190:1997 se a estrutura atende a todas as exigências de segurança necessárias. As Figuras 19 a 26 mostram as vistas, 3D e alguns painéis importantes do modelo feito no SAP2000.

Figura 19: Vista frontal.



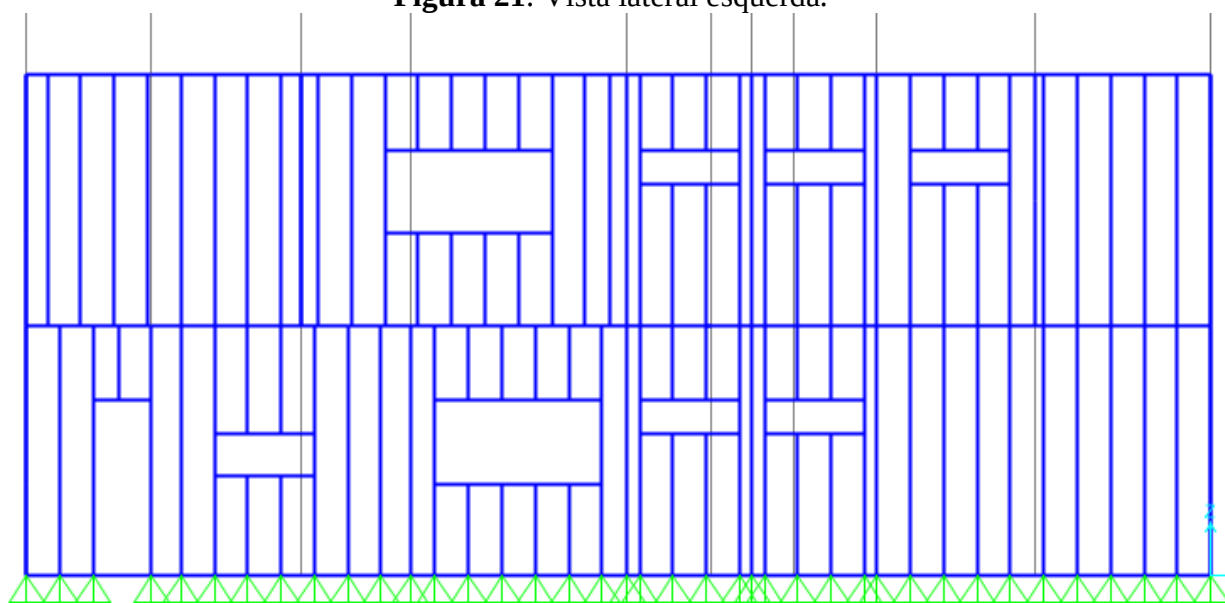
Fonte: Próprio autor

Figura 20: Vista posterior.



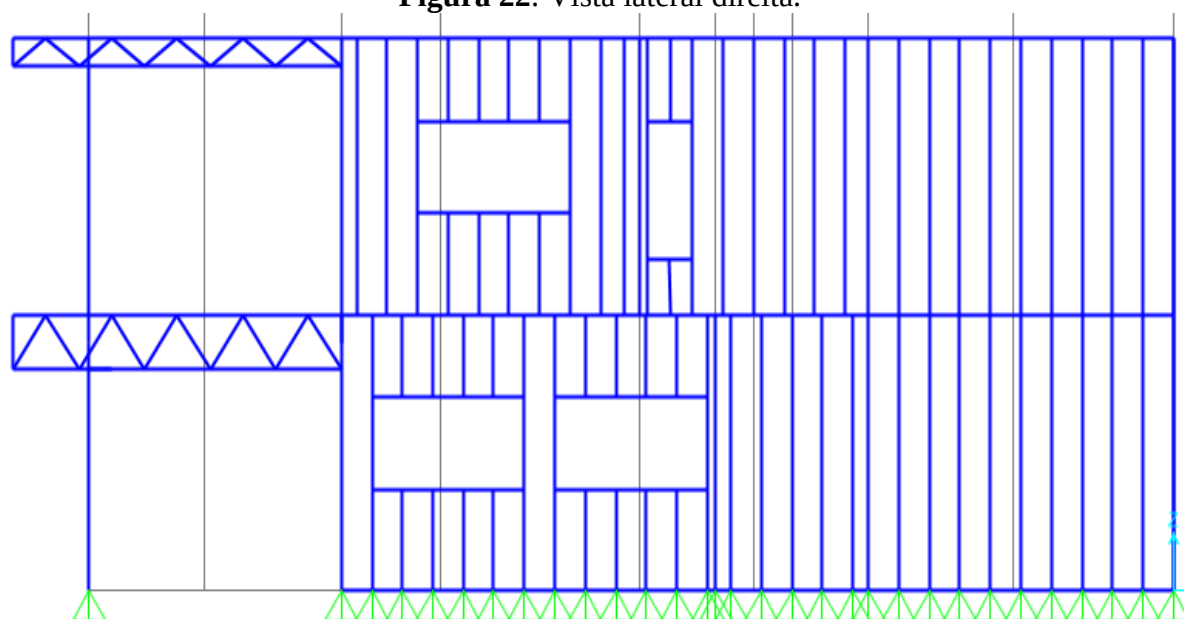
Fonte: Próprio autor

Figura 21: Vista lateral esquerda.



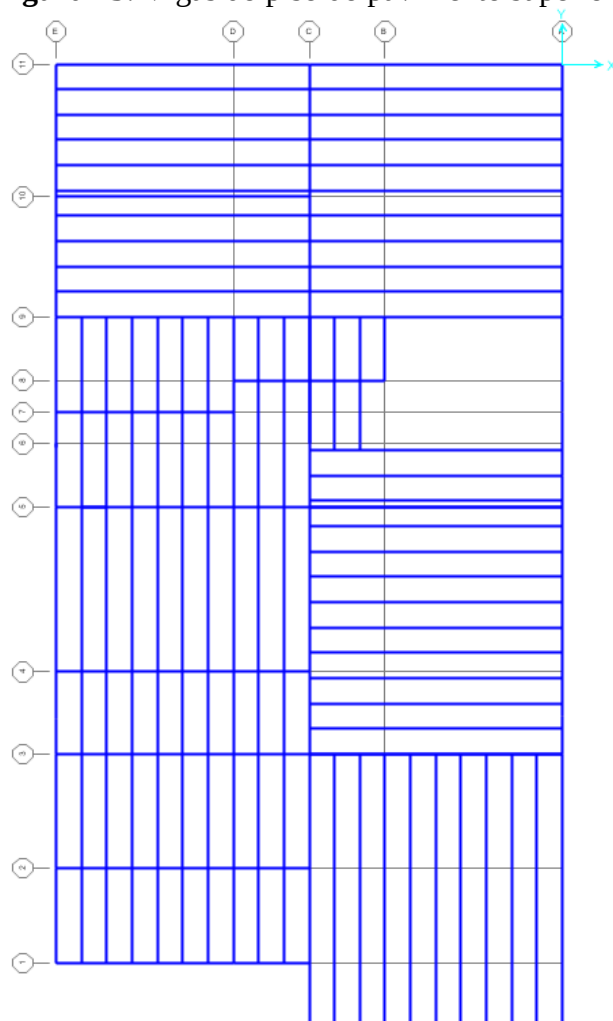
Fonte: Próprio autor

Figura 22: Vista lateral direita.



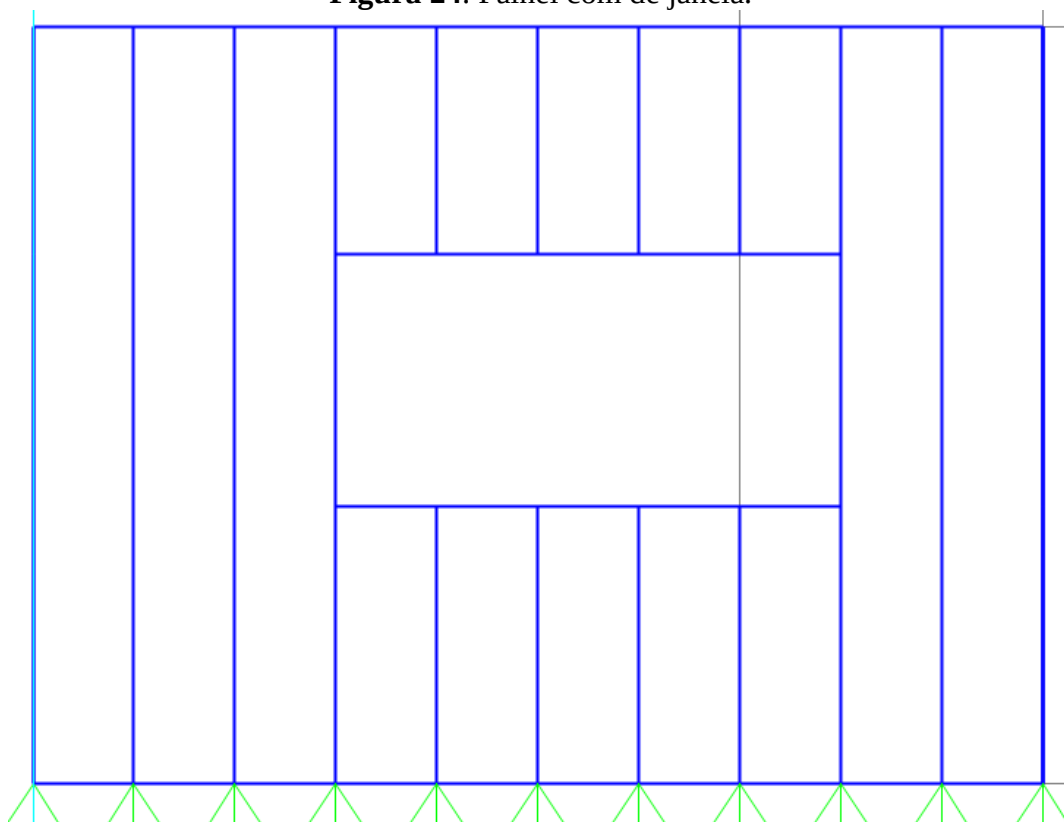
Fonte: Próprio autor

Figura 23: Vigas do piso do pavimento superior.



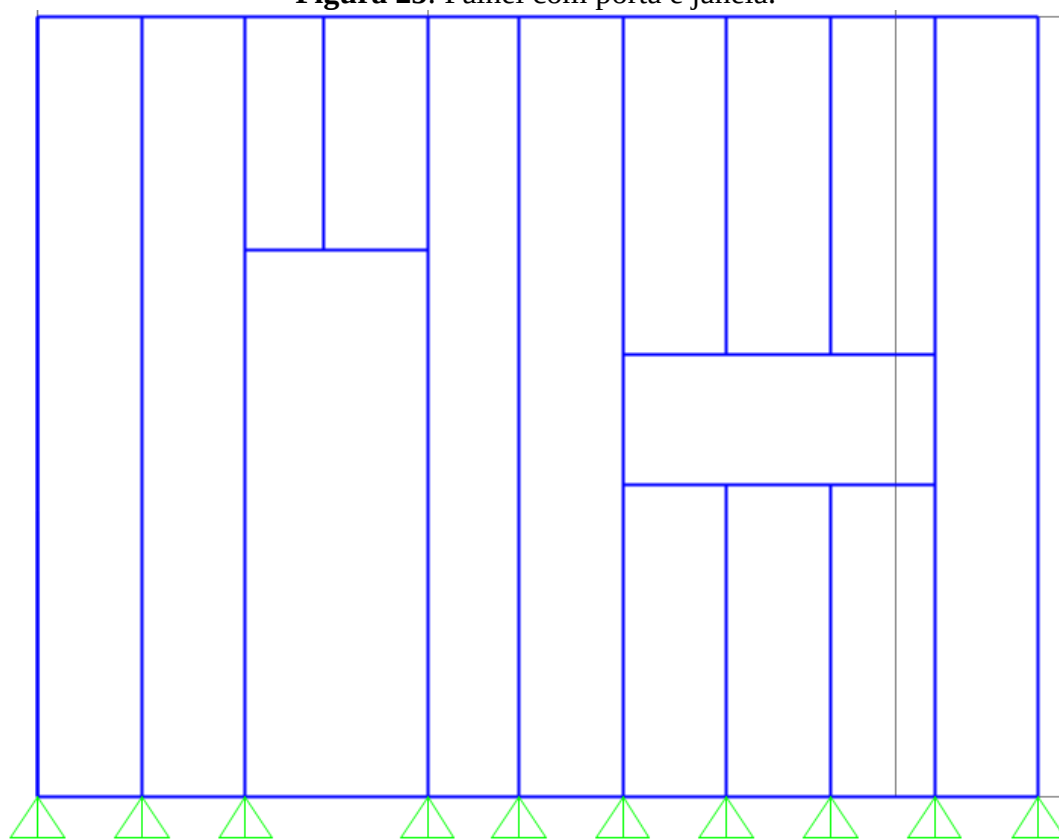
Fonte: Próprio autor

Figura 24: Painel com de janela.



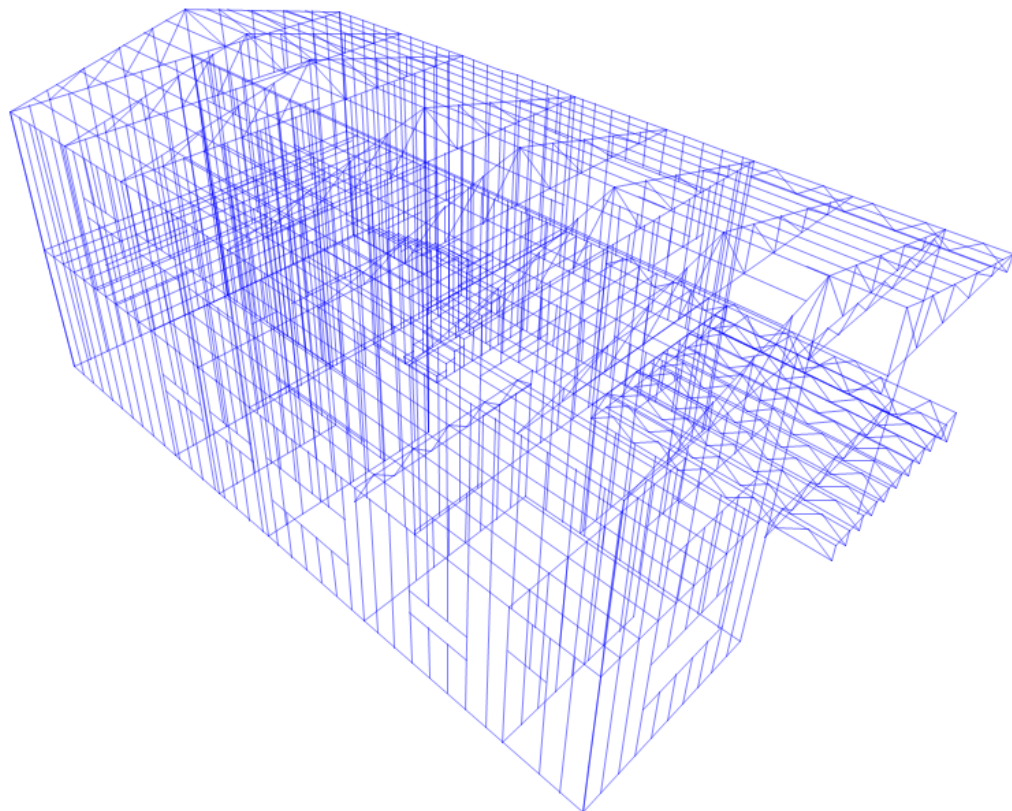
Fonte: Próprio autor

Figura 25: Painel com porta e janela.



Fonte: Próprio autor

Figura 26: Perspectiva isométrica.



Fonte: Próprio autor

3.4 CARREGAMENTOS

Os carregamentos do presente modelo foram adotados de acordo com a monografia de Jales (2016), com a finalidade de possibilitar um trabalho futuro que venha a verificar qual das formas construtivas é economicamente mais viável. A Tabela 2 mostra os carregamentos adotados para as ações permanentes.

Tabela 2: Ações Permanentes

Ações Permanentes		
Laje seca	Placa cimentícia	0,128 kN/m
Revestimento	Porcelanato esmaltado	0,110 kN/m
	Argamassa de assentamento	0,100k N/m
Forro	Gesso	0,060 kN/m
Paredes	Paredes Externas	0,056 kN/m
	Paredes Internas	0,0508 kN/m

Ações Permanentes

Cobertura	Telha Forro	0,0225 kN/m 0,083 kN/m
------------------	----------------	---------------------------

Fonte: Próprio autor

Para as cargas variáveis também foi adotado os dados correspondentes ao trabalho de Jales (2016), estando eles na Tabela 3.

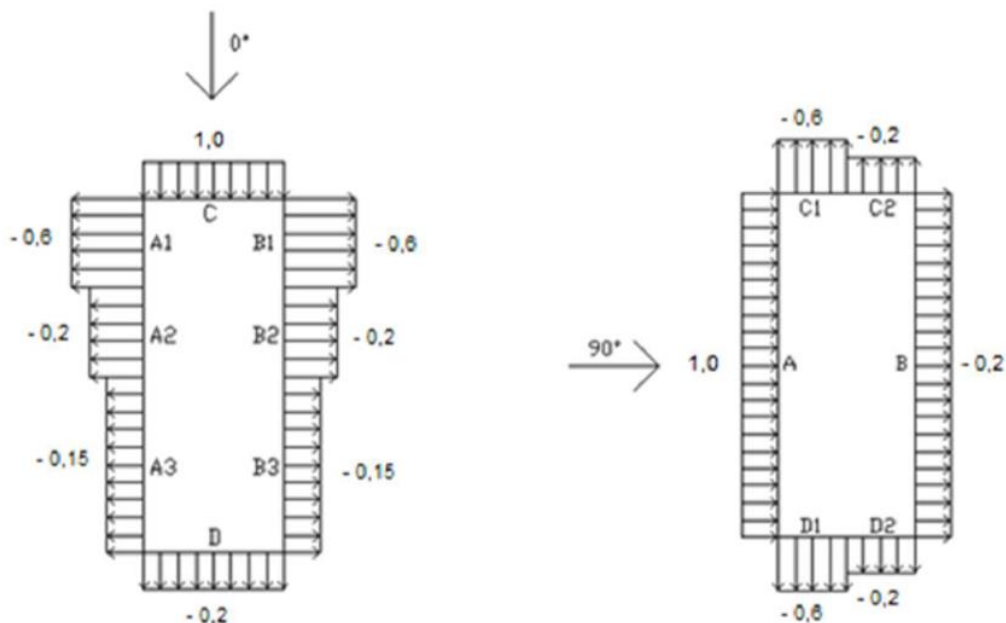
Tabela 3: Ações Variáveis

Ações Variáveis	
Sobrecarga de utilização	0,800 kN/m
Caixa d'água	0,848 kN/m
Escada	0,600 kN/m

Fonte: Próprio autor

A ação variável do vento foi posta em uma tabela a parte, para um melhor entendimento, a Figura 27 mostra o diagrama dos coeficientes de forma a 0° e 90°, utilizados para o cálculo do carregamento final.

Figura 27: Diferença entre $(C_e - C_i)$.



Fonte: Jales (2016)

A tabela 4 mostra a carregamento final do vento.

Tabela 4: Carregamento final de vento

Pavimento	q (kN/m)			
(Ce - Ci)	1	-0,6	-0,2	-0,15
Z = 3,00 m	1,395	-0,837	-0,278	-0,21
Z = 6,15 m	1,44	-0,864	-0,288	-0,216

Fonte: Próprio autor

3.5 COMBINAÇÕES DE CARGAS

As combinações utilizadas foram realizadas com base na NBR 7190:1997 que rege os projetos de estruturas de madeira no brasil. Como explica a norma citada a cima foram feitas as combinações para os estados limites de serviço (ELS) e os estados limites últimos (ELU).

Para as combinações foram utilizados os carregamentos apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4 sendo eles, carregamento permanente (CP), carregamento variável ou de utilização (CU) e carregamento de vento (CV). As combinações obtidas foram:

Para os estados limites de serviço (ELS) foi utilizado a Equação 15 mostrada seguir.

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad (Eq. 15)$$

Substituindo os carregamentos do nosso modelo obtemos as seguintes combinações.

- $1,0 \sum CP + 0,2 CV + 0,2 \sum CU$
- $1,0 \sum CP + 0,3 \sum CU + 0 CV$

Já para o estado limite último (ELU) foi utilizado a Equação 16.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right] \quad (Eq. 16)$$

Como feito para os estados limites de serviço foram substituídos os carregamentos para o presente modelo, resultando nas seguintes combinações.

- $1,3 \Sigma CP + 1,4 CV + 1,4 \times 0,4 \Sigma CU$ (Vento como ação principal)
- $1,3 \Sigma CP + 1,4 \Sigma CU + 1,4 \times 0,5 CV$ (Sobrecarga como ação principal)
- $1,0 \Sigma CP + 1,4 CV$ (Vento de sucção como ação principal)

Devemos considerar para todas as combinações que o vento possa atuar a 0° e a 90° tanto no sentido positivo quanto no sentido negativo, gerando assim todas as combinações expostas na tabela 5.

Tabela 5: Combinações adotadas

Estados limites	Nº	Combinações
ELU	1	$1,3 \Sigma CP + 1,4 CV 0^\circ(+) + 1,4 \times 0,4 \Sigma CU$
	2	$1,3 \Sigma CP + 1,4 CV 0^\circ(-) + 1,4 \times 0,4 \Sigma CU$
	3	$1,3 \Sigma CP + 1,4 CV 90^\circ(+) + 1,4 \times 0,4 \Sigma CU$
	4	$1,3 \Sigma CP + 1,4 CV 90^\circ(-) + 1,4 \times 0,4 \Sigma CU$
	5	$1,3 \Sigma CP + 1,4 \Sigma CU + 1,4 \times 0,5 CV 0^\circ(+)$
	6	$1,3 \Sigma CP + 1,4 \Sigma CU + 1,4 \times 0,5 CV 0^\circ(-)$
	7	$1,3 \Sigma CP + 1,4 \Sigma CU + 1,4 \times 0,5 CV 90^\circ(+)$
	8	$1,3 \Sigma CP + 1,4 \Sigma CU + 1,4 \times 0,5 CV 90^\circ(-)$
	9	$1,0 \Sigma CP + 1,4 CV 0^\circ(+)$
	10	$1,0 \Sigma CP + 1,4 CV 0^\circ(-)$
	11	$1,0 \Sigma CP + 1,4 CV 90^\circ(+)$
	12	$1,0 \Sigma CP + 1,4 CV 90^\circ(-)$
ELS	13	$1,0 \Sigma CP + 0,2 CV 0^\circ(+) + 0,2 \Sigma CU$
	14	$1,0 \Sigma CP + 0,2 CV 0^\circ(-) + 0,2 \Sigma CU$
	15	$1,0 \Sigma CP + 0,2 CV 90^\circ(+) + 0,2 \Sigma CU$
	16	$1,0 \Sigma CP + 0,2 CV 90^\circ(-) + 0,2 \Sigma CU$
	17	$1,0 \Sigma CP + 0,3 \Sigma CU$

Fonte: Próprio autor

3.6 VERIFICAÇÕES

Para saber se a estrutura resiste aos esforços solicitantes impostos ao modelo é necessário fazer as verificações conforme a NBR 7190:1997 para compressão, flexão e quando necessário flexo-compressão e flexo-tração.

As peças foram calculadas separadamente para cada função estrutural, onde as mesmas foram divididas entre montantes, vigas, treliças de laje, treliças de cobertura e pilar.

Com o auxílio do software SAP2000 foi possível obter a peça mais solicitada para cada função estrutural possibilitando assim a verificação para o pior caso em cada peça. Os cálculos foram realizados utilizando as características de cada perfil como já detalhado anteriormente.

Os cálculos dos valores resistentes foram realizados a partir dos valores médios obtidos na norma, e estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6: Valores médios segundo NBR 7190:1997

Valores médios (Mpa)	
$f_{c0,m}$	48,90
$f_{t0,m}$	139,20
$f_{t90,m}$	6,90
$f_{v0,m}$	9,80

Fonte: ABNT (1997)

- Valores característicos

$$f_{c0k} = 0,7 \times f_{c0m} = 34,32 \text{ MPa}$$

$$f_{t0k} = 0,7 \times f_{t0m} = 97,44 \text{ MPa}$$

$$f_{t90k} = 0,7 \times f_{t90m} = 4,83 \text{ MPa}$$

$$f_{v0k} = 0,7 \times f_{v0m} = 6,86 \text{ MPa}$$

- Valores de cálculo

Para o cálculo do K_{mod} foi considerado uma classe de carregamento permanente, classe de umidade 2 e um material de primeira categoria, resultando em K_{mod1} , K_{mod2} e K_{mod3} igual a 0,6; 1; 0,8 respectivamente. Com esses dados foi possível calcular o K_{mod} como mostrado na Equação 17.

$$K_{mod} = K_{mod1} \times K_{mod2} \times K_{mod3} = 0,48 \quad (Eq. 17)$$

Sabendo o valor de K_{mod} e os coeficientes de ponderação da resistência da madeira (γ_w), mostrado na tabela a seguir, foi calculado os valores resistentes de cálculo da espécie de madeira escolhida

Tabela 7: Coeficientes de ponderação

Coeficientes de ponderação da resistência	
γ_{wc}	1,4
γ_{wt}	1,8
γ_{wv}	1,8

Fonte: Próprio autor

$$f_{c0d} = K_{mod} \times \frac{f_{c0k}}{\gamma_{wc}} = 11736 \text{ KN}$$

$$f_{t0d} = K_{mod} \times \frac{f_{t0k}}{\gamma_{wt}} = 25984 \text{ KN}$$

$$f_{t90d} = K_{mod} \times \frac{f_{t90k}}{\gamma_{wt}} = 1288 \text{ KN}$$

$$f_{v0d} = K_{mod} \times \frac{f_{v0k}}{\gamma_{wv}} = 1829,33 \text{ KN}$$

3.6.1 Montantes

Na peça de montante mais comprimida foi observado além do esforço de compressão um momento considerável, por esse motivo foi realizado a verificação a flexo-compressão como sugerido pela norma visando uma maior segurança e precisão. Os valores solicitantes extraídos do SAP foram 33,97 KN e 30,59 KN, para compressão e tração respectivamente.

3.6.1.1 Flexo-compressão

- Esbeltez da peça

A esbeltez foi calculada conforme a Eq.1 e Eq.2, como mostrado a seguir.

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{8,689E^{-06}}{0,00532}} = 0,0404 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_0}{r_{min}} = \frac{3}{0,0404} = 74,230 \quad (\text{Medianamente esbelta})$$

- Carga crítica de Euler

A carga crítica de Euler foi calculada utilizando a Eq. 3.

$$N_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{3,14^2 \times 8653920000 \times 8,689E^{-06}}{(1 \times 3)^2} = 82,46 \text{ KN}$$

- Excentricidade acidental

Foi utilizada a Eq. 5 para o cálculo da excentricidade inicial.

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \frac{3}{300} = 0,01 \text{ m}$$

- Excentricidade inicial

Foi utilizada a Eq. 6 para o cálculo da excentricidade inicial.

$$e_i = \frac{M_{1d}}{N_d} = \frac{9633,67}{33970,03} = 0,283 \text{ m}$$

- Momento fletor

O momento fletor foi calculado a partir a Eq. 9.

$$M_d = N_d \times (e_a + e_i) \left(\frac{N_e}{N_e - N_d} \right) =$$
$$= 33970,03 \times (0,01 + 0,283) \left(\frac{82462,51}{82462,51 - 33970,03} \right) = 16,95 \text{ KN} \times m$$

- Tensão de compressão atuante

Conforme a Eq. 10.

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} = \frac{33970,03}{0,00532} = 6385,34 \text{ KN/m}$$

- Tensão de compressão devido ao momento fletor

Conforme a Eq. 11

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{W} = \frac{16959,93}{0,003266} = 5191,81 \text{ KN/m}$$

- Verificação

Após a obtenção dos dados necessários, foi realizado a verificação segundo a Eq. 12.

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{cod}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{cod}} \leq 1$$
$$\frac{6385,34}{11736} + \frac{5191,81}{11736} \leq 1 \quad \rightarrow \quad 0,98 \leq 1 \quad (OK!)$$

3.6.1.2 Tração

Para as peças tracionadas observou-se que o momento existente na peça era desprezível, por esse motivo foi calculado somente a verificação a tração.

- Tensão de tração atuante

A verificação foi realizada de acordo com as Eq. 13 e Eq. 14 respectivamente.

$$\sigma_{td} = \frac{N_{td}}{A} = \frac{30594,27}{0,00532} = 5750,80 \text{ KN/m}$$

$$\sigma_{td} \leq f_{t0d} \quad \rightarrow \quad 5750,80 \leq 25984 \quad (\text{OK!})$$

3.6.2 Vigas

Para as vigas foi observado que a viga mais solicitada a compressão tem um comprimento de 5,2 metros e está solicitada a um carregamento de 56,70 KN, já a viga mais solicitada a tração tem um comprimento de 4 metros e está solicitada a um carregamento de 19,67 KN. Como o momento nas vigas eram de valores consideráveis foi realizado a verificação a flexo-compressão.

3.6.2.1 Flexo-compressão

- Esbeltez da peça

A esbeltez foi calculada conforme a Eq.1 e Eq.2, como mostrado a seguir.

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{8,689E^{-06}}{0,00532}} = 0,0404 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_0}{r_{min}} = \frac{5,2}{0,0404} = 128,66 \quad (\text{Esbelta})$$

- Carga crítica de Euler

A carga crítica de Euler foi calculada utilizando a Eq. 3.

$$N_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{3,14^2 \times 8653920000 \times 8,689E^{-06}}{(1 \times 5,2)^2} = 27,44 \text{ KN}$$

- Excentricidade accidental

Foi utilizada a Eq. 5 para o cálculo da excentricidade inicial.

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \frac{5,2}{300} = 0,0173 \text{ m}$$

- Excentricidade inicial

Foi utilizada a Eq. 6 para o cálculo da excentricidade inicial.

$$e_i = \frac{M_{1d}}{N_d} = \frac{15069,49}{56709,4} = 0,265 \text{ m}$$

- Excentricidade complementar

Conforme a Eq.7 e Eq. 8 respectivamente temos:

$$k = \frac{\varphi[N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]}{N_e - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]} =$$
$$= \frac{0,8[7797,44 + (0,3 + 0,2)116163,36]}{27446,84 - [7797,44 + (0,3 + 0,2)116163,36]} = -1,371$$

$$e_c = (e_i + e_a)\{exp^k - 1\} = (0,265 + 0,0173)\{exp^{-1,371} - 1\} = -0,211 \text{ m}$$

- Momento fletor

O momento fletor foi calculado a partir a Eq. 9.

$$M_d = N_d \times (e_a + e_i + e_c) \left(\frac{N_e}{N_e - N_d} \right) =$$
$$= 56709,4 \times (0,0173 + 0,265 - 0,211) \left(\frac{27446,84}{27446,84 - 56709,4} \right) = -3,82 \text{ KN} \times \text{m}$$

- Tensão de compressão atuante

Conforme a Eq. 10.

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} = \frac{56709,4}{0,00532} = 10659,66 \text{ KN/m}$$

- Tensão de compressão devido ao momento fletor

Conforme a Eq. 11.

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{W} = \frac{-3820,85}{0,003266} = -1169,65 \text{ KN/m}$$

- Verificação

Após a obtenção dos dados necessários, foi realizado a verificação segundo a Eq. 12.

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{cod}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{cod}} \leq 1$$

$$\frac{10659,66}{11736} + \frac{-1169,65}{11736} \leq 1 \quad \rightarrow \quad 0,80 \leq 1 \quad (OK!)$$

3.6.2.2 Tração

Para as vigas igualmente como nos montantes o momento atuante na peça foi desprezível, por isso foi calculado somente tração na viga.

- Tensão de tração atuante

A verificação foi realizada de acordo com as Eq. 13 e Eq. 14 respectivamente.

$$\sigma_{td} = \frac{N_{td}}{A} = \frac{19672,09}{0,00532} = 3697,76 \text{ KN/m}$$

$$\sigma_{td} \leq f_{t0d} \quad \rightarrow \quad 3697,76 \leq 25984 \quad (OK!)$$

3.6.3 Treliças de Laje

Com os dados obtidos pelo SAP observou-se que a peça da treliça de laje mais solicitada a compressão tinha 4 metros de comprimento e uma solicitação a compressão de 107,05 KN e como nos casos anteriores foi realizado a verificação a flexo-compressão.

3.6.3.1 Flexo-compressão

- Esbeltez da peça

A esbeltez foi calculada conforme a Eq.1 e Eq.2, como mostrado a seguir.

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{5,71583 E^{-05}}{0,019}} = 0,0548 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_0}{r_{min}} = \frac{4}{0,0548} = 72,92 \quad (\text{Medianamente esbelta})$$

- Carga crítica de Euler

A carga crítica de Euler foi calculada utilizando a Eq. 3.

$$N_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{3,14^2 \times 8653920000 \times 5,71583 E^{-05}}{(1 \times 4)^2} = 305,12 \text{ KN}$$

- Excentricidade acidental

Foi utilizada a Eq. 5 para o cálculo da excentricidade inicial.

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \frac{4}{300} = 0,0133 \text{ m}$$

- Excentricidade inicial

Foi utilizada a Eq. 6 para o cálculo da excentricidade inicial.

$$e_i = \frac{M_{1d}}{N_d} = \frac{102,54}{107053,26} = 0,00095 \text{ m}$$

Com esse cálculo é possível notar que a excentricidade para uma solicitação de momento próximo a 100 N é praticamente nula podendo ser desprezada, porém nesse caso vamos levar em consideração.

- Momento fletor

O momento fletor foi calculado a partir a Eq. 9.

$$\begin{aligned} M_d &= N_d \times (e_a + e_i) \left(\frac{N_e}{N_e - N_d} \right) = \\ &= 107053,26 \times (0,0133 + 0,00095) \left(\frac{305121,06}{305121,06 - 107053,26} \right) = 2,35 \text{ KN} \times m \end{aligned}$$

- Tensão de compressão atuante

Conforme a Eq. 10.

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} = \frac{107053,26}{0,019} = 5634,38 \text{ KN/m}$$

- Tensão de compressão devido ao momento fletor

Conforme a Eq. 11.

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{W} = \frac{2356,81}{0,006016} = 391,71 \text{ KN/m}$$

- Verificação

Após a obtenção dos dados necessários, foi realizado a verificação segundo a Eq. 12.

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{cd}} \leq 1$$

$$\frac{5634,38}{11736} + \frac{391,71}{11736} \leq 1 \quad \rightarrow \quad 0,51 \leq 1 \quad (OK!)$$

3.6.3.2 Tração

Como os momentos atuantes nas peças das treliças de laje eram da ordem das dezenas foram desprezados, por isso foi verificado somente a tração da peça mais solicitada, onde na mesma foi encontrado a maior solicitação a tração de toda edificação, sendo ela 157,89 KN.

- Tensão de tração atuante

A verificação foi realizada de acordo com as Eq. 13 e Eq. 14 respectivamente.

$$\sigma_{td} = \frac{N_{td}}{A} = \frac{157890,48}{0,019} = 8310,02 \text{ KN/m}$$

$$\sigma_{td} \leq f_{td} \quad \rightarrow \quad 8310,02 \leq 25984 \quad (OK!)$$

3.6.4 Treliças de Cobertura

A treliça de cobertura foi a peça de toda a edificação que teve uma maior solicitação a compressão onde a mesma tem um comprimento de 4 metros e uma solicitação de 160,42 KN, para essa viga devido a ela ser a mais solicitada da edificação foi feito a verificação a flexo-compressão por questão de segurança.

3.6.4.1 Flexo-compressão

- Esbeltez da peça

A esbeltez foi calculada conforme a Eq.1 e Eq.2, como mostrado a seguir.

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{5,71583 E^{-05}}{0,019}} = 0,0548 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_0}{r_{min}} = \frac{4}{0,0548} = 72,92 \quad (\text{Medianamente esbelta})$$

- Carga crítica de Euler

A carga crítica de Euler foi calculada utilizando a Eq. 3.

$$N_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{3,14^2 \times 8653920000 \times 5,71583 E^{-05}}{(1 \times 4)^2} = 305,12 \text{ KN}$$

- Excentricidade acidental

Foi utilizada a Eq. 5 para o cálculo da excentricidade inicial.

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \frac{4}{300} = 0,0133 \text{ m}$$

- Excentricidade inicial

Foi utilizada a Eq. 6 para o cálculo da excentricidade inicial.

$$e_i = \frac{M_{1d}}{N_d} = \frac{2373,61}{160422,07} = 0,01479 \text{ m}$$

- Momento fletor

O momento fletor foi calculado a partir a Eq. 9.

$$M_d = N_d \times (e_a + e_i) \left(\frac{N_e}{N_e - N_d} \right) =$$
$$= 160422,07 \times (0,0133 + 0,01479) \left(\frac{305121,06}{305121,06 - 160422,07} \right) = 9,51 \text{ KN} \times m$$

- Tensão de compressão atuante

Conforme a Eq. 10.

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} = \frac{160422,07}{0,019} = 8443,26 \text{ KN/m}$$

- Tensão de compressão devido ao momento fletor

Conforme a Eq. 11.

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{W} = \frac{9515,48}{0,006016} = 1581,52 \text{ KN/m}$$

- Verificação

Após a obtenção dos dados necessários, foi realizado a verificação segundo a Eq. 12.

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{cod}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{cod}} \leq 1$$
$$\frac{8443,26}{11736} + \frac{1581,52}{11736} \leq 1 \quad \rightarrow \quad 0,85 \leq 1 \quad (OK!)$$

3.6.4.2 Tração

Mais uma vez não houve a necessidade de levar em consideração o momento no cálculo da tração, fazendo assim somente a verificação a tração da peça.

- Tensão de tração atuante

A verificação foi realizada de acordo com as Eq. 13 e Eq. 14 respectivamente.

$$\sigma_{td} = \frac{N_{td}}{A} = \frac{45330,84}{0,019} = 2385,83 \text{ KN/m}$$

$$\sigma_{td} \leq f_{t0d} \quad \rightarrow \quad 2385,83 \leq 25984 \quad (\text{OK!})$$

3.6.5 Pilar

Para o pilar, diferente das outras peças não tinha momento atuante no mesmo e por esse motivo foi necessário realizar somente a verificação a compressão e a tração onde o mesmo foi solicitado a um N_d de 46,82 KN e N_{td} de 69,39 N.

3.6.5.1 Compressão

- Esbeltez da peça

A esbeltez foi calculada conforme a Eq.1 e Eq.2, como mostrado a seguir.

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{0,00027648}{0,0576}} = 0,0692 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_0}{r_{min}} = \frac{3}{0,0692} = 43,30 \quad (\text{Medianamente esbelta})$$

- Carga crítica de Euler

A carga crítica de Euler foi calculada utilizando a Eq. 3.

$$N_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{3,14^2 \times 8653920000 \times 0,00027648}{(1 \times 3)^2} = 2623,81 \text{ KN}$$

- Excentricidade accidental

Foi utilizada a Eq. 5 para o cálculo da excentricidade inicial.

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \frac{3}{300} = 0,01 \text{ m}$$

- Momento fletor

O momento fletor foi calculado a partir a Eq. 9.

$$\begin{aligned} M_d &= N_d \times (e_a) \left(\frac{N_e}{N_e - N_d} \right) = \\ &= 46824,18 \times (0,01) \left(\frac{2623818,76}{2623818,76 - 46824,18} \right) = 476,74 \text{ N} \times \text{m} \end{aligned}$$

- Tensão de compressão atuante

Conforme a Eq. 10.

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} = \frac{46824,18}{0,0576} = 812,91 \text{ KN/m}$$

- Tensão de compressão devido ao momento fletor

Conforme a Eq. 11.

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{W} = \frac{476,74}{0,0096} = 49,66 \text{ KN/m}$$

- Verificação

Após a obtenção dos dados necessários, foi realizado a verificação segundo a Eq. 12.

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{cod}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{cod}} \leq 1$$

$$\frac{812,91}{11736} + \frac{49,66}{11736} \leq 1 \quad \rightarrow \quad 0,73 \leq 1 \quad (OK!)$$

3.6.5.2 Tração

Como em todos os casos anteriores para o pilar também foi feito somente a verificação a tração devido a não existir momento atuando no pilar.

- Tensão de tração atuante

A verificação foi realizada de acordo com as Eq. 13 e Eq. 14 respectivamente.

$$\sigma_{td} = \frac{N_{td}}{A} = \frac{69,39}{0,0576} = 1,20 \text{ KN/m}$$

$$\sigma_{td} \leq f_{td} \quad \rightarrow \quad 1,20 \leq 25984 \quad (OK!)$$

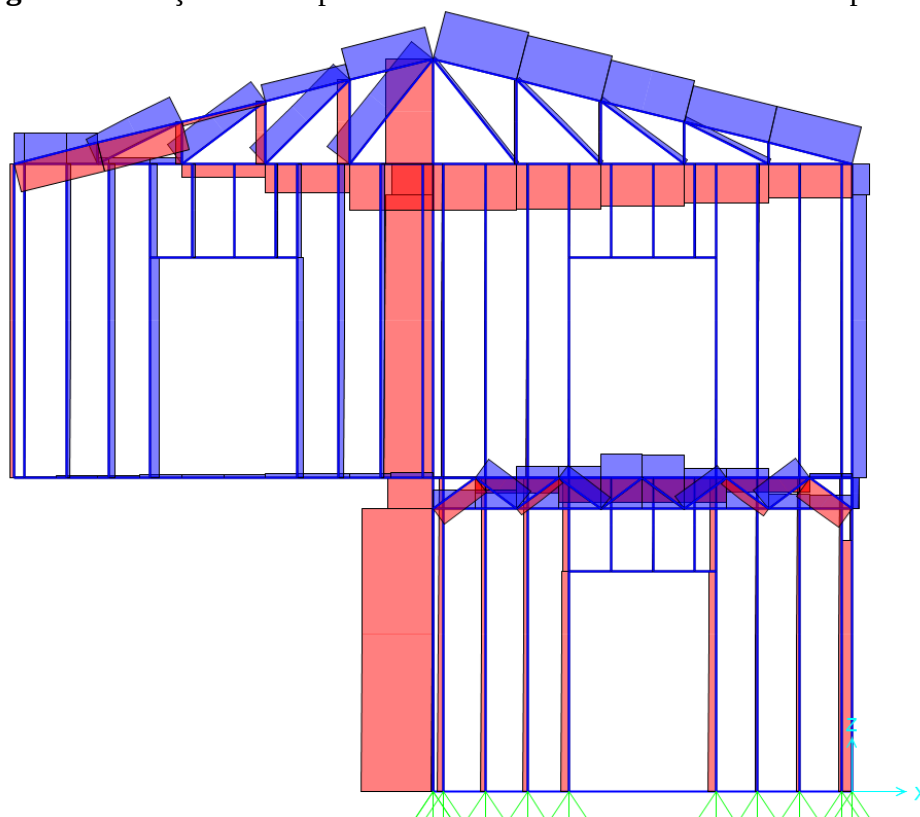
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O intuito do presente trabalho, foi desenvolver um modelo estrutural em Wood Frame e realizar as verificações necessárias a partir de recomendações da NBR 7190:1997 (que rege os projetos em estruturas de madeiras) e a norma americana bastante conceituada especifica para este sistema estrutural (Wood Frame). Provando a eficiência da utilização da madeira como elemento estrutural de uma edificação de uma edificação. O trabalho também teve a finalidade de auxiliar e sanar algumas possíveis duvidas na realização de um dimensionamento Wood Frame situado em território brasileiro, já que não existe uma norma nacional para tal tipo de sistema construtivo.

4.1 RESULTADO DO SAP2000

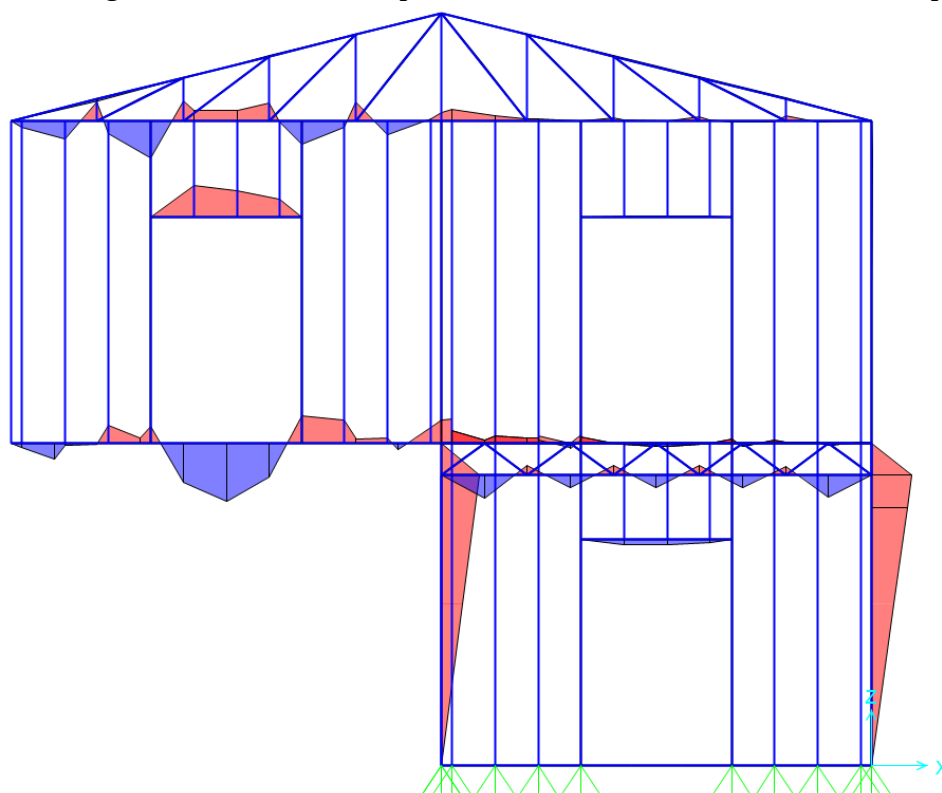
Com o software SAP foi possível verificar por meio do modelo realizado, os esforços para todas as combinações de ações utilizadas anteriormente, permitindo assim encontrar as peças mais solicitadas detalhando ainda qual das combinações gera tal solicitação.

Figura 28: Força axial no painel do montante mais solicitado a compressão.



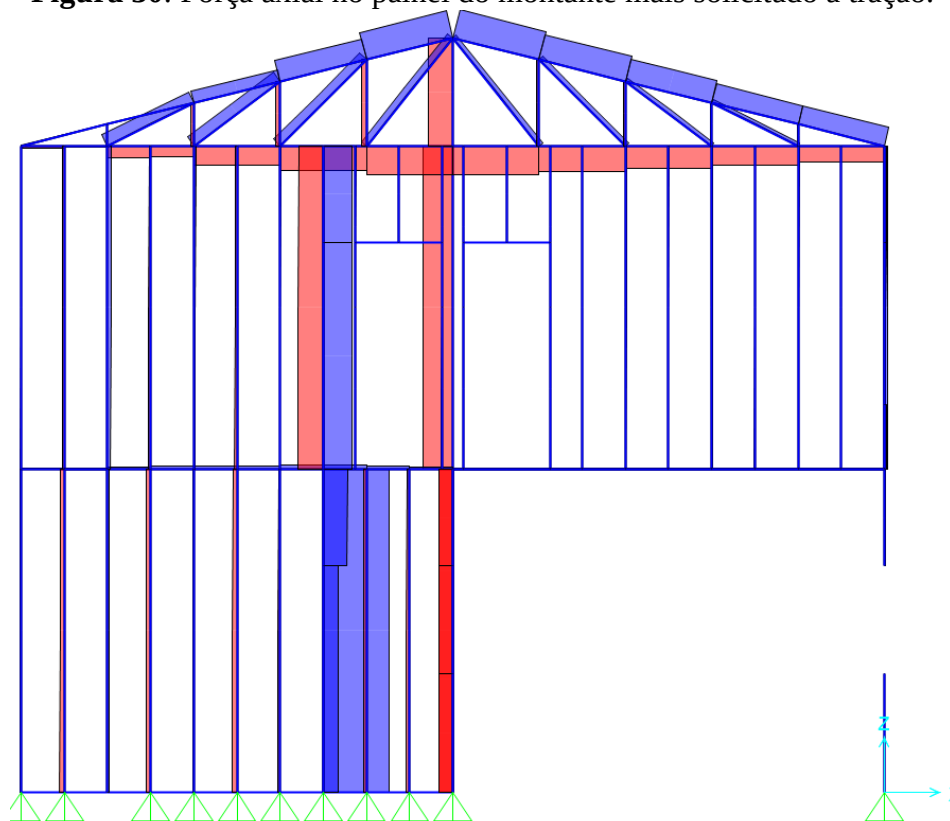
Fonte: Próprio autor

Figura 29: Diagrama de momento no painel do montante mais solicitado a compressão.



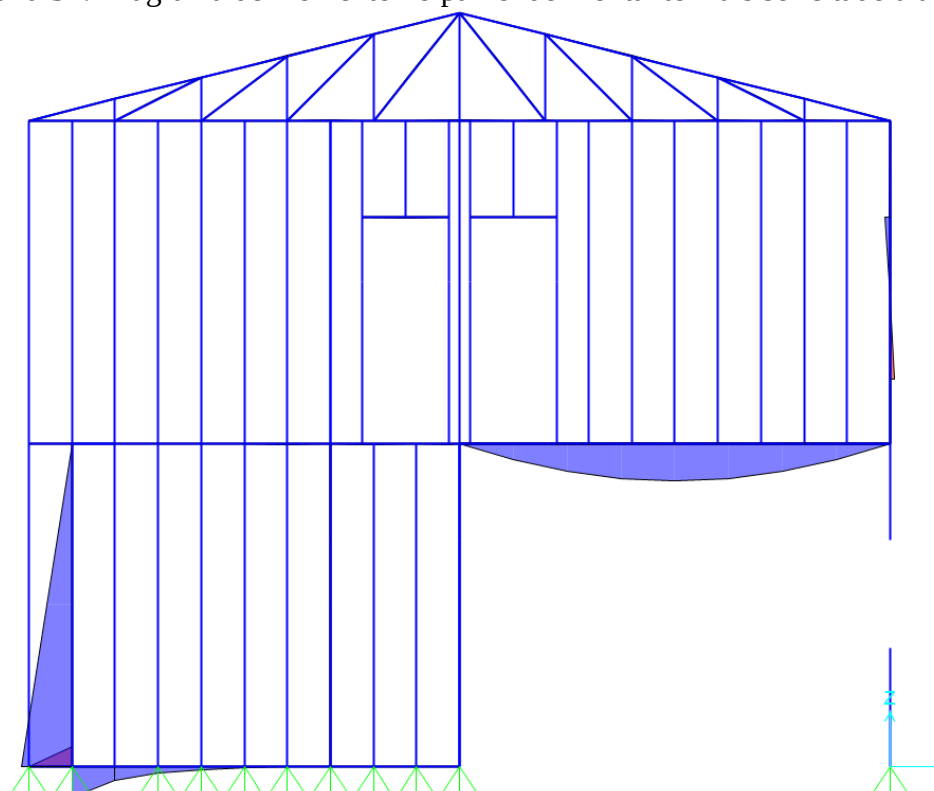
Fonte: Próprio autor

Figura 30: Força axial no painel do montante mais solicitado a tração.



Fonte: Próprio autor

Figura 31: Diagrama de momento no painel do montante mais solicitado a tração.



Fonte: Próprio autor

As Figuras 28 a 31 mostram os diagramas das forças axiais de momentos dos painéis em que se encontram os montantes mais solicitados a compressão e tração, possibilitando também a visualização do gráfico de todos os outros elementos do painel de uma só vez. Já as Tabelas 8, 9, 10 mostram os valores dessas solicitações e a qual combinação elas pertencem juntamente com a localização em metro onde está atuando tal solicitação.

Tabela 8: Montante mais solicitado a compressão

1	TABLE: Element Forces - Frames							
2	Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T
3	Text	m	Text	Text	N	N	N	N-m
2286	45	0	COMB 03	Combination	-4857,53	9966,08	236,68	1,318E-15
2287	45	1,5	COMB 03	Combination	-4687,86	9966,08	236,68	1,318E-15
2288	45	2,7	COMB 03	Combination	-4552,12	9966,08	236,68	1,318E-15
2289	45	2,7	COMB 03	Combination	-17441,32	-89616,84	-2131,37	-13,82
2290	45	3	COMB 03	Combination	-17407,39	-89616,84	-2131,37	-13,82
2291	45	0	COMB 05	Combination	-33970,03	184,9	3568,02	-1,639E-16
2292	45	1,5	COMB 05	Combination	-33970,03	184,9	3568,02	-1,639E-16
2293	45	2,7	COMB 05	Combination	-33970,03	184,9	3568,02	-1,639E-16
2294	45	2,7	COMB 05	Combination	-21671,49	-1665,29	-32051,38	-6,93
2295	45	3	COMB 05	Combination	-21637,55	-1665,29	-32051,38	-6,93
2296	45	0	COMB 07	Combination	-21428,7	4983,36	117,29	6,521E-16
2297	45	1,5	COMB 07	Combination	-21259,02	4983,36	117,29	6,521E-16
2298	45	2,7	COMB 07	Combination	-21123,29	4983,36	117,29	6,521E-16
2299	45	2,7	COMB 07	Combination	-23845,06	-44810,85	-1056,33	-6,98

Fonte: Próprio autor

Tabela 9: Montante mais solicitado a tração

1	TABLE: Element Forces - Frames							
2	Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T
3	Text	m	Text	Text	N	N	N	N-m
883	29	0	COMB 05	Combination	12724,08	0	0	0
884	29	1,5	COMB 05	Combination	12893,75	0	0	0
885	29	3	COMB 05	Combination	13063,42	0	0	0
886	29	0	COMB 07	Combination	-2107,16	0	0	0
887	29	1,5	COMB 07	Combination	-1937,49	0	0	0
888	29	3	COMB 07	Combination	-1767,82	0	0	0
889	29	0	COMB 09	Combination	30333,24	0	0	0
890	29	1,5	COMB 09	Combination	30463,75	0	0	0
891	29	3	COMB 09	Combination	30594,27	0	0	0
892	29	0	COMB 11	Combination	670,75	0	0	0
893	29	1,5	COMB 11	Combination	801,27	0	0	0
894	29	3	COMB 11	Combination	931,79	0	0	0
895	29	0	COMB 13	Combination	2935,98	0	0	0
896	29	1,5	COMB 13	Combination	3066,49	0	0	0

Fonte: Próprio autor

As treliças foram as peças mais solicitadas da estrutura sendo a treliça de cobertura mais solicitada à compressão pela combinação 11, como mostrado na Tabela 10.

- Combinação 11: $1,0 \sum CP + 1,4 CV 90^\circ (+)$

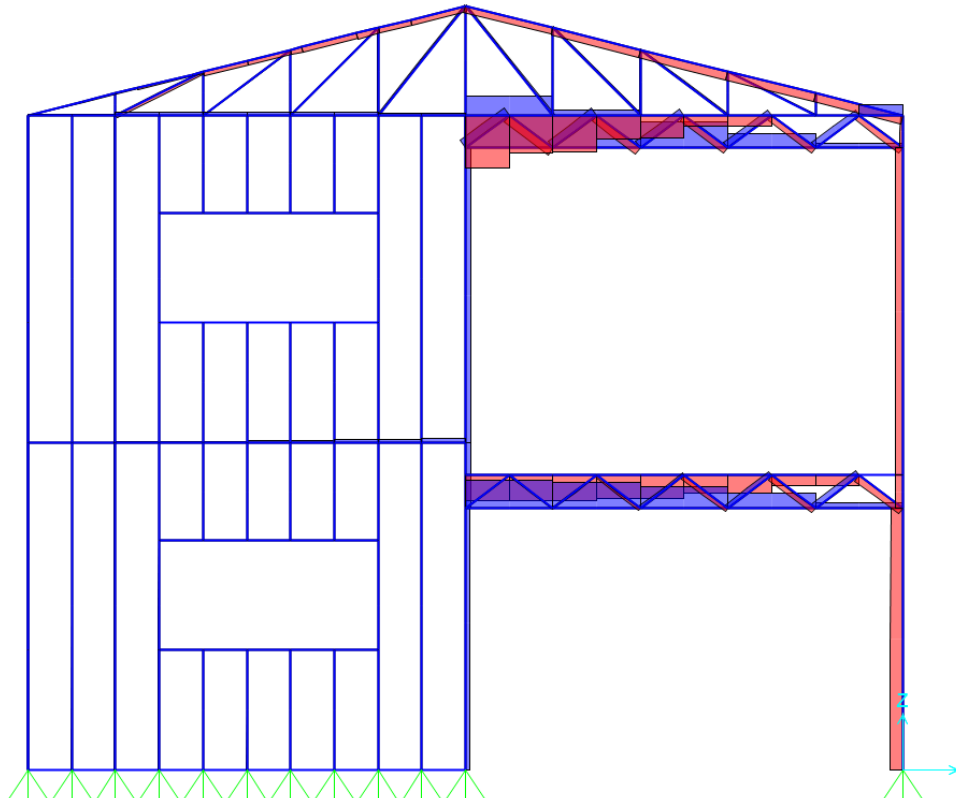
Tabela 10: Treliça de cobertura mais solicitada a compressão

1	TABLE: Element Forces - Frames							
2	Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T
3	Text	m	Text	Text	N	N	N	N-m
63206	2313	2,8	COMB 09	Combination	-78,31	16,27	-474,14	0,66
63207	2313	3,2	COMB 09	Combination	-78,31	30,67	-474,14	0,66
63208	2313	3,2	COMB 09	Combination	126,26	-19,45	-474,14	0,32
63209	2313	3,6	COMB 09	Combination	126,26	-5,05	-474,14	0,32
63210	2313	3,6	COMB 09	Combination	1826,18	-2,42	-474,14	0,47
63211	2313	4	COMB 09	Combination	1826,18	11,99	-474,14	0,47
63212	2313	0	COMB 11	Combination	-160422,07	-335,49	-588,81	2,86
63213	2313	0,4	COMB 11	Combination	-160422,07	-321,08	-588,81	2,86
63214	2313	0,4	COMB 11	Combination	-116784,7	605,65	-588,81	-0,93
63215	2313	0,8	COMB 11	Combination	-116784,7	620,05	-588,81	-0,93
63216	2313	0,8	COMB 11	Combination	-113610,79	-876,28	-588,81	-0,67
63217	2313	1,2	COMB 11	Combination	-113610,79	-861,88	-588,81	-0,67
63218	2313	1,2	COMB 11	Combination	-73742,9	943,15	-588,81	-0,45
63219	2313	1,6	COMB 11	Combination	-73742,9	957,56	-588,81	-0,45

Fonte: Próprio autor

Como podemos ver na Tabela 10 o elemento 2313 do modelo pertencente a treliça de cobertura possui uma solicitação de 160,42 KN gerada pela combinação 11 e atuante em 0 m, ou seja, no seu início.

Figura 32: Força axial no painel da treliça mais solicitada a compressão.



Fonte: Próprio autor

Na Figura 32 é possível observar o painel da treliça com a maior solicitação a compressão onde fica notório o maior esforço que é gerado nas treliças do que nos outros pontos do painel quando analisado em relação a combinação 11.

4.2 RESULTADOS DAS VERIFICAÇÕES

Como mostrado anteriormente nos cálculos o modelo em questão resiste aos esforços de todas as combinações em questão, sendo assim pode-se afirmar que a realização dessa edificação em Wood Frame seria muito vantajosa pois além de ser de rápida execução tem um desperdício de material próximo a zero além de ter uma vida útil muito elevada.

Com relação aos cálculos nota-se que todas as peças passaram nas verificações com uma folga consideravelmente boa com exceção apenas do montante que na verificação a flexo-compressão chegou próximo ao limite ($0,98 \leq 1$), porém com todos os coeficientes de segurança que existem nas normas da ABNT é totalmente confiável a utilização desse perfil para essa finalidade.

Observando os dados obtidos a partir da verificação do pilar nota-se que o mesmo está superdimensionado devido a sua seção ter sido escolhida devido a arquitetura e estética da edificação e não a real necessidade das solicitações no ponto onde ele está localizado. Um ponto que pode confirmar esse super dimensionamento é sua verificação à tração onde o mesmo tem uma carga solicitante que chega a apenas 0,0046% da carga limite de resistência. Porém esse superdimensionamento não chega a ser um problema, tendo em vista que só existe um pilar na edificação e que caso fosse usado uma seção menor seria necessário fazer uso de outro método para que o pilar ficasse com a estética desejada, podendo assim aumentar a tensão no pilar e até mesmo o custo da edificação.

Com os dados obtidos foi notado que quando relacionado a compressão das peças desse sistema construtivo quase nunca ou raras vezes obtém-se uma peça em que tenha uma solicitação somente à compressão, pois geralmente a mesma é acompanhada de uma solicitação bastante considerável de momento fazendo com que seja necessário a verificação a flexo-compressão, deixando os cálculos um pouco mais complicados. Já quando se observa os cálculos de tração nota-se que o momento que acompanham as peças tracionadas é de grandeza muito pequena, podendo ser desprezada devido à grande quantidade de fatores de segurança contidas na norma diminuindo assim a complexidade dos cálculos de verificação a tração.

5. CONCLUSÃO

No trabalho foram expostas as características e os componentes de um sistema Wood Frame. Também foi detalhado como se realiza o dimensionamento do mesmo a partir de uma junção de recomendações das normas americanas do NDS e das normas brasileiras da ABNT, verificando assim a total capacidade de resistência do sistema para esse tipo de construção, além de apontar outras vantagens, como rapidez na execução, mão de obra e baixíssimo desperdício. No Brasil as construções em Wood Frame são pouco utilizadas e existe uma resistência e discriminação da população referente a utilização das estruturas de madeira devido ao pensamento errôneo de fragilidade, porém devido as suas vantagens este método construtivo vem ganhando cada vez mais espaço no mercado brasileiro.

De acordo com os resultados obtidos nos cálculos, observa-se que a estrutura passou em todas as verificações de resistência, provando assim a capacidade de resistência, quando dimensionada corretamente, das estruturas de madeira igualmente aos métodos construtivos convencionais e mais utilizados no nosso país. Comprovando através das normas brasileiras de segurança a excelente qualidade da madeira como sistema estrutural.

É notória a dificuldade para se qualificar para realizar um dimensionamento de projetos em Wood Frame no Brasil, visto que não existe uma norma nacional para ser seguida que explique detalhadamente como executar tal dimensionamento, como existe para estruturas de aço ou concreto armado. É necessário que o profissional que deseje realizar este tipo de projeto utilize normas estrangeiras como as americanas ou europeias.

O sistema Wood Frame vem sendo um dos mais utilizados ao redor do mundo para a construção de casas e o Brasil é visto como bem promissor devido a necessidade de soluções sustentáveis para o mercado. Com isso o presente trabalho tem o intuito de auxiliar os profissionais ou estudantes da área da engenharia civil que tenham o interesse de executar tal projeto, calculando detalhadamente os passos a serem seguidos para realizar as verificações necessária. Ajudando sanar possíveis dúvidas que possam existir sobre o dimensionamento.

6. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Avança a elaboração da Norma sobre Wood Frame**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/imprensa/releases/5319-avanca-a-elaboracao-da-norma-sobre-wood-frame>> Acesso em: 23 jan. 2018.

AMERICAN WOOD COUNCIL. **National design specification for wood construction (NDS)**. 2012 Edition. Washington, DC, USA. American Forest & Paper Association, 2012.

AMERICAN WOOD COUNCIL. **MANUAL ASD/LRFD for Engineered Wood Construction**. 2012 Edition. Washington, DC, USA. American Forest & Paper Association, 2012.

AMERICAN WOOD COUNCIL. **Supplement NDS: National design specification – Design values for wood construction**. 2012 Edition. Washington, DC, USA. American Forest & Paper Association, 2012.

AMERICAN WOOD COUNCIL. **ASD/LRFD NDS: National design specification wood construction with commentary**. 2012 Edition. Washington, DC, USA. American Forest & Paper Association, 2012.

AMERICAN WOOD COUNCIL. **ASD/LRFD Wind & Seismic: special design provisions for wind and seismic with commentary**. 2012 Edition. Washington, DC, USA. American Forest & Paper Association, 2012.

AMERICAN WOOD COUNCIL. **Details for conventional wood frame construction**. Washington, DC, USA. American Forest & Paper Association, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 – projeto de estruturas de madeira: procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri: Manole, 2003.

CAMPOS, Rubens J. A. **Diretrizes de Projeto para produção de habitações térreas com estrutura tipo plataforma e fechamento com placas cimentícias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Edificação e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

CESARINO, Yuri Bessa. **Dimensionamento de estruturas em wood frame utilizando normas americanas**. 2016. 153 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2016.

JALES, Diogo Medeiros. **Dimensionamento de estruturas compostas por ferfis leves formados a frio (light steel frame) – estudo de caso**. 2016. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2016.

LEITE, Januária C. P. S; LAHR, Francisco A. R. **Diretrizes Básicas para projeto em Wood Frame**. Departamento de Engenharia de Estruturas (EESC) São Carlos. 2016.

MARTINS, Taienne Winni Paiz Ecker Valdemar. **Comparativo dos sistemas construtivos steel frame e wood frame para habitações de interesse social**. 2014. 153 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

MOLINA, Julio C; CALIL JUNIOR, Carlito. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul./dez. Londrina, 2010.

SALGADO, Julio C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2009.

SOUZA, L. G. **Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame**. Florianópolis, SC. 2013. Instituto de Pós Graduação IPOG.

TECVERDE. Disponível em:<<http://www.tecverde.com.br>>. Acesso em 11 fev. 2018.

VELLOSO, Joana G. **Diretrizes para construções em madeira no sistema plataforma**. 2010, 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.