



PROJETO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM *WOOD FRAME*

Vinícius de Assis Muniz

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Macaé, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Esdras Pereira de Oliveira

MACAÉ, RJ – BRASIL
DEZEMBRO DE 2018

PROJETO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM
WOOD FRAME

Vinícius de Assis Muniz

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO CAMPUS MACAÉ, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

Prof. Esdras Pereira de Oliveira. D.Sc. (Orientador)
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

Prof^a. Juliana Côrrea Trindade. M.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

Prof^a. Thais da Silva Rocha. M.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

MACAÉ, RJ – BRASIL
DEZEMBRO DE 2018

Assis Muniz, Vinícius

Projeto Estrutural de um Edifício Residencial em *Wood Frame* /
Vinícius de Assis Muniz – Macaé: UFRJ/Campus UFRJ-Macaé, 2018.

I, 93 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Esdras Pereira de Oliveira

Projeto de Graduação – UFRJ / Campus UFRJ-Macaé / Curso de
engenharia civil, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 87.

1. *Wood Frame*. 2. Dimensionamento. 3. Análise Estrutural.

I. Oliveira, Esdras Pereira. II. Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Campus UFRJ-Macaé, Curso de Engenharia Civil. III. Título

Dedico este trabalho aos meus pais, alicerces desta realização e de outras que ainda virão.

AGRADECIMENTOS

À minha família e minha namorada, por me apoiarem todos os projetos e darem todo tipo de suporte ao longo desta jornada.

Aos meus amigos de classe, por conseguirem desenvolver o sentimento de pertencimento em mim.

Aos meus amigos que se tornaram minha família em Macaé, por aprendizados que vão muito além da sala de aula e desenvolvimento humano, tão importante quanto o acadêmico.

Aos meus professores, pelo empenho direcionado a mim e a todos os meus colegas. E em especial ao meu orientador, Esdras, pela dedicação e paciência no desenvolvimento deste projeto.

E principalmente a Deus, por permitir toda esta história.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado ao corpo docente da UFRJ/Macaé como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil

Projeto Estrutural de Edifício Residencial em *Wood Frame*

Vinícius de Assis Muniz

Dezembro de 2018

Orientador: Esdras Pereira de Oliveira

Curso: Engenharia Civil

RESUMO

A indústria da construção civil no Brasil precisa se modernizar e melhorar a sua produtividade. O sistema estrutural convencional é o concreto armado, um sistema majoritariamente artesanal e mais suscetível a apresentar elevados índices de desperdício.

O desperdício tem impactos em diferentes áreas dentro e fora desta indústria. Além de gerar atrasos no cronograma, comprometer o orçamento e alterar a qualidade do serviço, algumas cidades brasileiras já não possuem locais adequados para dispor os resíduos da construção civil. Os impactos ambientais deste setor são altos desde a extração da matéria prima até o encerramento do ciclo de vida do edifício. Seja na liberação de gases durante fabricação do cimento e dos aços ou, como já citado, na grande quantidade de resíduo gerada.

Uma alternativa para todo esse cenário negativo é a utilização da madeira como elemento estrutural. A extração do material, se manejada corretamente, pode auxiliar no combate ao acúmulo de gás carbônico na atmosfera, e o planejamento que a utilização deste material exige, diminuí drasticamente o desperdício no canteiro.

Este trabalho tem como objetivo dimensionar um edifício residencial de quatro pavimentos utilizando o *wood frame* como sistema estrutural, além de apresentar material bibliográfico para futuros trabalhos sobre o tema.

Palavras chaves: *Wood Frame*, Dimensionamento, Análise Estrutural.

Abstract of Final Graduation Project presented to UFRJ/Macaé as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Civil Engineer

Structural Design of Residential Building in Wood Frame

Vinícius de Assis Muniz

Dezembro de 2018

Advisor: Esdras Pereira de Oliveira

Course: Civil Engineering

ABSTRACT:

The construction industry in Brazil needs to improve its methods to become more competitive. The main structural system used here is the reinforced concrete, a system predominantly handcrafted and more susceptible to waste.

The waste impacts different areas, inside and outside of the construction industry. It can cause delays, affect the budget and jeopardize the quality of the building. In addition to that, some Brazilian cities don't have a proper place to dispose the rubbish anymore. And the environmental impacts of this sector are high since the extraction and the processing of the raw material. The production of cement and steel emits a large amount of harmful gases, originated in thermal processes.

An alternative to this scenario is the use of wood as a structural element. Its production, if done properly, can absorb carbon dioxide from the atmosphere, and the planning that the use of this material requires decreases sharply the waste in construction site.

The mains objectives of this work are to design a residential building of four floors using wood frame as the structural system and introduce some bibliography to future works with this theme.

Keywords: Wood frame, Design, Structural Analysis.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
1.2	OBJETIVOS	21
1.3	JUSTIFICATIVAS	21
1.4	METODOLOGIA	22
2.	DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA	23
2.1	DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL	25
2.2	ELEMENTOS COMPONENTES DA ESTRUTURA	29
2.2.1	PAREDES	29
2.2.2	SISTEMA DE LAJES	30
2.2.3	ESCADAS	31
2.2.4	COBERTURA	33
3.	MODELAGEM ESTRUTURAL	34
3.1	PROPRIEDADES	34
3.1.1	PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS ELEMENTOS DA ESTRUTURA	34
3.1.1.1	Coeficiente de Variação de Resistência δ	35
3.1.1.2	Coeficiente de Minoração da Resistência γ_w	36
3.1.1.3	Coeficiente de Modificação k_{mod}	36
3.1.2	PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS ELEMENTOS DA ESTRUTURA	39
3.2	GEOMETRIAS DO MODELO	41
3.3	CARREGAMENTOS	49
3.3.1	AÇÕES PERMANENTES	49
3.3.1.1	Peso Próprio das Paredes	49
3.3.1.2	Peso Próprio do Piso	53
3.3.1.3	Peso Próprio da Escada	55
3.3.1.4	Peso Próprio do Telhado	56
3.3.1.5	Peso Próprio da Caixa D'água	57
3.3.2	AÇÕES VARIÁVEIS	59
3.3.2.1	Sobrecarga de Utilização	59
3.3.3	COMBINAÇÕES DE CARREGAMENTOS	61
4.	DIMENSIONAMENTO	63
4.1	ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS	64
4.1.1	SOLICITAÇÕES NORMAIS	64
4.1.2	SOLICITAÇÕES TANGENCIAIS	68
4.1.3	TORÇÃO	68
4.1.4	ESTABILIDADE	68
4.1.4.1	Flambagem Lateral Com Torção	68
4.1.4.2	Flambagem Global Por Flexão	71
4.2	ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO	71

4.3	VERIFICAÇÃO DOS E.L.U.	72
4.3.1	VIGAS DE PISO	72
4.3.1.1	Pavimento Tipo	73
4.3.1.2	Cobertura	76
4.3.1.3	Caixa D'Água	77
4.3.2	MONTANTES	78
4.3.3	VIGAS	82
4.3.4	VERGAS	83
4.4	VERIFICAÇÃO DOS E.L.S.	84
4.4.1	FLECHA CRÍTICA	84
5.	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
6.	REFERÊNCIAS	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Novo Edifício Comercial Tamedia, Zurique, Suíça.....	20
Figura 1.2 – <i>The Smile</i> , Inglaterra.	20
Figura 1.3 – Residencial Vancouver, Araucária, Brasil.	21
Figura 2.1 – Planta de arquitetura para o edifício residencial, (SALLES, 2016).....	23
Figura 2.2 – Planta de arquitetura com eixos de corte, (SALLES, 2016).	24
Figura 2.3 – Corte A-A.....	24
Figura 2.4 – Corte B-B.	25
Figura 2.5 – Esquema da ligação dos elementos do sistema estrutural, (AWC, 2015).....	26
Figura 2.6 – Obra executada com sistema <i>wood frame</i>	26
Figura 2.7 – Placa OSB apoiada sobre as vigas de piso.	27
Figura 2.8 – Sistema <i>wood frame</i>	27
Figura 2.9 – Detalhes dos painéis estruturais e do sistema de lajes.	28
Figura 2.10 - Estrutura em <i>wood frame</i>	28
Figura 2.11 – Tipos de paredes diferenciados por ambiente.	30
Figura 2.12 – Placas OSB e placas cimentícias, (SALLES, 2016).	30
Figura 2.13 – Especificações dos painéis de laje, (SALLES, 2016).	31
Figura 2.14 – Escadas de madeira.	32
Figura 2.15 – Patamares da escada apoiados sobre pilares de madeira.....	32
Figura 2.16 – Planta de cobertura. (SALLES, 2016).....	33
Figura 3.1 – Disposição dos eixos estruturais.	42
Figura 3.2 – Pórtico no eixo A.	43
Figura 3.3 – Pórtico no eixo B.....	43
Figura 3.4 – Pórtico no eixo C.....	44
Figura 3.5 – Pórtico no eixo D.	44
Figura 3.6 – Pórtico no eixo E.....	45
Figura 3.7 – Pórtico no eixo F.	45
Figura 3.8 – Pórtico no eixo G.	46
Figura 3.9 – Pórticos nos eixos 1 e 5.....	46
Figura 3.10 – Pórtico no eixo 2.	47
Figura 3.11 – Pórtico no eixo 3.	47
Figura 3.12 – Pórtico no eixo 4.	48

Figura 3.13 – Estrutura tridimensional.	48
Figura 4.1 – Tipos de paredes diferenciados por ambiente.	50
Figura 4.2 – Paredes distribuídas sobre as lajes.	52
Figura 4.3 – Peso próprio das paredes estruturais no pavimento tipo.	53
Figura 4.4 – Peso próprio das paredes não estruturais no pavimento tipo.	53
Figura 4.5 – Peso próprio do piso no interior dos apartamentos.	54
Figura 4.6 – Peso próprio do piso no pavimento tipo.	55
Figura 4.7 – Peso próprio do piso no hall e nas escadas.	55
Figura 4.8 – Peso próprio do telhado nas vigas de piso da cobertura.	57
Figura 4.9 – Peso próprio do piso nas vigas de piso da caixa d’água.	59
Figura 4.10 – Peso próprio da caixa d’água.	59
Figura 4.11 – Sobrecarga de utilização do quarto, sala, cozinha e banheiro.	60
Figura 4.12 – Sobrecarga de utilização da área de serviço.	60
Figura 4.13 – Sobrecarga de utilização do hall e escadas.	61
Figura 4.14 – Sobrecarga de utilização do forro.	61
Figura 4.15 – Combinações de carga para o E.L.U e E.L.S.	63
Figura 5.1 – Parâmetros de flambagem. (PFEIL, 2003).	66
Figura 5.2 – Fator de equivalência m para a adaptação da tensão crítica associada à flambagem lateral com torção, (PFEIL, 2003).	70
Figura 5.3 – Vigas principais dos apartamentos contidas pelas vigas de piso.	70
Figura 5.4 – Vigas principais do hall e escadas contidas pelas vigas de piso.	71
Figura 5.5 – Casos para análise das vigas de piso do pavimento tipo. (Elaborada pelo autor)	73
Figura 5.6 – Flecha crítica na estrutura.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Propriedades da <i>Pinus taeda</i>	35
Tabela 3.2 – Classes de carregamento.....	37
Tabela 3.3 – Valores de <i>kmod</i>, 1 segundo a NBR 7190 (1997).	37
Tabela 3.4 – Classes de umidade.....	37
Tabela 3.5 – Valores de <i>kmod</i>, 2 segundo a NBR 7190 (1997).	38
Tabela 3.6 - Valores de <i>kmod</i>, 3 segundo a NBR 7190 (1997).	38
Tabela 3.7 - Valores de dimensionamento para as propriedades da <i>Pinus taeda</i>	39
Tabela 3.8 – Seções transversais dos elementos da estrutura.....	40
Tabela 3.9 – Propriedades geométricas dos elementos componentes da estrutura.	40
Tabela 3.10 – Continuação das propriedades geométricas dos elementos componentes da estrutura.	41
Tabela 3.11 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 1.	50
Tabela 3.12 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 2.	50
Tabela 3.13 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 3.	51
Tabela 3.14 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 4.	51
Tabela 3.15 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 5.	51
Tabela 3.16 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 6.	52
Tabela 3.17 – Cargas de peso próprio das paredes distribuídas sobre as lajes.....	53
Tabela 3.18 – Cargas que compõem o peso próprio do piso do pavimento tipo.....	54
Tabela 3.19 – Cargas aplicadas nas vigas de piso da cobertura.	56
Tabela 3.20 – Cálculo da carga da caixa d’água.	58
Tabela 3.21 – Cargas aplicadas nas vigas de piso da caixa d’água.	58
Tabela 3.22 – Sobrecarga de utilização.	60
Tabela 4.1 – Coeficiente de fluência φ	68
Tabela 4.2 – Valores limites de deslocamentos verticais segundo a NBR 7190 (1997).	72
Tabela 4.3 – Cargas sobre as vigas de piso do pavimento tipo mais solicitadas.....	74
Tabela 4.4 – Esforços para a combinação nas vigas de piso tipo mais solicitadas.	74
Tabela 4.5 –Razões entre tensões solicitantes e resistentes para as vigas de piso do pavimento tipo.....	76
Tabela 4.6 –Razões entre tensões solicitantes e resistentes para as vigas de piso duplas do pavimento tipo.	76

Tabela 4.7 – Cargas sobre a viga de piso da cobertura.....	77
Tabela 4.8 – Esforços para a combinação da viga de piso da cobertura.	77
Tabela 4.9 – Razões entre tensões solicitantes e resistentes para a viga de piso da cobertura.	77
Tabela 4.10 – Cargas sobre a viga de piso do pavimento da caixa d’água.	78
Tabela 4.11 – Esforços para a combinação da viga de piso da cobertura.	78
Tabela 4.12 – Razões entre tensões solicitantes e resistentes para a viga de piso da cobertura.	78
Tabela 4.13 – Esforços para a combinação E.L.U. nos montantes mais solicitados.	79
Tabela 4.14 – Esforços não majorados nos montantes mais solicitados.	79
Tabela 4.15 – Razões entre tensões solicitantes e resistentes para o montante simples mais solicitado.....	81
Tabela 4.16 – Razões entre tensões solicitantes e resistentes para o montante duplo mais solicitado.....	81
Tabela 4.17 – Esforços na viga principal mais solicitada.....	82
Tabela 4.18 – Esforços não majorados para a viga mais solicitada.	82
Tabela 4.19 – Razões entre as tensões solicitantes e resistentes para a viga principal mais solicitada.....	83
Tabela 4.20 – Esforços para a verga mais solicitada.....	83
Tabela 4.21 – Esforços não majorados para a verga mais solicitada.	83
Tabela 4.22 – Razões entre as tensões solicitantes e resistentes para a verga mais solicitada.	84

SÍMBOLOS

a) Letras romanas maiúsculas

A	área
C	consumo médio de água por pessoa
C_d	consumo diário de água
E_c	módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras
$E_{c,ef}$	módulo de elasticidade efetivo à compressão paralela às fibras da madeira
$F_{Gi,k}$	valores característicos das ações permanentes
$F_{Q1,k}$	valor característico da ação variável considerada principal para a combinação
$F_{Qj,k}$	valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal
F_d	combinação última normal
F_d	força de dimensionamento
F_r	fator de rajada de vento
I_x	momento de inércia em x
I_y	momento de inércia em y
K	parâmetro de flambagem
L_1	distância entre pontos de contenção lateral
L_f	comprimento de flambagem
M_d	momento solicitante de dimensionamento
M_d	momento solicitante de dimensionamento
M_{id}	momento fletor inicial
N	número de pessoas no edifício
N_{cr}	carga crítica normal
N_d	esforço normal de dimensionamento
R_d	reação de apoio ou carga concentrada
Q	carga distribuída devido ao peso próprio da caixa d'água
U	umidade padrão

W_x módulo de resistência à flexão na direção x
 W_y módulo de resistência à flexão na direção y

b) Letras romanas minúsculas

a altura
 b coeficiente, largura
 c dimensão da superfície de contato
 d distância
 e_a excentricidade accidental
 e_c excentricidade complementar de fluência
 e_i excentricidade inicial
 e_{ig} excentricidade inicial oriunda do momento devido à carga permanente
 f_c resistência à compressão paralela às fibras da madeira
 f_{cd} resistência de dimensionamento à compressão paralela às fibras da madeira
 f_{cnd} resistência à compressão normal às fibras
 f_{cr} tensão crítica de compressão associada à flambagem lateral com torção
 f_d resistência de dimensionamento
 f_k resistência característica
 f_m resistência média
 f_{nd} resistência normal de dimensionamento
 f_t resistência à tração paralela às fibras da madeira
 f_{td} resistência de dimensionamento à tração paralela às fibras da madeira
 f_{tn} resistência à tração normal às fibras
 f_{tnd} resistência de dimensionamento à tração normal às fibras da madeira
 f_v resistência ao cisalhamento
 f_{vd} resistência de dimensionamento ao cisalhamento
 f_{wd} resistência de cálculo à tração ou compressão
 i_x raio de giração em x
 i_y raio de giração em y
 k coeficiente (em geral)
 k_M coeficiente de correção

k_{mod}	coeficiente de modificação
l	comprimento
l_1	dimensão da edificação
l_2	dimensão da edificação
m	coeficiente

c) Letras gregas

β	coeficiente
β_m	coeficiente de correção
γ	coeficiente de segurança, peso específico
γ_m	coeficiente de ponderação das resistências dos materiais
γ_w	coeficiente de minoração das propriedades da madeira
δ	coeficiente de variação
λ	índice de esbeltez
π	emprego matemático
ρ_{apar}	massa específica aparente
σ	tensão normal
σ_{cd}	tensão solicitante de compressão paralela às fibras
σ_{cnd}	tensão de compressão normal solicitante
σ_{nd}	tensão normal solicitante
σ_{Md}	tensão de flexão de dimensionamento devido ao momento solicitante
$\sigma_{Mx,d}$	tensão devido ao momento solicitante na direção x
$\sigma_{My,d}$	tensão devido ao momento solicitante na direção y
τ	tensão tangencial
τ_d	tensão cisalhante de dimensionamento
τ_{dx}	tensão cisalhante de dimensionamento na direção x
τ_{dy}	tensão cisalhante de dimensionamento na direção y
φ	coeficiente de fluência
ψ_{0j}	fator de combinação para ações variáveis
ψ_1	fator de redução para ações variáveis
ψ_{2j}	fator de redução para ações variáveis

d) Siglas

AWC	<i>American Wood Council</i>
E.L.S.	Estados Limites de Serviço
E.L.U.	Estados Limites Últimos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MLC	Madeira Laminada Colada
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O desperdício na construção civil é um problema antigo; estudos da década de 80 já apontavam para esse obstáculo. As perdas reais no canteiro são maiores do que as estimadas previamente, gerando diversos problemas na execução do projeto e principalmente no orçamento. Tais percalços podem ser repassados para o cliente ou afetar a margem de lucro final. Independente da opção escolhida fica claro que este é um gargalo do setor e precisa ser combatido para que a indústria da construção evolua e se torne mais competitiva.

Um segundo problema, que é agravado pelo desperdício, é a degradação ambiental gerada pela construção civil. A quantidade de resíduos gerada ao longo do ciclo de vida de uma edificação é enorme, e algumas cidades já apresentam problemas para lidar com o descarte desse tipo de material. Além disso, de acordo com a *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2010), este setor da indústria é um dos principais emissores de gases poluentes no mundo, devido ao processo de fabricação dos seus materiais mais utilizados.

Uma opção para reduzir esses problemas é passar a usar materiais de fontes renováveis e que possam ser pré-fabricados de acordo com a necessidade específica do projeto. A pré-fabricação torna a obra mais organizada, pois cada elemento é feito previamente, num local diferente do canteiro, e já tem quantidade e local de aplicação exatos, evitando assim as perdas. Já os materiais de fontes renováveis podem ter um custo ambiental menor para o seu processo de fabricação e em alguns aspectos até melhorar o quadro ambiental em que o planeta se encontra hoje.

A utilização da madeira como material estrutural é um bom exemplo de como essa proposta pode ser proveitosa. Apesar de pouco aproveitada para esse propósito no Brasil, atualmente ela é totalmente capaz de fazer frente aos outros materiais. Algumas tecnologias como a Madeira Laminada Colada, a Madeira Laminada Cruzada e o *Wood Frame* permitem que a madeira seja usada em grandes projetos. Além de tornar o material viável para diversos tipos de empreendimentos, essas tecnologias possibilitam que cada peça do sistema seja

produzida em uma oficina ou fábrica fora do canteiro e somente montá-las *in loco*, trazendo inúmeros benefícios a obra.

Também é importante ressaltar que a utilização da madeira pode ser um importante avanço na área ambiental, pois a sua exploração legal e responsável demandaria um manejo de grandes áreas florestais, onde somente uma parcela dela será realmente utilizada e as outras ficarão aguardando o crescimento ideal das árvores até que estas possam ter seu aproveitamento otimizado. Essa estratégia de manejo florestal é incentivada pelo Tratado de Kyoto, de 1997, como uma estratégia para redução da concentração de CO₂ na atmosfera. Em 2000 o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) publicou um artigo sobre as consequências do desflorestamento, reflorestamento e florestamento; e chegou-se à conclusão que o florestamento e reflorestamento conseguiriam capturar por ano 2% do total de carbono lançado na atmosfera no mesmo intervalo de tempo. Não é o suficiente para solucionar o problema do efeito estufa, mas já é um auxílio superando as expectativas anteriores.

Peças estruturais confeccionadas já são utilizadas em empreendimentos no exterior e até mesmo no Brasil, apesar de bem mais recente se comparados com as obras internacionais. Alguns exemplos são o Novo Edifício Comercial Tamedia, em Zurique, Suíça (Figura 1.1), o *The Smile*, em Londres, Inglaterra (Figura 1.2) e no Brasil temos o condomínio Residencial Vancouver, em Araucária - Paraná, realizado pela empresa Tecverde em 2016 (Figura 1.3) para o programa Minha Casa, Minha Vida.

As diferentes finalidades das edificações citadas revelam que a utilização da madeira como material estrutural vai além dos benefícios ambientais e da agilização do processo construtivo; mas também aprimora a estética e a sensação de bem-estar dos ocupantes da edificação.



Figura 1.1 – Novo Edifício Comercial Tamedia, Zurique, Suíça.



Figura 1.2 – *The Smile*, Inglaterra.



Figura 1.3 – Residencial Vancouver, Araucária, Brasil.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é a elaboração do projeto estrutural de um edifício residencial de quatro pavimentos utilizando o sistema estrutural em *wood frame*. Este trabalho contempla o anteprojeto (definição de sistema estrutural, materiais a serem utilizados e o sistema construtivo) e o dimensionamento (verificação da estrutura quanto aos esforços e definição das dimensões dos elementos). Não será abordado nesse trabalho o dimensionamento do sistema de contraventamento, das ligações e das fundações.

Como objetivo secundário, procura-se disseminar o uso da madeira como material estrutural, suas particularidades, prós e contras, propor futuros trabalhos neste tema, e consolidar conhecimentos adquiridos nas cadeiras de estruturas do curso de engenharia civil da UFRJ-Macaé.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Como citado anteriormente, a indústria da construção civil brasileira sofre com problemas de desperdício e sustentabilidade, além de necessitar de novidades, principalmente nos métodos construtivos, que tornem este ramo da indústria mais competitivo. A madeira, mesmo subutilizada no Brasil, é uma alternativa viável para tais obstáculos. Não se propõe a

substituição do chamado sistema convencional em concreto armado, mas apresentar uma alternativa que possui suas vantagens e desvantagens.

1.4 METODOLOGIA

O projeto é baseado em pesquisas bibliográficas com foco em dissertações, livros e publicações com o objetivo de adquirir informações sobre estruturas de madeira e sua concepção para o dimensionamento de edificações, sendo o principal PFEIL (2003).

Ao longo do trabalho, serão apresentados todos os dados utilizados para o dimensionamento da estrutura, isto é, as plantas, catálogos com especificações de elementos, normas, etc.; de forma a esclarecer todos os passos da elaboração da memória de cálculo.

O modelo estrutural será desenvolvido com auxílio de programa de análise estrutural, e as verificações no E.L.U. e E.L.S. serão realizadas por meio de planilhas. Serão utilizados também os softwares Excel, AutoCad, e outros que se façam necessários.

A fim de atender os objetivos propostos, a estruturação do trabalho se dá conforme apresentado abaixo.

O capítulo 1 apresenta a introdução, a contextualização do tema, o objetivo, a justificativa, a metodologia e a estruturação do trabalho.

O capítulo 2 apresenta o projeto do edifício, suas características, o sistema estrutural e a descrição de cada elemento.

No capítulo 3 é realizada a modelagem estrutural, apresentando os modelos estruturais elaborados no programa, as propriedades dos materiais, seções transversais e condições de contorno adotadas, cargas e combinações que atuam sobre a edificação.

No capítulo 4 é realizada a análise estrutural, com as verificações dos elementos estruturais segundo os E.L.U. e E.L.S.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões e considerações finais, com resultados e informações relevantes ao desenvolvimento do projeto; considerações sobre a viabilidade da aplicação do sistema estrutural; e recomendações para trabalhos futuros.

Referências Bibliográficas – serão apresentadas as bibliografias consultadas para a realização do trabalho.

2. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

A planta arquitetônica adotada neste trabalho foi baseada no modelo sugerido por SALLES (2016). O edifício apresenta uma área de implantação de 296 m², dividida entre um hall comunitário e quatro apartamentos de 62 m², sendo os apartamentos subdivididos em dois dormitórios, uma sala, um banheiro, uma cozinha e uma área de serviço. A planta do pavimento tipo é apresentada na Figura 2.1.

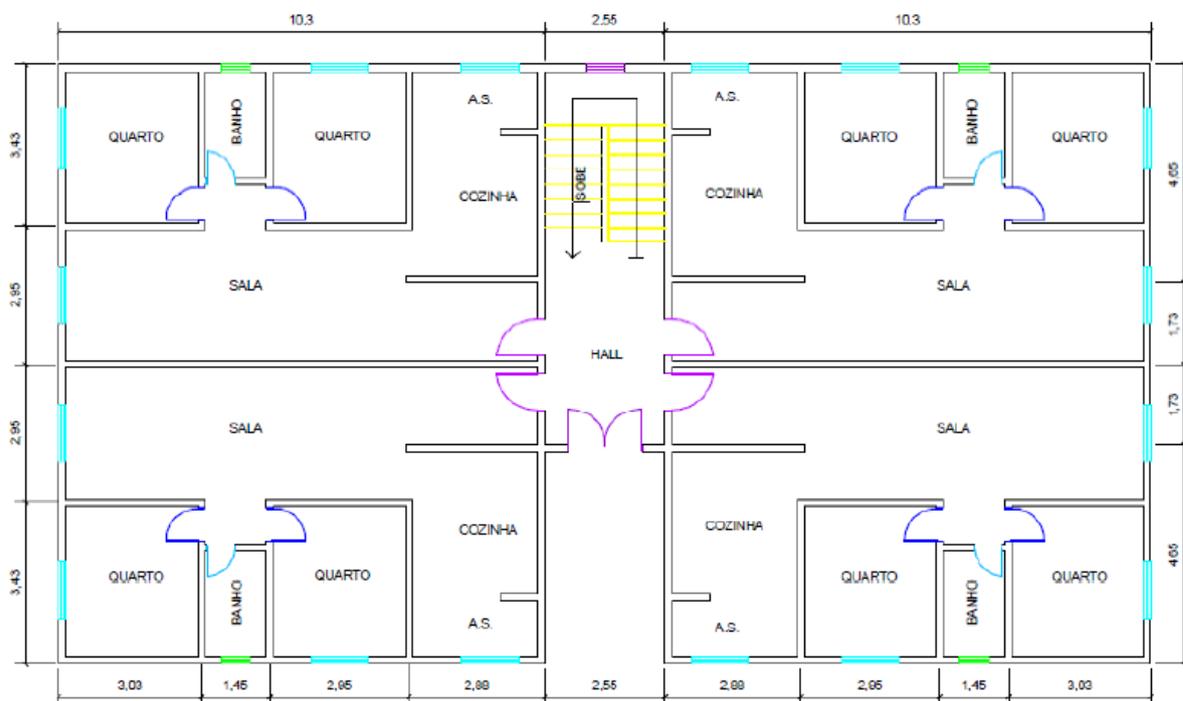


Figura 2.1 – Planta de arquitetura para o edifício residencial, (SALLES, 2016).

A Figura 2.2 apresenta a planta de arquitetura com os eixos definidos para os cortes da arquitetura. A Figura 2.3 e a Figura 2.4 apresentam os cortes de arquitetura.

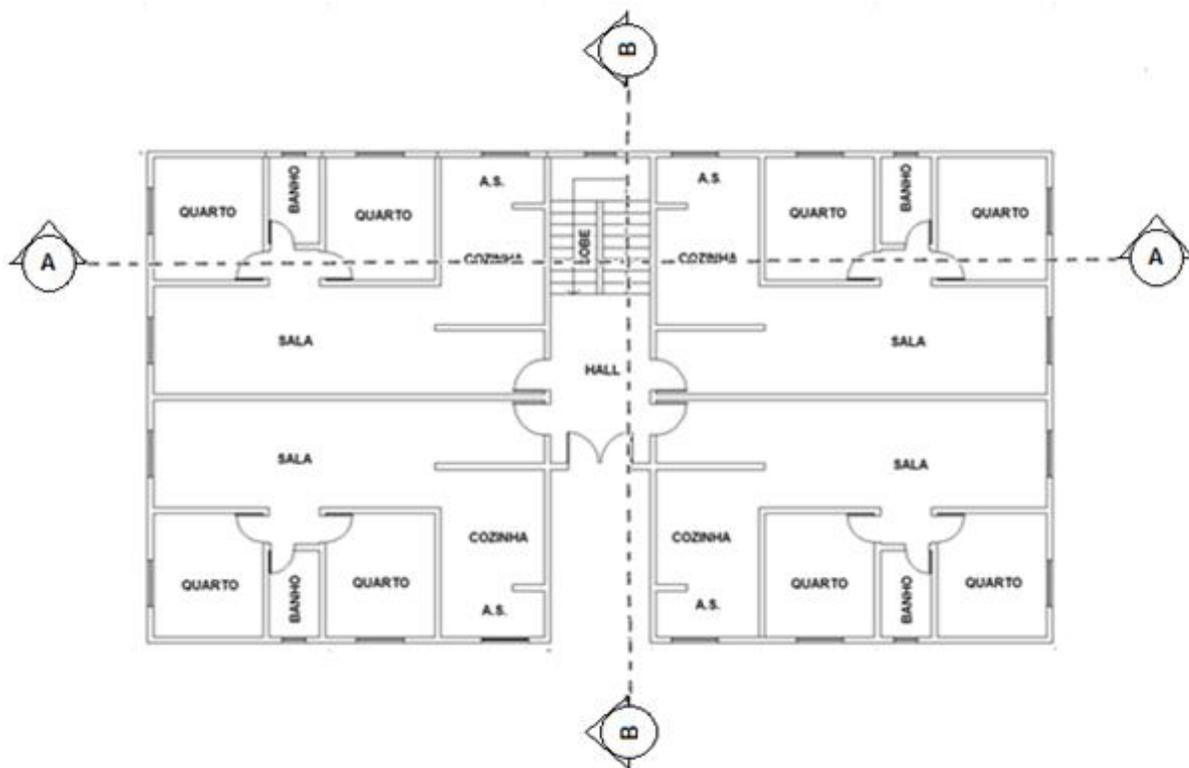


Figura 2.2 – Planta de arquitetura com eixos de corte, (SALLES, 2016).

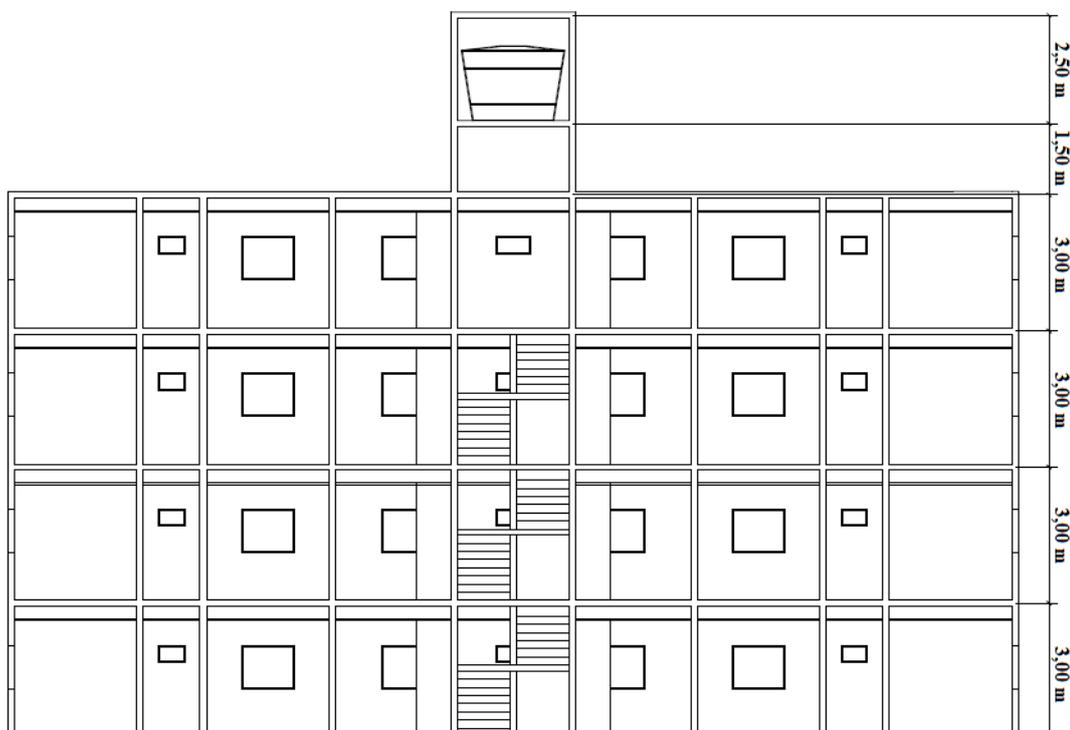


Figura 2.3 – Corte A-A.

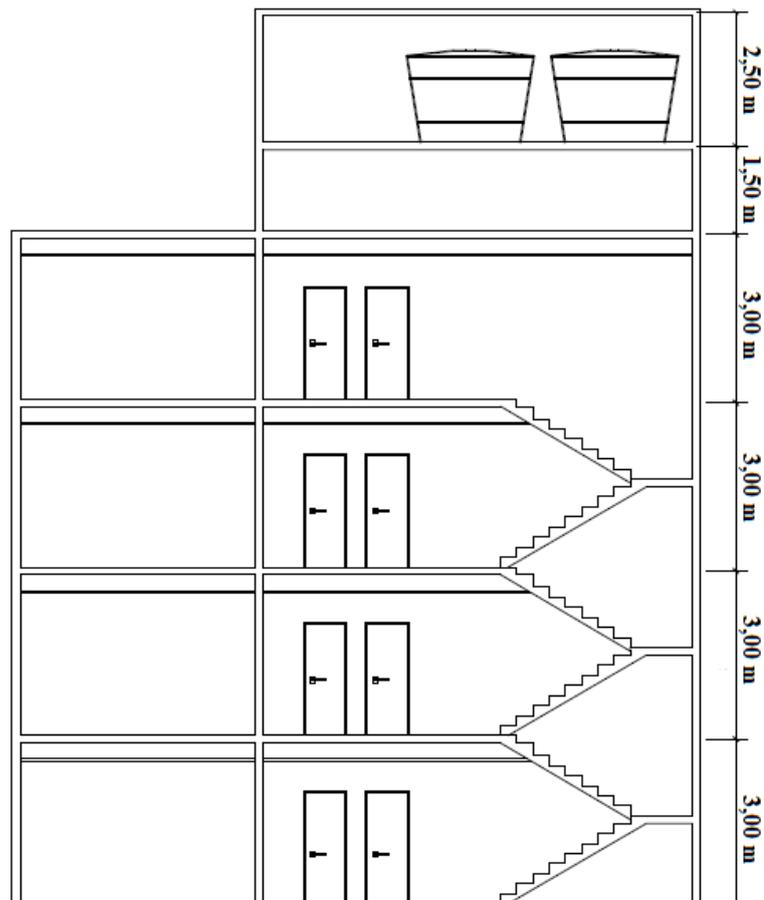


Figura 2.4 – Corte B-B.

2.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL

A estrutura do edifício será executada em *wood frame*, um modelo que se assemelha ao sistema de alvenaria estrutural pelo fato dos painéis estruturais serem usados como paredes. Nesse sistema perfis de madeira espaçados junto com placas OSB, formam painéis estruturais que recebem as cargas verticais das vigas de piso e as transmitem até a fundação. As vigas de piso são dispostas de forma unidirecional e sob estas são colocadas placas OSB, compondo o sistema de lajes. A Figura 2.5 mostra um esquema dos painéis estruturais do sistema de lajes e da ligação destes elementos.

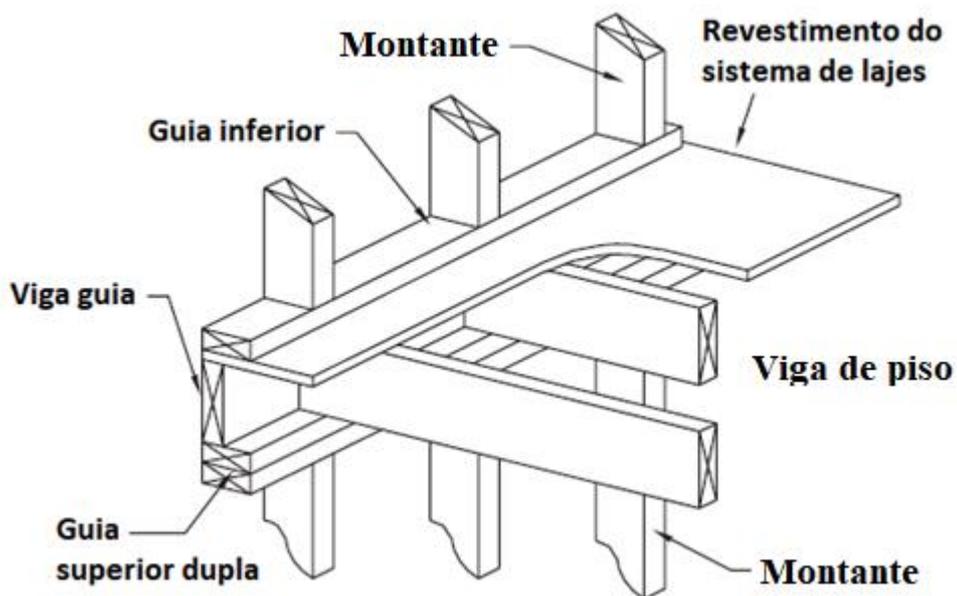


Figura 2.5 – Esquema da ligação dos elementos do sistema estrutural, (AWC, 2015).

As guias servem para evitar deslocamentos laterais nas extremidades dos perfis, tanto das vigas como dos montantes. Além disso, no caso das guias dos painéis verticais, elas auxiliam na distribuição das cargas.

A Figura 2.6 à Figura 2.10 mostram exemplos reais de obras executadas segundo esse modelo de edificação.



Figura 2.6 – Obra executada com sistema *wood frame*.



Figura 2.7 – Placa OSB apoiada sobre as vigas de piso.



Figura 2.8 – Sistema *wood frame*.



Figura 2.9 – Detalhes dos painéis estruturais e do sistema de lajes.



Figura 2.10 - Estrutura em *wood frame*.

As ligações entre cada componente de estruturas em madeira são comumente idealizadas como rotuladas, já que elas apresentam deformações. Para garantir a indeslocabilidade do edifício, é necessário a adoção de sistemas de contraventamento para resistir aos esforços horizontais de cargas de vento, por exemplo.

O tipo de contraventamento normalmente adotado em estruturas de *wood frame* é o de paredes diafragmas, fazendo uso das placas OSB que já estão presentes nos painéis das paredes. Porém, neste trabalho, não serão consideradas cargas horizontais incidindo sobre a edificação, logo, não haverá dimensionamento do sistema de contraventamento.

2.2 ELEMENTOS COMPONENTES DA ESTRUTURA

2.2.1 PAREDES

A vedação do edifício será feita por painéis estruturais e não estruturais. Os painéis não estruturais têm a responsabilidade somente de separar cômodos internos, enquanto os painéis estruturais também são responsáveis por transmitir as cargas até a fundação da edificação. Os elementos dos painéis não estruturais não precisam ser dimensionados, porém neste trabalho, para padronização e maior facilidade na execução, todos os perfis serão iguais aos dimensionados para os painéis estruturais.

Os painéis serão formados por elementos verticais (montantes), horizontais (guias ou vergas), de preenchimento (lã de vidro) e fechamento (placas OSB, cimentícia ou de gesso acartonado). Os montantes dão sustentação à parede, podendo ser reforçados com montantes duplos perto de aberturas. As guias têm um propósito de estabilização e distribuição de cargas. Já as vergas delimitam, dão suporte às aberturas e redistribuem as cargas dos montantes acima delas para os montantes laterais às aberturas. O preenchimento dos painéis com lã de vidro tem a finalidade de aumentar o isolamento térmico e acústico dos cômodos, trazendo maior conforto para os usuários da edificação.

As placas de fechamentos são escolhidas conforme o meio em que o painel se encontra: se é externo ou interno, e com área molhada ou não. A face externa do edifício terá fechamento com placa OSB e cimentícia. As faces internas de área seca terão fechamento somente com uma placa de gesso acartonado e as faces internas com área molhada terão uma placa cimentícia com um revestimento cerâmico. Já os painéis que fazem a separação entre dois apartamentos terão fechamento com duas placas de gesso acartonado em cada face.

A Figura 2.11 apresenta os ambientes com a diferenciação dos tipos de cada parede, e a Figura 2.12 apresenta um exemplo dos painéis que compõem as paredes bem como de seus elementos constituintes. As especificações dos materiais se encontram no Anexo A.

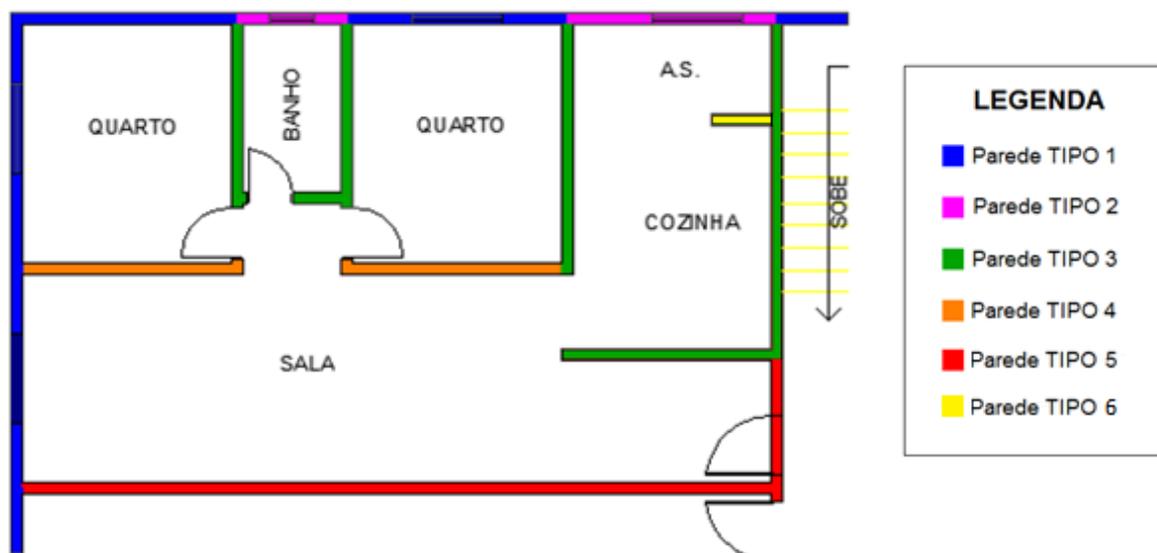


Figura 2.11 – Tipos de paredes diferenciados por ambiente.



Figura 2.12 – Placas OSB e placas cimentícias, (SALLES, 2016).

2.2.2 SISTEMA DE LAJES

O sistema de lajes é composto por placas cimentícias sobrepostas à placas OSB (informações e especificações retiradas do catálogo do fabricante presente no Anexo A). A

placa OSB auxilia a placa cimentícia na resistência física e torna o sistema mais leve, já a placa cimentícia foi adotada para conferir resistência à umidade. Para padronização do processo construtivo, este sistema de lajes foi utilizado em todas as lajes do edifício. A Figura 2.13 apresenta as principais especificações.

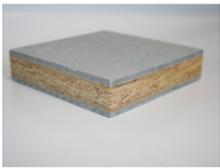
Tipo de painel	Espessura	Dimensões	Peso	Carga máxima
	(mm)	(m)	(kg/m ²)	(kg/m ²)
	23	1,20 x 2,50	23	500

Figura 2.13 – Especificações dos painéis de laje, (SALLES, 2016).

2.2.3 ESCADAS

A estrutura das escadas foi considerada da mesma espécie de madeira utilizada para os demais elementos estruturais da edificação. A escada foi modelada juntamente com o edifício, com degraus formados por vigas nos espelhos e o sistema de lajes como piso. As vigas transferem as cargas para vergas inclinadas posicionadas nos painéis estruturais nas laterais do lance; e os patamares entre pavimentos também são apoiados em painéis estruturais.

A Figura 2.14 mostra exemplos de escadas com vigas inclinadas de madeira, e a Figura 2.15 mostra um exemplo de patamar de escada apoiado sobre pilares de madeira. A Figura 2.16 e a Figura 2.17 exemplificam o sistema estrutural adotado, com vergas inclinadas apoiadas nos montantes dos painéis.



Figura 2.14 – Escadas de madeira.



Figura 2.15 – Patamares da escada apoiados sobre pilares de madeira.



Figura 2.16 – Patamares da escada apoiados sobre painéis estruturais, neste caso a estrutura é em *steel framing*.



Figura 2.17 – Vergas inclinadas apoiadas nos montantes verticais.

2.2.4 COBERTURA

A cobertura do edifício foi idealizada com inclinação de 15% orientadas para o interior do imóvel e o fechamento feito com telhas metálicas. Todo o perímetro da cobertura possui uma platibanda de um metro de altura para protegê-la e aprimorar a estética do empreendimento. A Figura 2.18 apresenta a planta de cobertura do edifício.

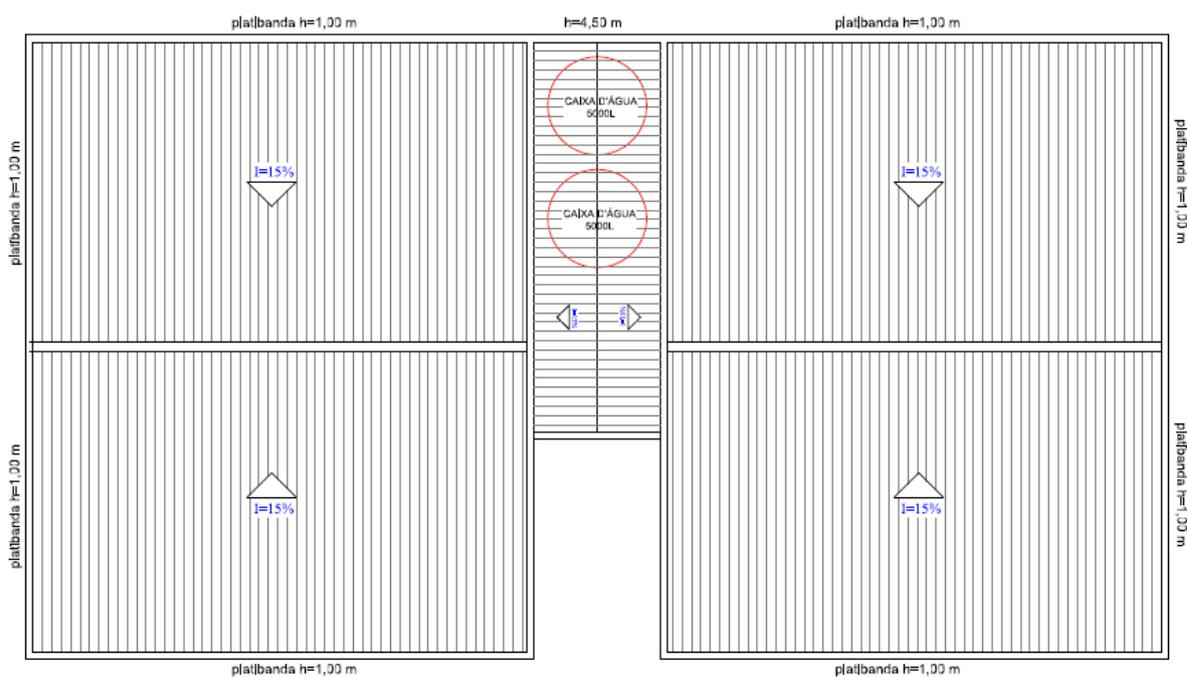


Figura 2.18 – Planta de cobertura, (SALLES, 2016).

3. MODELAGEM ESTRUTURAL

Este capítulo apresenta as propriedades dos materiais e seções dos elementos estruturais, além do modelo estrutural desenvolvido para o edifício residencial em estudo sob as ações das cargas atuantes sobre a estrutura.

3.1 PROPRIEDADES

Todos os elementos estruturais em madeira do edifício são de MLC (madeira laminada colada). Esta opção foi escolhida devido às vantagens que ela possui em relação a peças tradicionais de madeira maciça serrada.

A madeira serrada possui limitações geométricas referentes às dimensões da árvore de origem e por isso adotam-se seções comerciais padronizadas. Já as peças em MLC podem ser confeccionadas com grandes dimensões e com maior controle de defeitos sobre as peças. Outros pontos onde a madeira laminada e colada se mostra superior à madeira maciça serrada são nas características de resistência e durabilidade. Como é um produto industrializado, passa por uma exigente avaliação de controle de qualidade, além de possibilitar um cuidado maior na confecção da peça, controlando a umidade das lâminas e escolhendo-se a qualidade das lâminas posicionadas nos pontos de maior tensão. Enquanto a madeira serrada é um produto natural, portanto menos homogêneo e sujeito a mais defeitos.

A espécie de madeira adotada neste trabalho é a *Pinus taeda*. De acordo com informações da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), a *Pinus taeda* é a espécie de pínus mais plantada no Brasil, abrangendo aproximadamente um milhão de hectares no sul do país (2014), ocupando também o posto de espécie mais importante nos Estados Unidos. Tal posição é justificada devido ao grande potencial comercial desta espécie.

3.1.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS ELEMENTOS DA ESTRUTURA

A NBR 7190 (1997) dispõe uma tabela com valores médios de resistência e do módulo de deformação longitudinal, para a umidade padrão $U = 12\%$, para madeiras coníferas nativas e de reflorestamento. A Tabela 3.1 apresenta as propriedades da espécie de madeira *Pinus taeda L.* de acordo com a referida norma:

Tabela 3.1 - Propriedades da *Pinus taeda*.

Nome Comum	Nome Científico	$\rho_{apar(12\%)}$ (kg/m^3)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	f_{tn} (MPa)	f_v (MPa)	E_c (MPa)
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda L.</i>	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13304

onde:

$\rho_{apar(12\%)}$ – massa específica aparente a 12% de umidade;

f_c – resistência à compressão paralela às fibras;

f_t – resistência à tração paralela às fibras;

f_{tn} – resistência à tração normal às fibras;

f_v – resistência ao cisalhamento;

E_c – módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.

Os valores apresentados na tabela anterior são valores médios, a partir dos quais devem ser calculados os valores de dimensionamento. Para tanto são aplicados os coeficientes: de variação de resistência δ , de minoração das propriedades da madeira γ_w e de modificação k_{mod} . O coeficiente de modificação k_{mod} leva em conta o tipo de produto de madeira utilizado, o tempo de duração de carga, a umidade e a classificação estrutural da madeira. As seções seguintes apresentam a definição e o cálculo de cada um desses coeficientes.

3.1.1.1 Coeficiente de Variação de Resistência δ

Admite-se que as resistências das madeiras tenham distribuições normais. O valor representativo básico adotado é a chamada resistência característica inferior, correspondente ao quantil de 5% da distribuição de resistências (NBR 7190, 1997). Assim, a resistência característica de um material é dada pela expressão (3.1.1):

$$f_k = f_m(1 - 1,645 \delta) \quad (3.1.1)$$

onde:

f_k – resistência característica do material;

f_m – resistência média do material;

δ – coeficiente de variação das resistências.

De modo geral, lotes homogêneos de materiais apresentam coeficientes de variação inferiores a 15%. Porém devido ao fato de não se conhecer valores experimentais efetivos

para o caso das madeiras, a NBR 7190 (1997) adota um valor para o coeficiente de variação δ igual a 18% para esforços normais e 28% para esforços cisalhantes. Dessa forma tem-se o valor de f_k para resistência a esforços normais e de cisalhamento dados pelas expressões (3.1.2) e (3.1.3) respectivamente.

$$f_k = 0,70 f_m \quad (3.1.2)$$

$$f_k = 0,54 f_m \quad (3.1.3)$$

3.1.1.2 Coeficiente de Minoração da Resistência γ_w

O coeficiente γ_w leva em consideração as variações de resistência entre o material do mesmo lote, diferenças entre o material usado na confecção dos corpos de prova dos ensaios e reduções de resistência devido a modelos de cálculo. A NBR 7190 (1997) dispõe os valores deste coeficiente de acordo com o tipo de esforço atuante sobre o material e de acordo com o estado limite a ser verificado, de acordo com as informações a seguir:

- E.L.U. decorrentes de tensões de compressão paralela às fibras: $\gamma_{wc} = 1,4$;
- E.L.U. decorrentes de tensões de tração paralela às fibras: $\gamma_{wt} = 1,8$;
- E.L.U. decorrentes de tensões de cisalhamento paralelo às fibras: $\gamma_{wv} = 1,8$;
- E.L.S.: $\gamma_w = 1,0$.

3.1.1.3 Coeficiente de Modificação k_{mod}

O coeficiente de modificação k_{mod} é dado pela expressão (3.1.4):

$$k_{mod} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \quad (3.1.4)$$

onde:

$k_{mod,1}$ – considera a classe de carregamento e o tipo de produto de madeira;

$k_{mod,2}$ – considera a classe de umidade e o tipo de produto de madeira;

$k_{mod,3}$ – considera a categoria das peças de madeira e o tipo de produto de madeira.

A NBR 7190 (1997) fornece tabelas com os valores para cada um dos coeficientes de modificação de acordo com as considerações listadas acima.

As classes de carregamento são definidas de acordo com o tempo de duração da ação variável principal, sendo apresentadas na Tabela 3.2. A Tabela 3.3 apresenta os valores de $k_{mod,1}$ fornecidos pela norma.

Tabela 3.2 – Classes de carregamento.

Classe de carregamentos	Período acumulado de tempo de atuação da carga variável de base de uma combinação de ações
Permanente	Vida útil da construção
Longa duração	Mais de 6 meses
Média duração	1 semana a 6 meses
Curta duração	Menos de uma semana
Duração instantânea	Muito curta

Tabela 3.3 – Valores de $k_{mod,1}$ segundo a NBR 7190 (1997).

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

As classes de umidade são definidas de acordo com a umidade relativa do ambiente e grau de umidade da madeira, e são apresentadas na Tabela 3.4. A Tabela 3.5 apresenta os valores de $k_{mod,2}$ fornecidos pela norma.

Tabela 3.4 – Classes de umidade.

Classe de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Grau de umidade da madeira (equilíbrio com o ambiente)
1 (padrão)	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$85\% < U_{amb}$, durante longos períodos	$\geq 25\%$

Tabela 3.5 – Valores de $k_{mod,2}$ segundo a NBR 7190 (1997).

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

As categorias de produtos de madeira são definidas, de acordo com a NBR 7190 (1997), quanto à classificação de isenção de defeitos em todas as peças do lote através de inspeção visual e classificação mecânica para garantir homogeneidade da rigidez das peças componentes do lote. Se ambas as classificações forem aplicadas, o produto é de 1ª categoria; caso contrário o produto é de 2ª categoria. A Tabela 3.6 apresenta os valores de $k_{mod,3}$ segundo a NBR 7190.

Tabela 3.6 - Valores de $k_{mod,3}$ segundo a NBR 7190 (1997).

Produto de madeira	Tipo de madeira	Categoria	$k_{mod,3}$
Serrada	Dicotiledôneas	1ª categoria	1,0
		2ª categoria	0,8
	Coníferas	1ª ou 2ª	0,8
Laminada e colada	Qualquer	1ª ou 2ª – peça curva	$1,0 - 2000 \left(\frac{r}{t}\right)^2$
		1ª ou 2ª – peça reta	1,0

onde t é a espessura da lâmina da madeira e r o raio de curvatura mínimo.

Neste trabalho adotou-se que os elementos estruturais são de madeira laminada colada sob carregamento de longa duração ($k_{mod,1} = 0,7$). Considerou-se que o edifício será construído em localidade com umidade média de 80%, sendo classificado, portanto, como classe de umidade 3 ($k_{mod,2} = 0,8$). Tendo em vista que a madeira laminada e colada é um elemento estrutural mais industrializado, considerou-se que as peças retas de madeira são classificadas como madeira de 1ª categoria ($k_{mod,3} = 1,0$). Aplicando-se a equação (3.1.4) obtém-se o coeficiente de modificação $k_{mod} = 0,56$.

Definidos os coeficientes acima, as resistências de dimensionamento são dadas pela equação (3.1.5).

$$f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_w} \quad (3.1.5)$$

Os valores de dimensionamento para as propriedades da madeira *Pinus taeda* são mostrados na Tabela 3.7:

Tabela 3.7 - Valores de dimensionamento para as propriedades da *Pinus taeda*.

Nome comum	Nome científico	$\rho_{apar(12\%)}$ (kg/m ³)	f_{cd} (MPa)	f_{td} (MPa)	f_{tnd} (MPa)	f_{vd} (MPa)	$E_{c.ef}$ (MPa)
Pinus taeda	<i>Pinus taeda L.</i>	645	12,501	18,132	0,788	1,292	7.448

onde:

$\rho_{apar(12\%)}$ – massa específica aparente a 12% de umidade;

f_{cd} – resistência de dimensionamento à compressão paralela às fibras;

f_{td} – resistência de dimensionamento à tração paralela às fibras;

f_{tnd} – resistência de dimensionamento à tração normal às fibras;

f_{vd} – resistência de dimensionamento ao cisalhamento;

$E_{c.ef}$ – módulo de elasticidade efetivo à compressão paralela às fibras da madeira.

3.1.2 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS ELEMENTOS DA ESTRUTURA

As seções transversais adotadas neste trabalho foram escolhidas de modo a resistirem aos esforços na estrutura gerados a partir da combinação de carregamentos de acordo com o Estado de Limite Último, bem como o de Serviço. A Tabela 3.8 apresenta as seções utilizadas em cada elemento estrutural; os cálculos das propriedades geométricas se encontram nas Tabela 3.9 e Tabela 3.10.

Tabela 3.8 – Seções transversais dos elementos da estrutura.

Designação	Seção	Base (cm)	Altura (cm)
Vigas de piso - tipo	Retangular	7,50	25,00
Vigas de piso – tipo dupla	Retangular	15,00	25,00
Vigas de piso - cobertura	Retangular	7,50	15,00
Vigas de piso – caixa d’água	Retangular	7,50	25,00
Vigas	Quadrada	15,00	15,00
Vergas	Retangular	10,00	12,50
Montantes	Retangular	7,50	12,50
Montantes duplos	Retangular	15,00	12,50

Tabela 3.9 – Propriedades geométricas dos elementos componentes da estrutura.

Propriedade		A (cm²)	I_x (cm⁴)	I_y (cm⁴)
Vigas de piso	Tipo	187,50	9765,63	878,91
	Tipo dupla	375,00	19531,25	7031,25
	Cobertura	112,50	2109,38	527,34
	Caixa d’água	187,50	9765,63	878,91
Vigas		225,00	4218,75	4218,75
Vergas		125,00	1627,60	1041,67
Montantes		93,75	1220,70	439,45
Montantes duplos		187,50	2441,41	3515,63

Tabela 3.10 – Continuação das propriedades geométricas dos elementos componentes da estrutura.

Propriedade		i_x (cm)	i_y (cm)	d_x (cm)	d_y (cm)	W_x (cm ³)	W_y (cm ³)
Vigas de piso	Tipo	7,22	2,17	12,50	3,75	781,25	234,38
	Tipo dupla	7,22	4,33	12,50	7,50	1562,50	937,50
	Cobertura	4,33	2,17	7,50	3,75	281,25	140,63
	Caixa d'água	7,22	2,17	12,50	3,75	781,25	234,38
Vigas		4,33	4,33	7,50	7,50	562,50	562,50
Vergas		3,61	2,89	6,25	5,00	260,42	208,33
Montantes		3,61	2,17	6,25	3,75	195,31	117,19
Montantes duplos		3,61	4,33	6,25	7,50	390,63	468,75

3.2 GEOMETRIAS DO MODELO

O modelo adotado para o edifício em questão se constitui de pórticos, formados pela associação dos painéis estruturais. Os componentes dos painéis possuem seções de acordo com a Tabela 3.8, e todas as ligações entre eles foram consideradas rotuladas. Além disso, os apoios da estrutura foram considerados como de segundo gênero.

A Figura 3.1 ilustra a disposição estrutural dos pórticos, bem como a identificação dos eixos estudados e a orientação das vigas de piso em um pavimento tipo. A orientação das vigas de piso nos degraus da escada e nos patamares entre pavimentos seguem o mesmo direcionamento das vigas do hall. O pavimento da cobertura segue o mesmo padrão estabelecido nos pavimentos tipo, com as vigas da área superior aos apartamentos em uma direção e as vigas da área da caixa d'água em uma direção perpendicular às outras vigas.

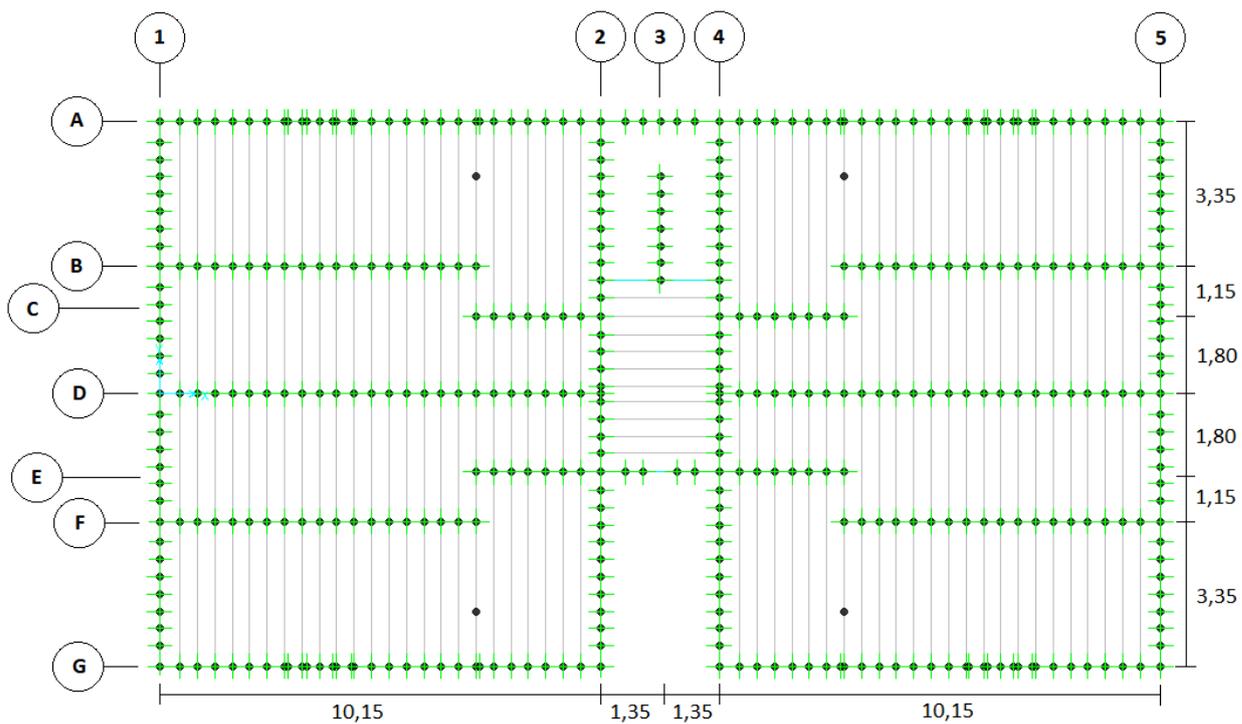


Figura 3.1 – Disposição dos eixos estruturais.

A Figura 3.2 à Figura 3.12 apresentam os pórticos a serem analisados no modelo estrutural nas duas direções; a Figura 3.13 mostra um esquema tridimensional da estrutura modelada.

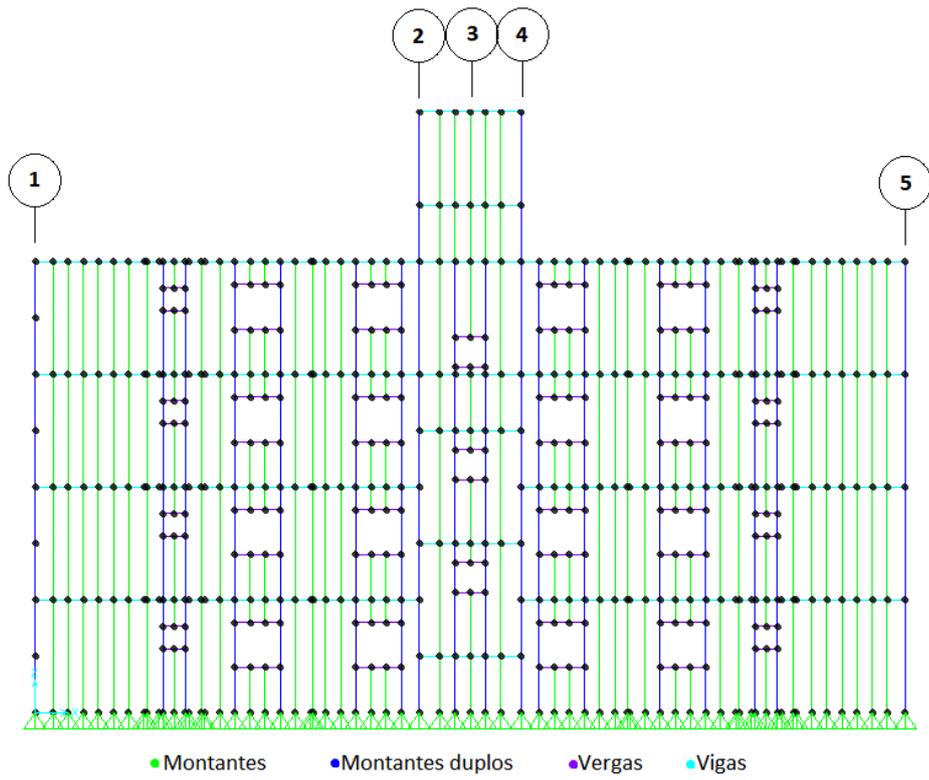


Figura 3.2 – Pórtico no eixo A.

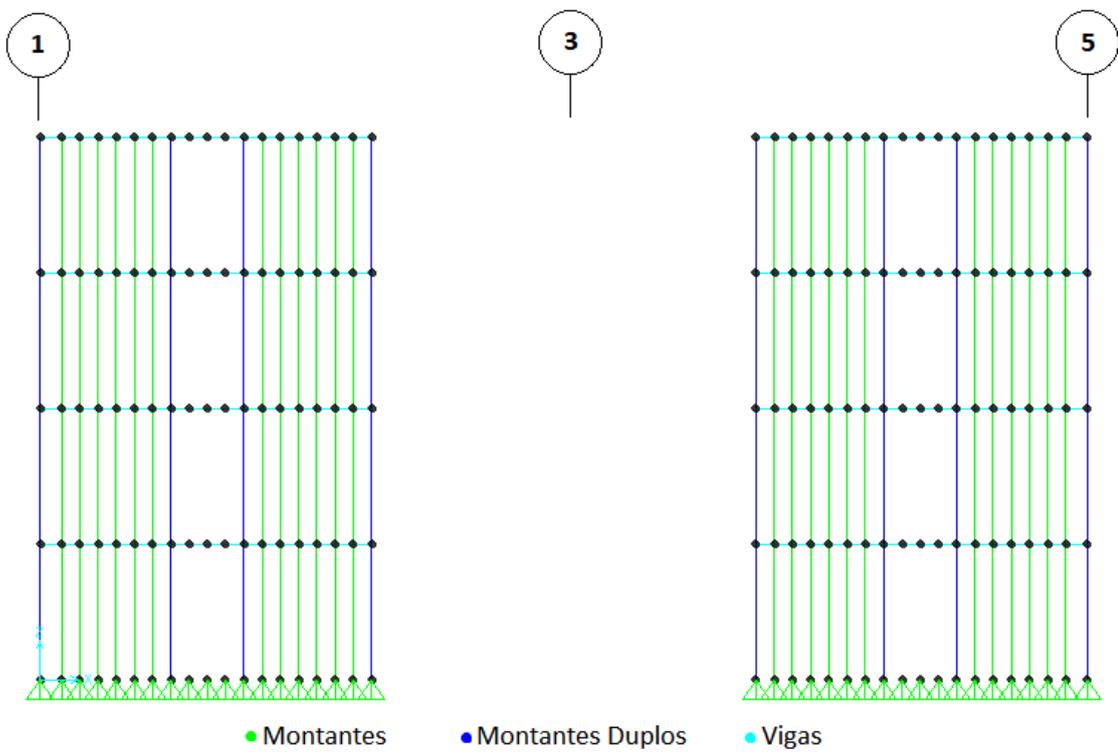


Figura 3.3 – Pórtico no eixo B.

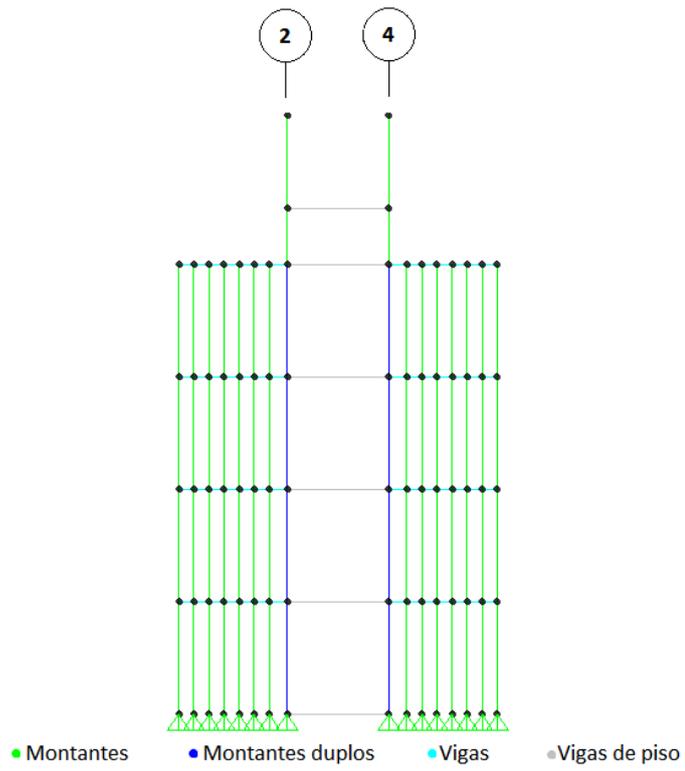


Figura 3.4 – Pórtico no eixo C.

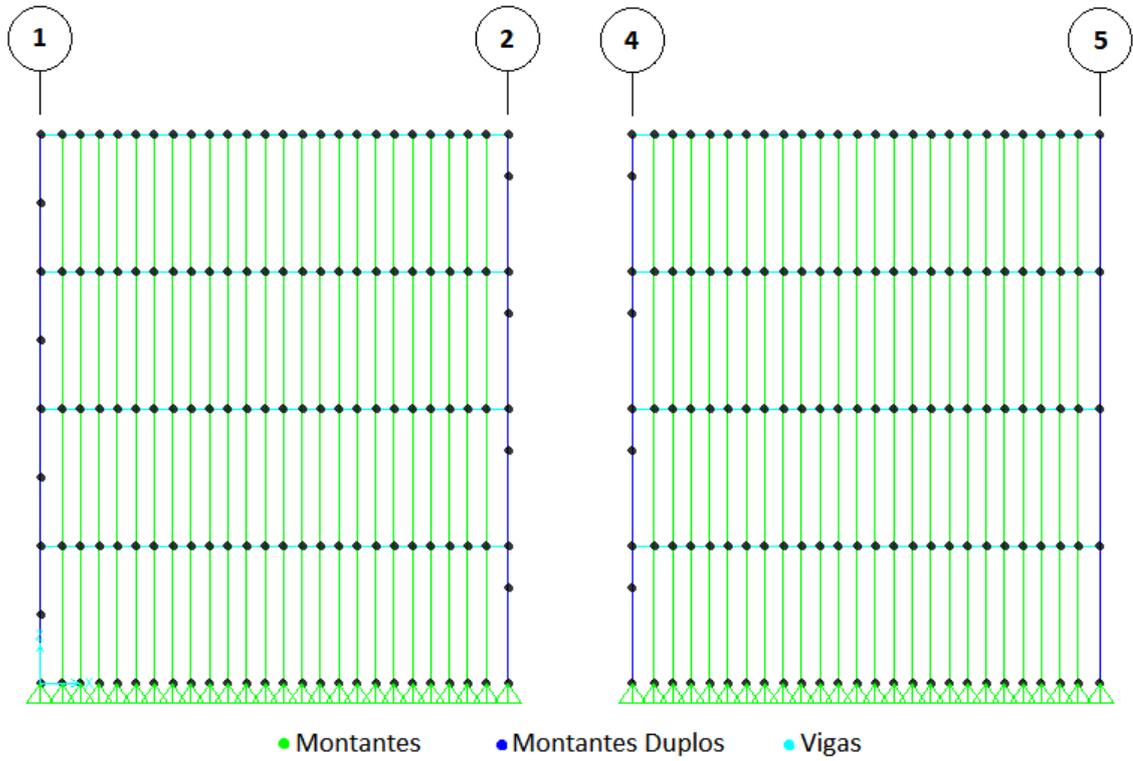


Figura 3.5 – Pórtico no eixo D.

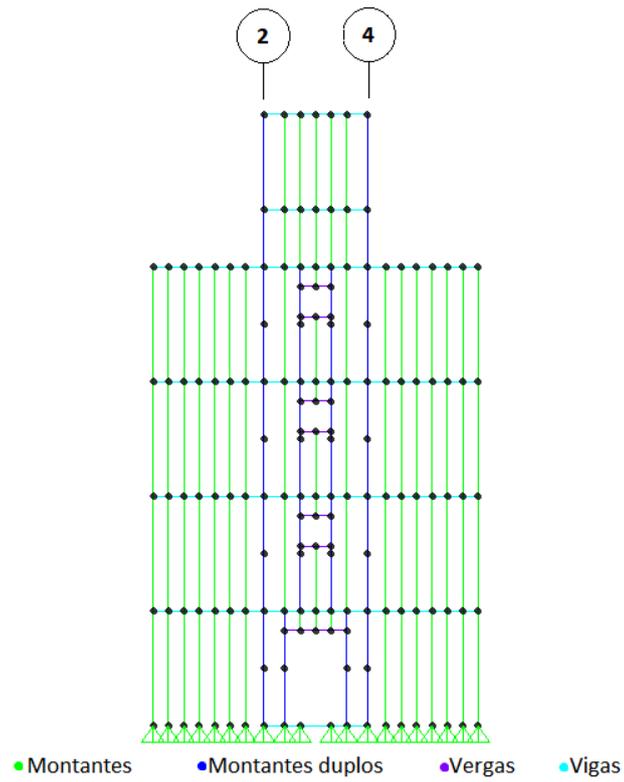


Figura 3.6 – Pórtico no eixo E.

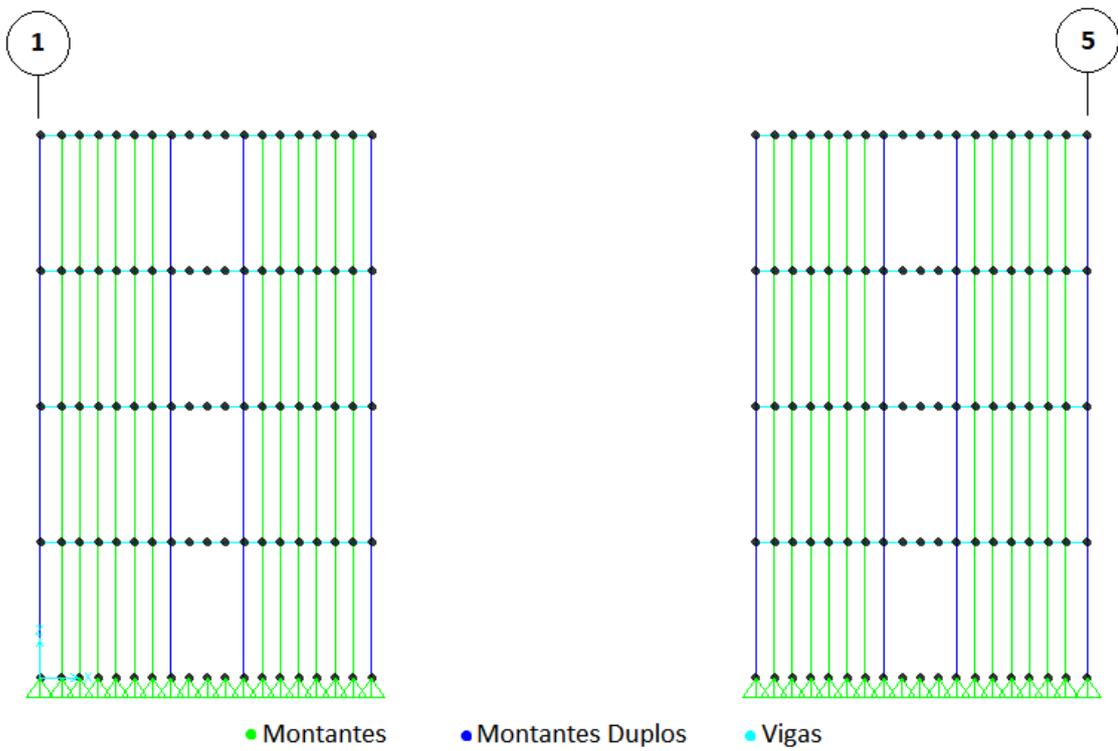


Figura 3.7 – Pórtico no eixo F.

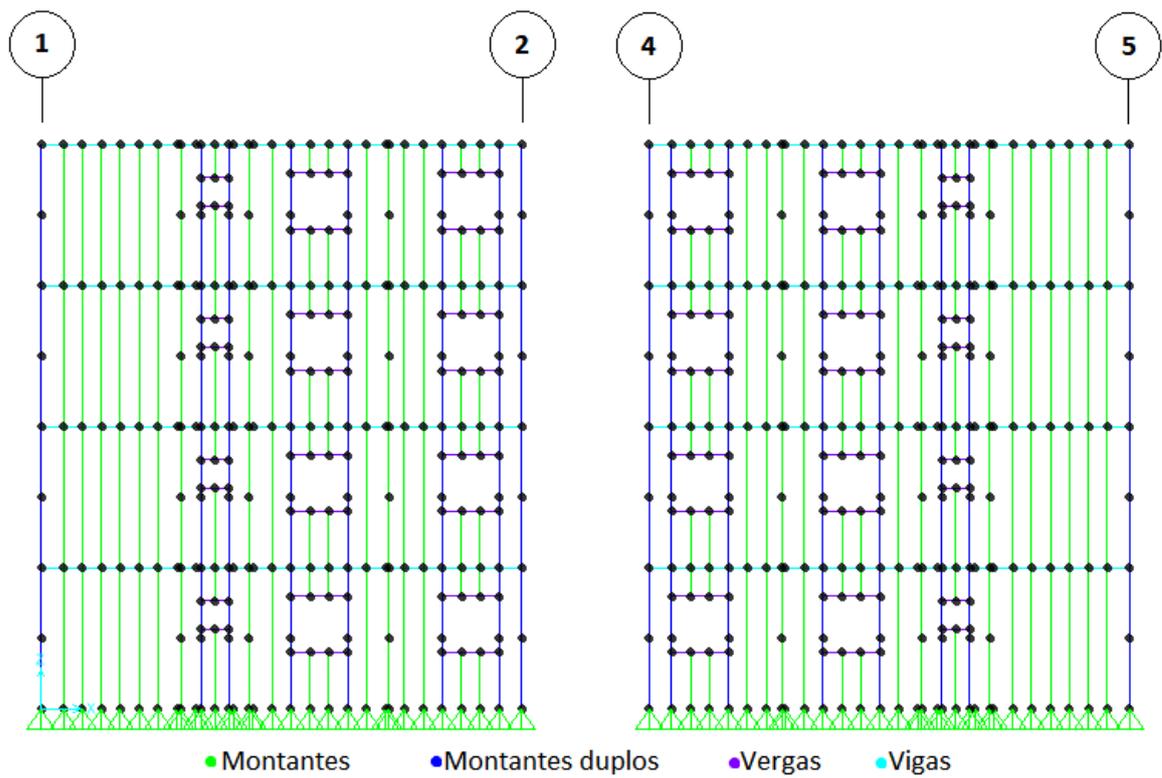


Figura 3.8 – Pórtico no eixo G.

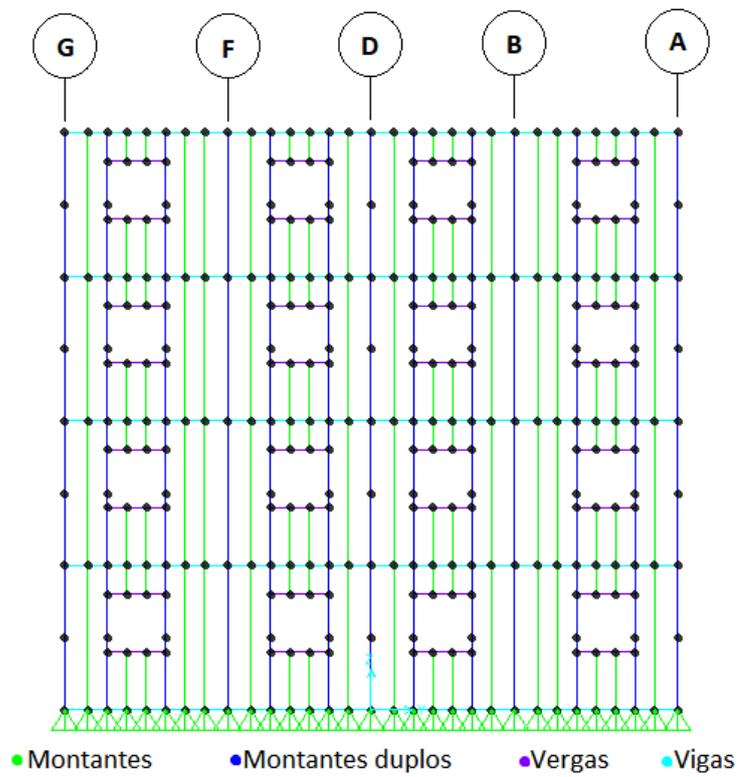


Figura 3.9 – Pórticos nos eixos 1 e 5.

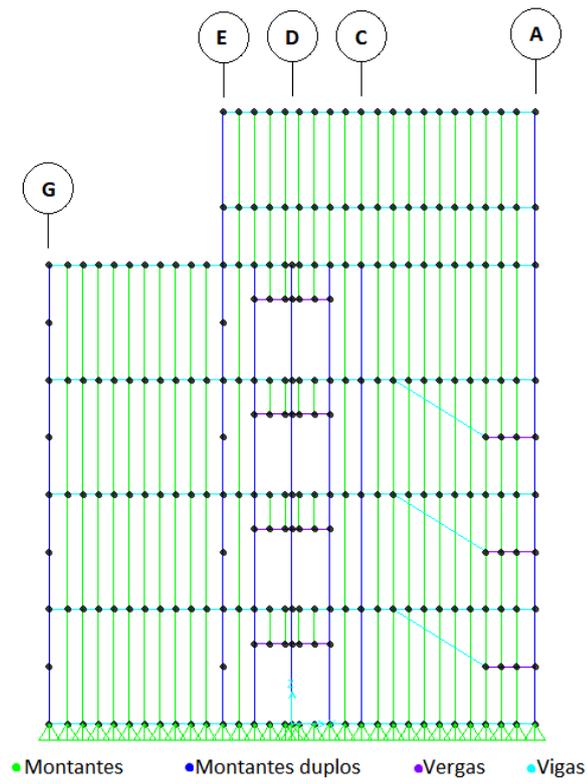


Figura 3.10 – Pórtico no eixo 2.

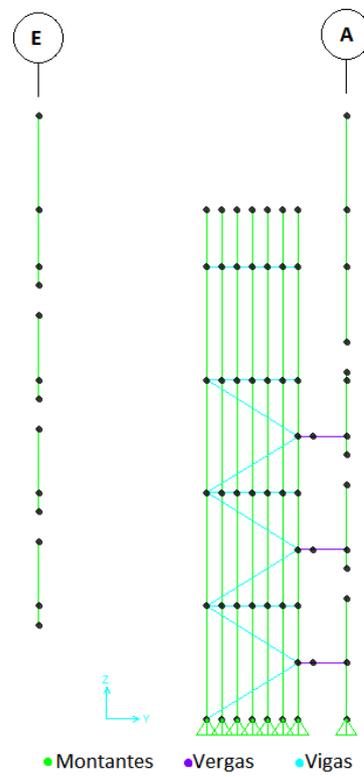


Figura 3.11 – Pórtico no eixo 3.

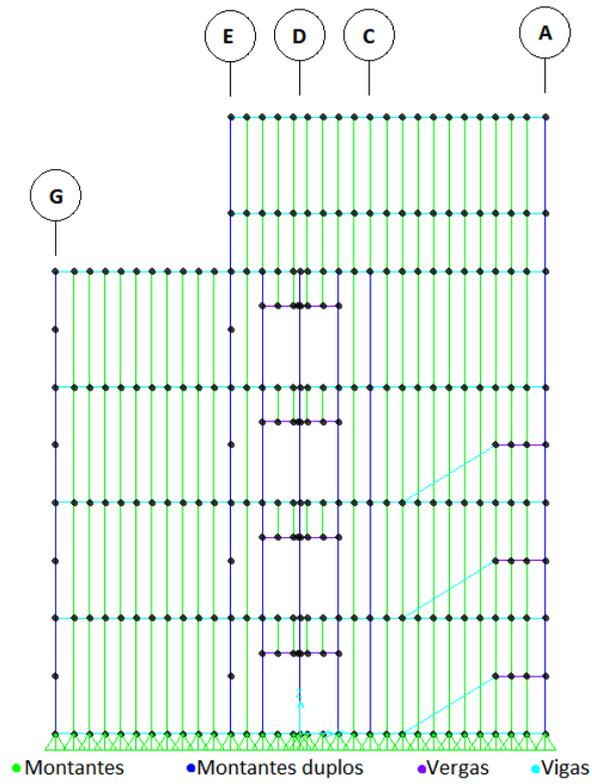


Figura 3.12 – Pórtico no eixo 4.

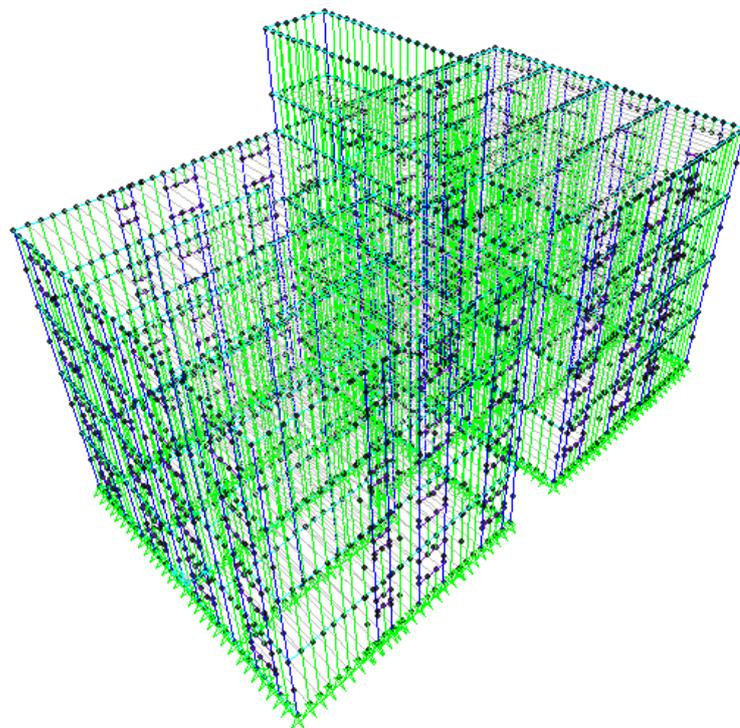


Figura 3.13 – Estrutura tridimensional.

3.3 CARREGAMENTOS

Para a análise estrutural do modelo elaborado, adotou-se valores de carregamento devido a ações permanentes e variáveis segundo a norma NBR 6120 (1980) – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.

3.3.1 AÇÕES PERMANENTES

As ações permanentes são aquelas geradas por elementos estruturais ou construtivos e que estão intrinsecamente ligadas ao edifício. Elas são os pesos próprios de cada elemento, paredes, piso, telhado, caixa d'água e escadas. As descrições de cada uma dessas cargas são apresentadas a seguir.

3.3.1.1 Peso Próprio das Paredes

As paredes são divididas em dois grupos: as estruturais e as não estruturais. As paredes estruturais descarregam diretamente seu peso próprio, bem como as cargas transmitidas a elas pelo pavimento imediatamente superior, na viga principal e no painel estrutural do pavimento imediatamente inferior. Já as paredes não estruturais têm suas cargas consideradas como cargas uniformemente distribuídas nas vigas de piso abaixo delas. Nos casos em que as paredes seguem a orientação das vigas, o peso próprio é distribuído somente para a viga imediatamente abaixo do painel; já nos casos em que a orientação das paredes é ortogonal às vigas de piso, a carga é uniformemente distribuída na laje formada somente pelas vigas que estão abaixo do painel.

As cargas de peso próprio das paredes não consideram os vãos de janelas e portas, e irão variar de acordo com o ambiente em que cada uma se encontra, já que há um tipo de fechamento específico para cada caso. A Figura 3.14 apresenta os diferentes tipos de paredes e a Tabela 3.11 à Tabela 3.16, as diferentes cargas e suas composições.

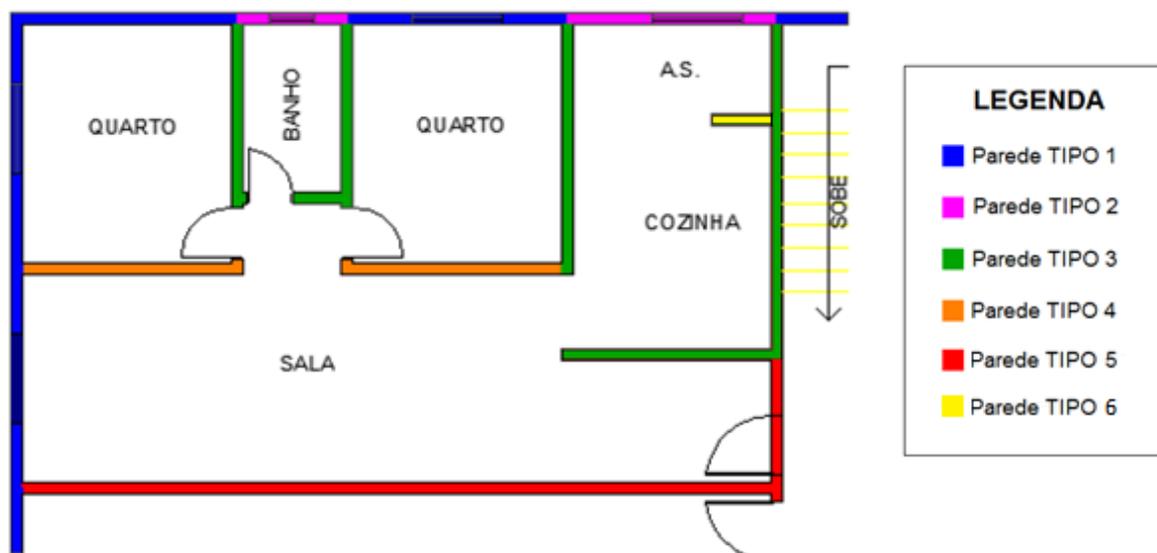


Figura 3.14 – Tipos de paredes diferenciados por ambiente.

Tabela 3.11 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 1.

Material	Espessura (mm)	Densidade (kg/m ³)	Massa (kN/m ²)
Placa OSB	11,10	650,00	0,07
Gesso acartonado	15,00	700,00	0,11
Placa cimentícia	8,00	1700,00	0,14
Lã de vidro	100,00	10,00	0,01
Montantes	---	---	0,23
Total	---	---	0,56

Tabela 3.12 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 2.

Material	Espessura (mm)	Densidade (kg/m ³)	Massa (kN/m ²)
Placa OSB	11,10	650,00	0,07
Placa cimentícia	8,00	1700,00	0,14
Placa cimentícia	8,00	1700,00	0,14
Lã de vidro	100,0	10,00	0,01
Revestimento	---	---	1,00
Montantes	---	---	0,23
Total	---	---	1,59

Tabela 3.13 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 3.

Material	Espessura (mm)	Densidade (kg/m³)	Massa (kN/m²)
Placa cimentícia	8,00	1700,00	0,14
Gesso ST	12,50	700,00	0,09
Lã de vidro	70,00	10,00	0,01
Revestimento	---	---	1,00
Montantes	---	---	0,23
Total	---	---	1,47

Tabela 3.14 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 4.

Material	Espessura (mm)	Densidade (kg/m³)	Massa (kN/m²)
Gesso ST	12,50	700,00	0,09
Gesso ST	12,50	700,00	0,09
Lã de vidro	100,00	10,00	0,01
Montantes	---	---	0,23
Total	---	---	0,42

Tabela 3.15 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 5.

Material	Espessura (mm)	Densidade (kg/m³)	Massa (kN/m²)
Gesso ST	12,50	700,00	0,09
Gesso ST	12,50	700,00	0,09
Gesso ST	12,50	700,00	0,09
Gesso ST	12,50	700,00	0,09
Lã de vidro	100,00	10,00	0,01
Montantes	---	---	0,23
Total	---	---	0,59

Tabela 3.16 – Cálculo de carga de peso próprio da parede TIPO 6.

Material	Espessura (mm)	Densidade (kg/m ³)	Massa (kN/m ²)
Placa cimentícia	8,00	1700,00	0,14
Placa cimentícia	8,00	1700,00	0,14
Revestimento	---	---	1,00
Revestimento	---	---	1,00
Lã de vidro	100,00	10,00	0,01
Montantes	---	---	0,23
Total	---	---	2,51

Os catálogos dos materiais adotados constam no Anexo A.

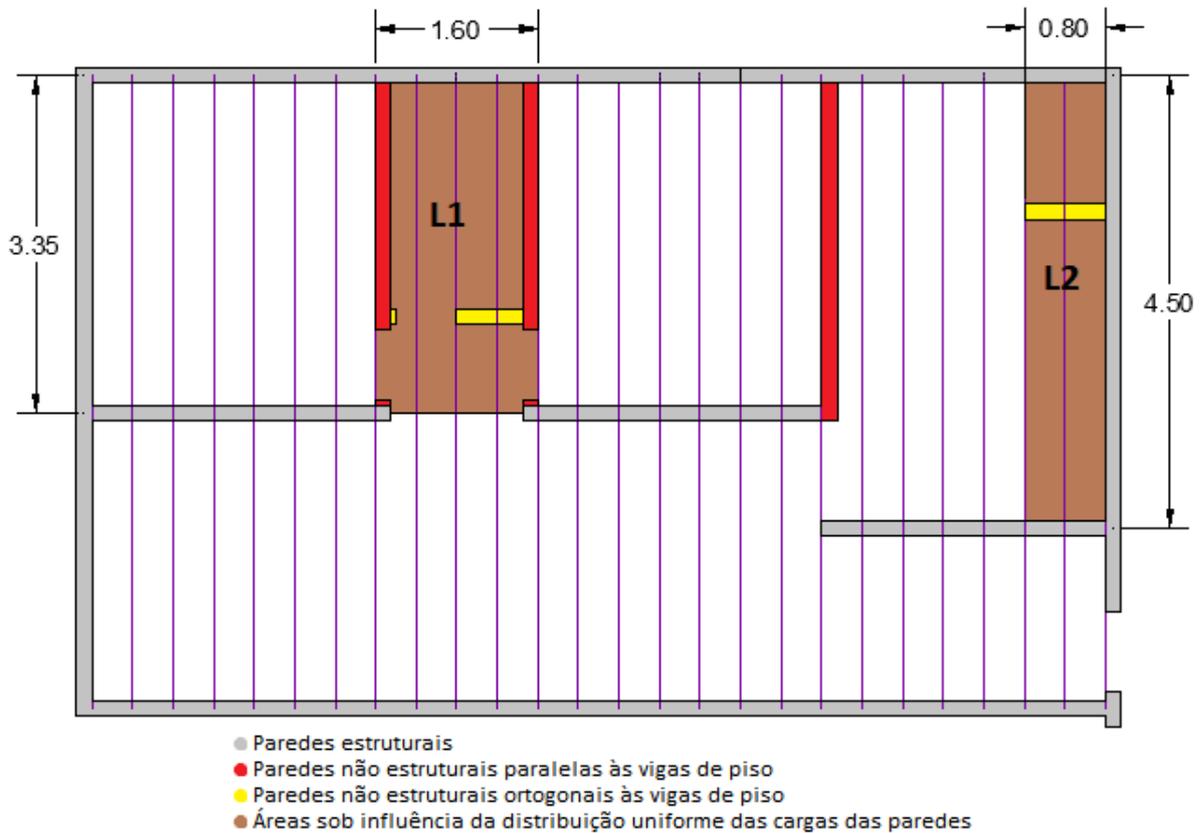


Figura 3.15 – Paredes distribuídas sobre as lajes.

A Figura 3.15 ilustra as vigas de piso, os diferentes tipos de paredes e as lajes que sofrem influência da distribuição do peso das paredes ortogonais às vigas de piso. Já a Tabela 3.17 apresenta os valores das cargas devido ao peso próprio das paredes distribuídas nas lajes do apartamento.

Tabela 3.17 – Cargas de peso próprio das paredes distribuídas sobre as lajes.

Laje	Parede	Área das paredes (m ²)	Carga das Paredes (kN)	Área da laje (m ²)	Carga distribuída (kN/m ²)
L1	Tipo 3	4,80	7,03	5,36	1,31
L2	Tipo 6	2,40	6,03	3,60	1,68

A Figura 3.16 apresenta as cargas devido ao peso próprio das paredes estruturais em um pavimento tipo, e a Figura 3.17 apresenta as cargas de peso próprio das paredes não estruturais.

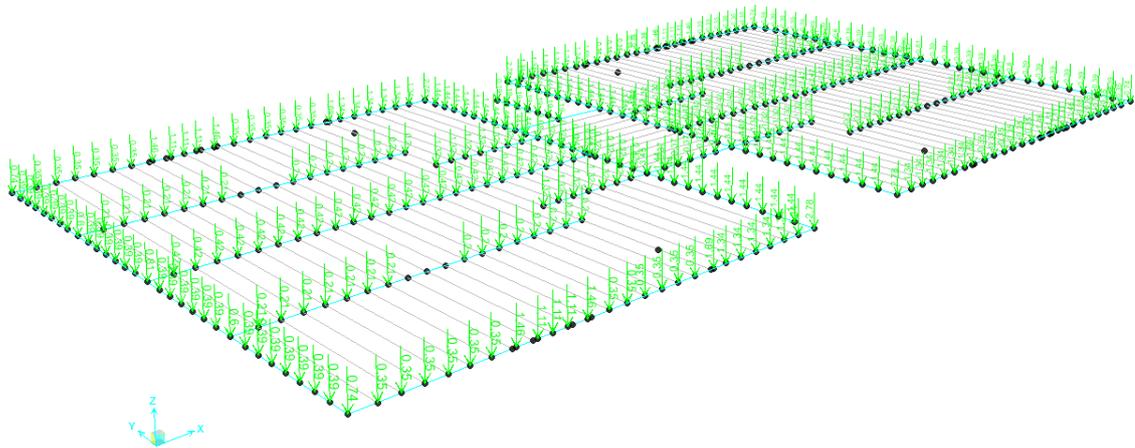


Figura 3.16 – Peso próprio das paredes estruturais no pavimento tipo.

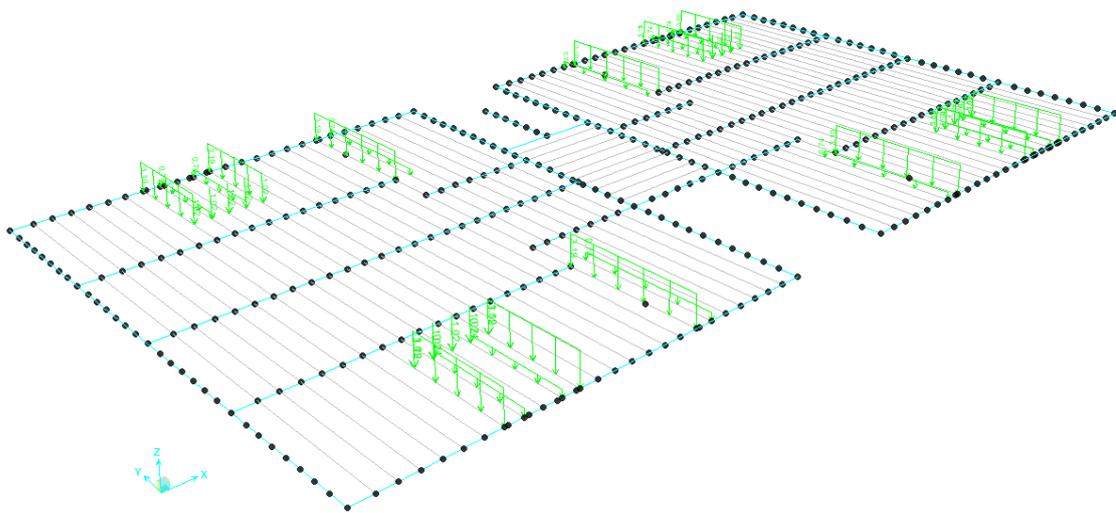


Figura 3.17 – Peso próprio das paredes não estruturais no pavimento tipo.

3.3.1.2 Peso Próprio do Piso

O peso próprio do piso foi dividido em 2 casos, o piso do pavimento tipo e o piso do pavimento da cobertura, que também sustenta a estrutura do telhado.

A carga do peso próprio dos pisos tipo leva em consideração os componentes do sistema de lajes descrito no item 2.2.2. e o forro do pavimento inferior. Essa carga foi aplicada em todo o pavimento, tanto dentro dos apartamentos, como no hall, escadas e patamares entre pavimentos.

A Tabela 3.18 mostra a composição do peso próprio do piso tipo. A Figura 3.18 e Figura 3.19 mostram as cargas de peso próprio aplicadas nas vigas de piso no interior do apartamento e em todo o pavimento tipo, respectivamente.

Tabela 3.18 – Cargas que compõem o peso próprio do piso do pavimento tipo.

Material	Piso Pav. Tipo (kN/m²)
OSB + Placa cimentícia	0,23
Lã de vidro	0,01
Revestimento	1,00
Forro	0,08
Total	1,32

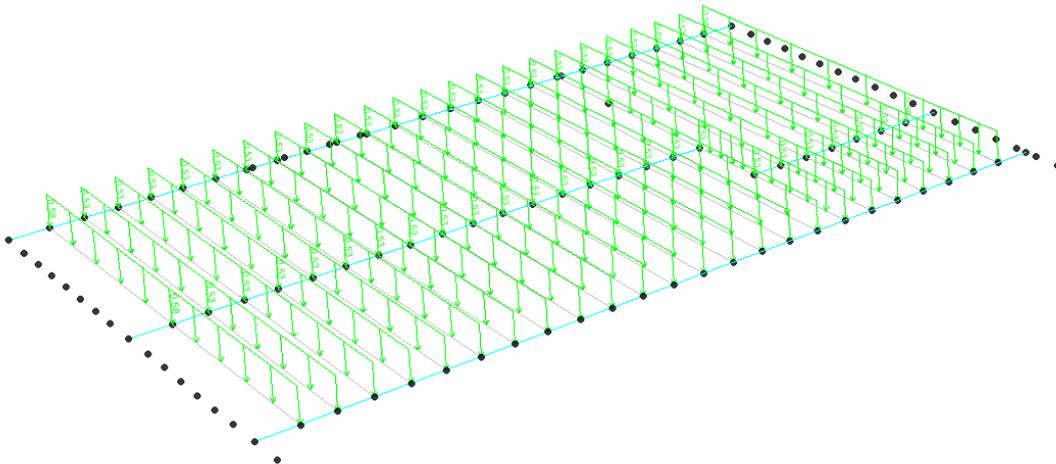


Figura 3.18 – Peso próprio do piso no interior dos apartamentos.

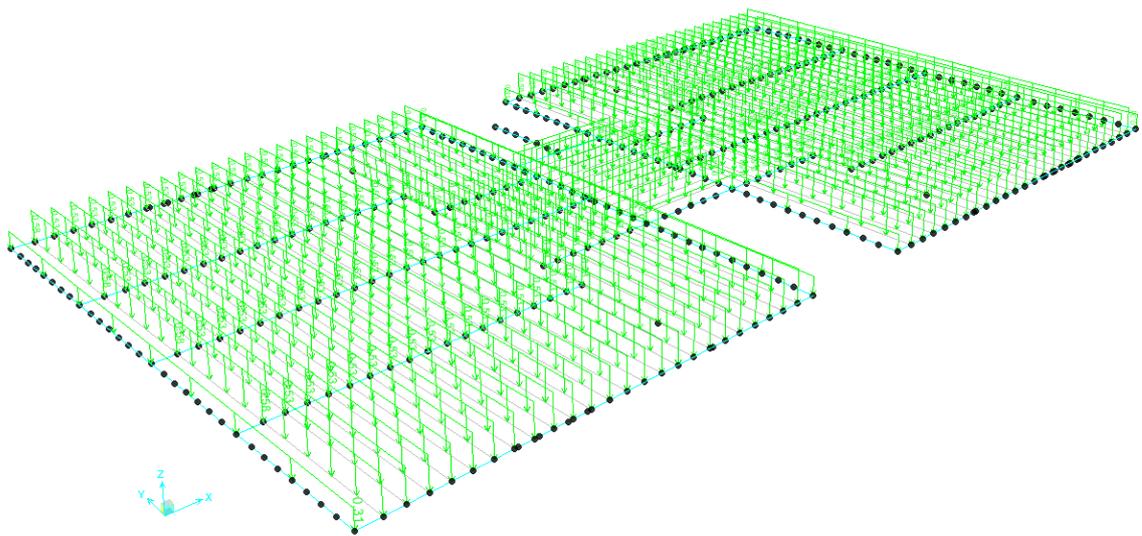


Figura 3.19 – Peso próprio do piso no pavimento tipo.

3.3.1.3 Peso Próprio da Escada

As cargas de peso próprio das escadas foram consideradas com os mesmos componentes do peso próprio do piso do pavimento tipo, apresentado na Tabela 3.18. Estas cargas foram aplicadas nas vigas de piso e nas vigas inclinadas nos lances das escadas, respectivamente, conforme a Figura 3.20.

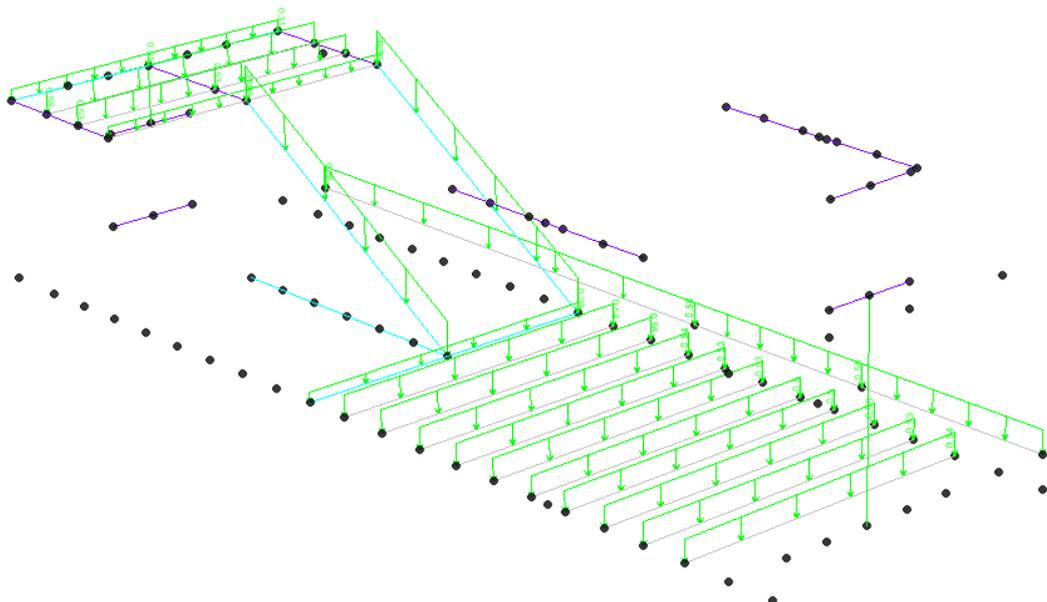


Figura 3.20 – Peso próprio do piso no hall e nas escadas.

3.3.1.4 Peso Próprio do Telhado

A estrutura do telhado foi considerada como uma carga uniformemente distribuída e aplicada nas vigas de piso da cobertura. A carga devido ao peso próprio do telhado corresponde ao somatório dos pesos das tesouras, do forro e das telhas, e foi considerada com o valor de $0,30 \text{ kN/m}^2$, Manual de Construção em Aço do Centro Brasileiro da Construção em Aço (2011). Somados ao peso próprio do telhado, há o peso próprio de alguns componentes do piso da Tabela 3.18.

A Tabela 3.19 explicita as cargas de peso próprio do telhado e do piso da cobertura. A Figura 3.21 apresenta as cargas do telhado aplicadas sobre as vigas de piso da cobertura.

Tabela 3.19 – Cargas aplicadas nas vigas de piso da cobertura.

Material	Piso Cobertura (kN/m²)
OSB + Placa cimentícia	0,23
Lã de vidro	0,01
Telha+Tesouras	0,30
Forro	0,08
Total	0,62

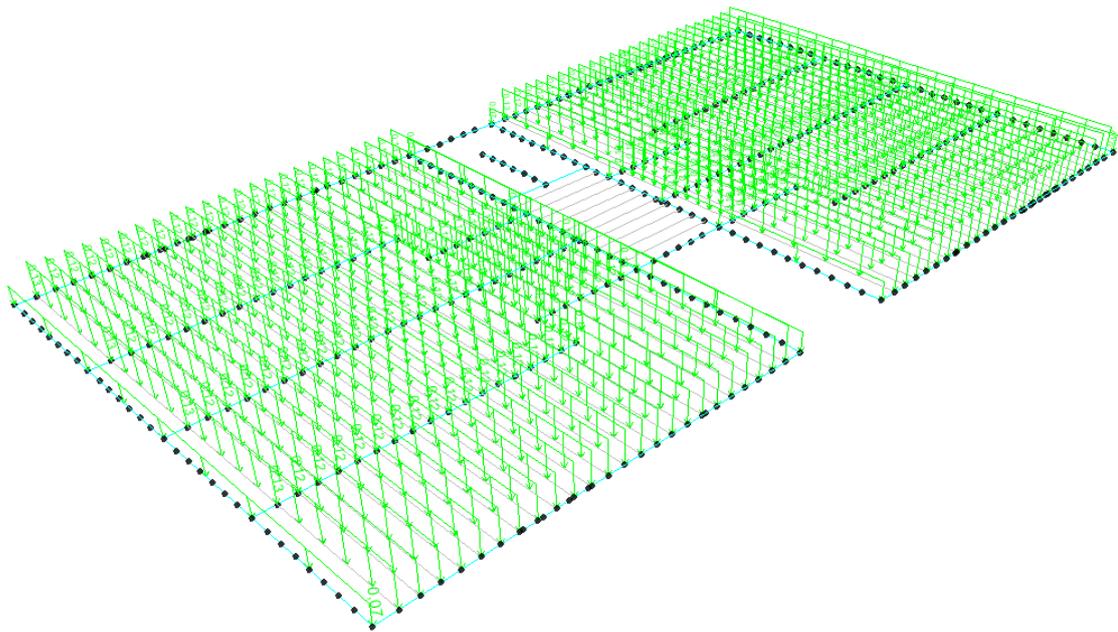


Figura 3.21 – Peso próprio do telhado nas vigas de piso da cobertura.

3.3.1.5 Peso Próprio da Caixa D'água

Primeiramente, deve-se dimensionar o volume do reservatório que atenda adequadamente ao edifício estudado. Este cálculo leva em consideração o número de pessoas a ser atendido e o consumo médio diário individual de acordo com a seguinte expressão:

$$C_d = N * C \quad (3.3.1)$$

onde N é a população abastecida e C o consumo médio individual, sendo tais parâmetros estimados por tabelas.

Neste trabalho adotou-se que cada quarto é ocupado por 2 pessoas, resultando numa população $N = 64$ pessoas (sabendo que cada apartamento possui 2 quartos, cada pavimento possui 4 apartamentos e a edificação possui 4 pavimentos). O consumo médio diário foi definido em $C = 200$ litros/pessoa/dia. Sendo assim, o consumo diário do prédio, de acordo com a expressão (3.3.1), será de 12.800 L/dia.

A NBR 5626 (1998) – Instalação predial de água fria orienta que o reservatório superior tenha capacidade de armazenamento de 2/5 do consumo diário do edifício, no presente caso, 5.120 litros de água. Desta forma, adotou-se o uso de duas caixas d'água de 5.000 para abastecer ao prédio satisfazendo a orientação da norma.

A carga de peso próprio da caixa d'água foi calculada multiplicando o peso específico da água pelo volume do líquido para o pior cenário, onde os dois reservatórios estão completamente cheios. Após o cálculo do peso, este foi distribuído uniformemente na laje de apoio. A Tabela 3.20 detalha os cálculos da distribuição da carga.

Tabela 3.20 – Cálculo da carga da caixa d'água.

Peso da caixa d'água			Carga distribuída		
Volume (m ³)	$\gamma_{\text{água}}$ (kN/m ³)	Peso (kN)	Dimensão 1 (m)	Dimensão 2 (m)	Carga na laje (kN/m ²)
10,00	10,00	100,00	2,75	4,80	7,58

A carga aplicada nas vigas é o somatório da carga da caixa d'água mais o peso próprio do piso. A Tabela 3.21 detalha a composição da carga na viga de piso do pavimento da caixa d'água.

Tabela 3.21 – Cargas aplicadas nas vigas de piso da caixa d'água.

Material	Piso Cx. D'Água (kN/m ²)
OSB + Placa cimentícia	0,23
Lã de vidro	0,01
Revestimento	1,00
Forro	0,08
Peso próprio da caixa d'água	7,58
Total	8,90

A Figura 3.22 mostra a carga de peso próprio do piso aplicada nas vigas de piso e a Figura 3.23 ilustra a carga de peso próprio da caixa d'água.

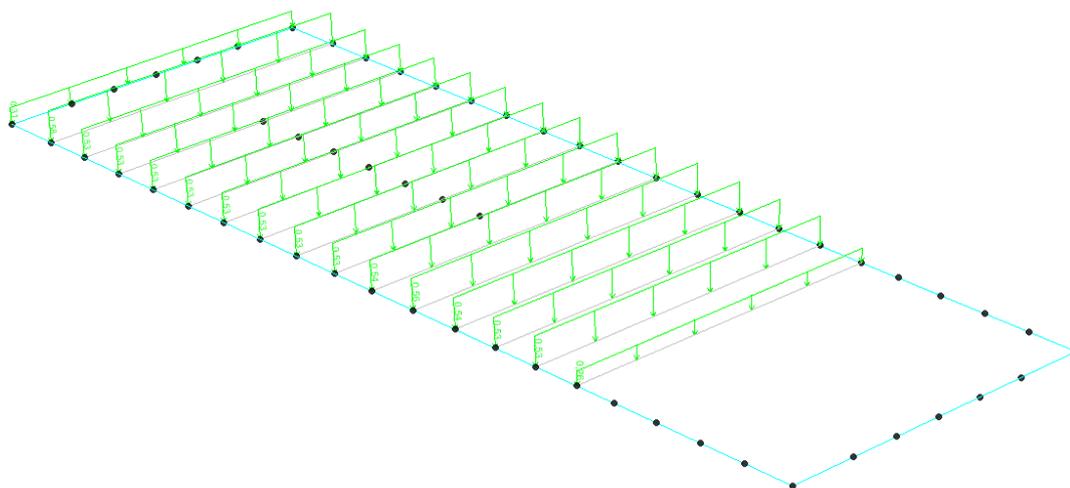


Figura 3.22 – Peso próprio do piso nas vigas de piso da caixa d'água.

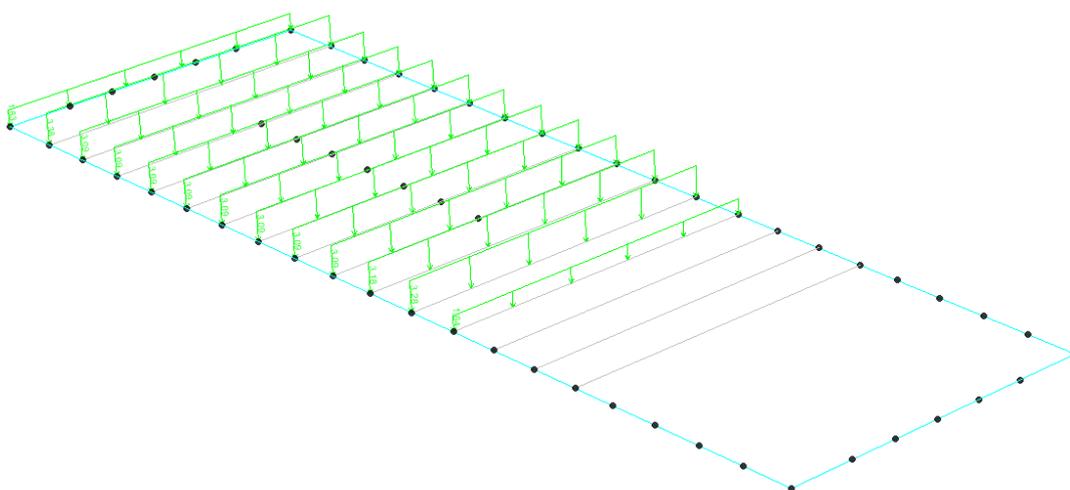


Figura 3.23 – Peso próprio da caixa d'água.

3.3.2 AÇÕES VARIÁVEIS

3.3.2.1 Sobrecarga de Utilização

As sobrecargas de utilização são referentes ao uso e ocupação de cada ambiente da edificação e são fornecidas pela NBR 6120 (1980), conforme mostra a Tabela 3.22.

Tabela 3.22 – Sobrecarga de utilização.

Ambiente	Sobrecarga Acidental (kN/m ²)
Quarto, sala, banheiro e cozinha	1,50
Área de serviço	2,00
Forro	0,50
Hall e escada	3,00
Terraço	3,00

A Figura 3.24 à Figura 3.27 apresenta as sobrecargas aplicadas nas vigas de piso dos respectivos locais.

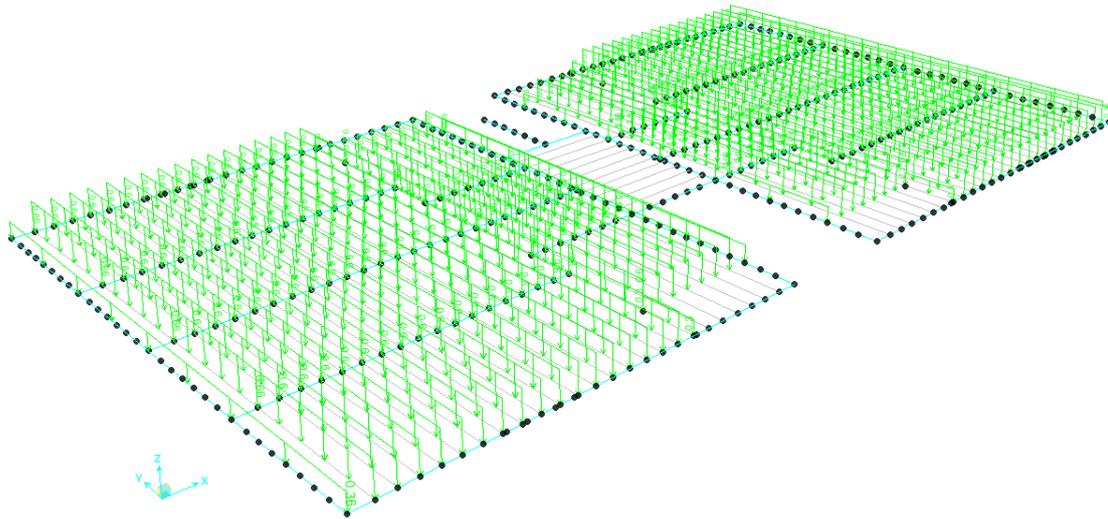


Figura 3.24 – Sobrecarga de utilização do quarto, sala, cozinha e banheiro

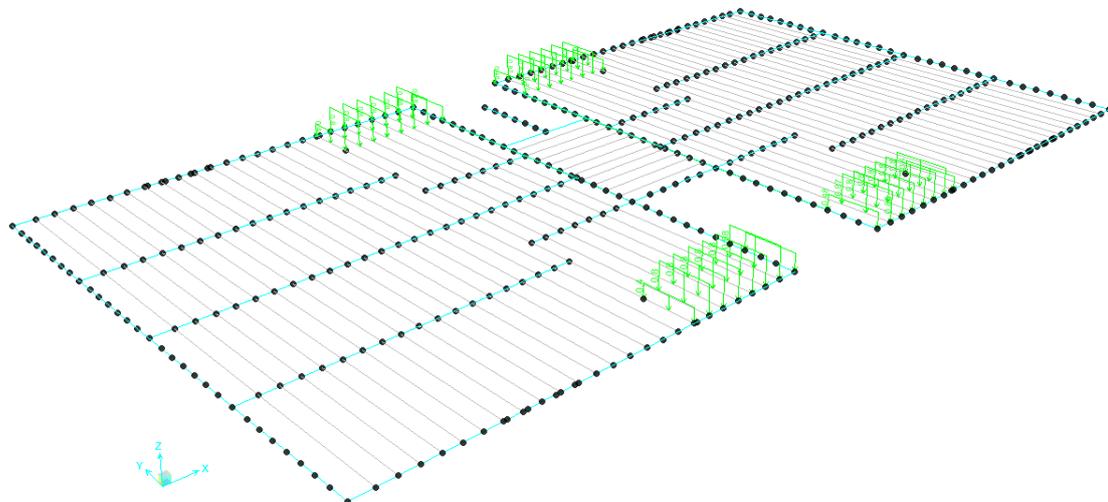


Figura 3.25 – Sobrecarga de utilização da área de serviço.

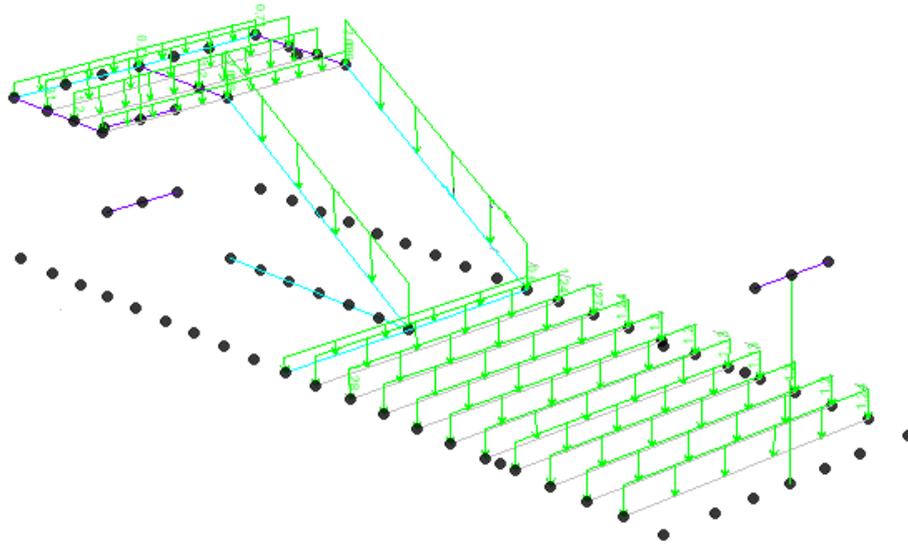


Figura 3.26 – Sobrecarga de utilização do hall e escadas.

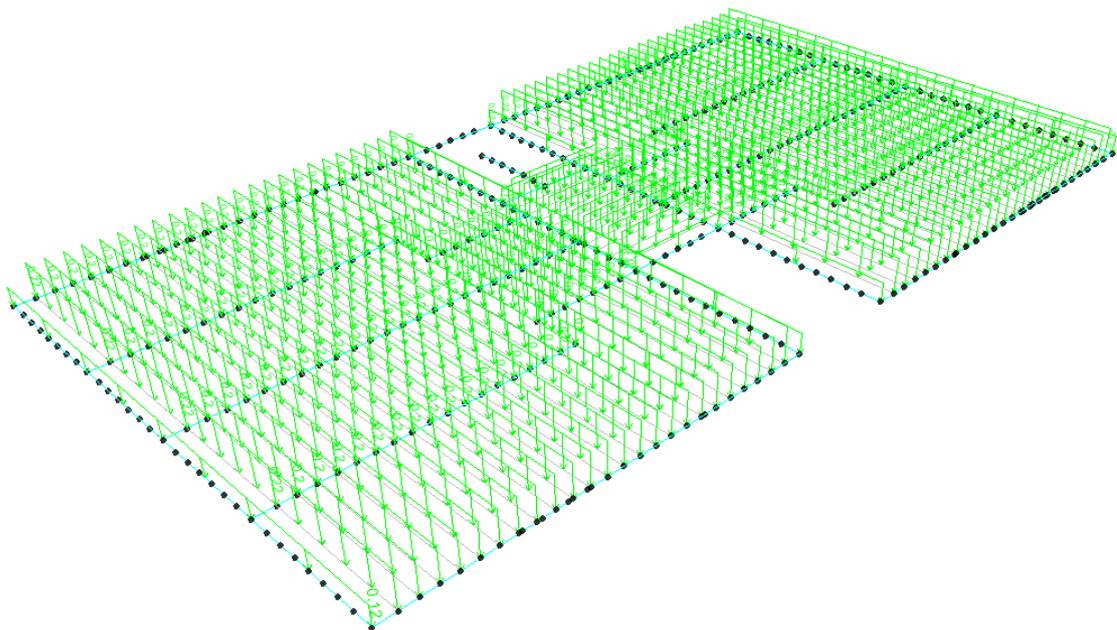


Figura 3.27 – Sobrecarga de utilização do forro.

3.3.3 COMBINAÇÕES DE CARREGAMENTOS

Segundo a NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira (1988), a estrutura deve satisfazer a dois estados limite: o último (E.L.U.), na qual a sua ocorrência leva à paralisação total ou parcial do uso da edificação; e o de serviço (E.L.S.), na qual a sua ocorrência,

repetição ou duração geram efeitos estruturais que desrespeitam as condições normais de uso da estrutura ou evidenciam comprometimento da durabilidade da construção.

Para a verificação do E.L.U., neste trabalho, foi utilizada a combinação última normal com ações permanentes de grande variabilidade. Já para a verificação do E.L.S. foi utilizado a combinação de longa duração.

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right] \quad (3.3.2)$$

onde:

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

$F_{Q1,k}$ – valor característico da ação variável considerada como ação principal;

$F_{Qj,k}$ – valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal (como neste trabalho só há uma ação variável, este fator assume o valor 0, anulando o último termo da equação);

γ_{Gi} – coeficiente de ponderação para ações permanentes (1,40 para peso próprio);

γ_Q – coeficiente de ponderação para ações variáveis (1,40 para ações variáveis em geral);

ψ_{0j} – fator de combinação para ações variáveis.

As combinações de serviço de longa duração são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad (3.3.3)$$

onde ψ_{2j} é o fator de redução para ações variáveis (0,20 para cargas acidentais de edifícios onde não há predominância de peso de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas).

A Figura 3.28 apresenta um resumo com todas as combinações analisadas, com os respectivos coeficientes de ponderação adotados para todas as ações.

Carregamentos Combinados			
Carregamentos Básicos		Estado Limite Último	Estado Limite de Serviço
		<i>Sobrecarga como ação variável principal</i>	
		1	2
Peso Próprio	PESO PRÓPRIO	1,400	1,000
	PISO	1,400	1,000
	PAREDES ESTRUTURAIS	1,400	1,000
	PAREDES NÃO ESTRUTURAIS	1,400	1,000
	TELHADO	1,400	1,000
	CAIXA D'ÁGUA	1,400	1,000
Sobrecarga	QUARTO, SALA, COZINHA E BANHEIRO	1,400	0,200
	ÁREA DE SERVIÇO	1,400	0,200
	FORRO	1,400	0,200
	HALL E ESCADA	1,400	0,200

Figura 3.28 – Combinações de carga para o E.L.U e E.L.S.

4. DIMENSIONAMENTO

Neste capítulo são apresentados os cálculos de dimensionamento de cada peça estrutural, bem como uma breve explicação teórica sobre todas as avaliações de cada peça. Todos os cálculos foram realizados de acordo com a NBR 7190 (1988).

As peças estruturais em um sistema de madeira podem estar sujeitas a diversos tipos de esforços, por exemplo, os pilares podem estar sujeitos à compressão simples ou à flexo-compressão (dependerá da geometria da peça; da intensidade da carga aplicada; do local onde a carga é aplicada, com ou sem excentricidade; e se há presença de momentos externos) e podem sofrer o processo de flambagem. Já as vigas submetidas à flexão apresentam tensões de tração e compressão na direção paralela às fibras, podendo também ocorrer flambagem lateral com torção.

A estrutura foi submetida a cargas permanentes descritas em 3.3.1 e às cargas variáveis conforme 3.3.2, combinadas de acordo com 3.3.3. O dimensionamento seguiu-se de modo a satisfazer a segurança da estrutura segundo o E.L.U. e o E.L.S.

A verificação do limite das tensões se dá por uma análise através da teoria clássica, embora o material não siga a lei linear das tensões. Apesar da análise não linear gerar resultados mais fidedignos, a análise linear elástica, onde se admite o comportamento linear

elástico da madeira, é mais comumente utilizada devido à sua simplicidade e apresenta resultados satisfatórios.

A verificação de cada elemento foi feita principalmente para o caso crítico e para os casos que mais se aproximam do crítico, quando o intervalo entre eles for muito amplo.

4.1 ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

Os tópicos abaixo apresentam as formulações para a verificação dos Estados Limites Últimos.

4.1.1 SOLICITAÇÕES NORMAIS

Quando as peças estão comprimidas ou tracionadas axialmente, a condição de segurança é dada pela seguinte equação (4.1.1).

$$\sigma_{nd} \leq f_{nd} \quad (4.1.1)$$

onde σ_{nd} é a tensão normal solicitante na peça e f_{nd} é a tensão de resistência à compressão ou à tração da madeira, de acordo com o tipo de esforço presente.

A tensão normal solicitante de dimensionamento devido ao esforço normal é calculada através da força normal solicitante de dimensionamento (N_d) e das dimensões da seção transversal da peça analisada. A equação (4.1.2) mostra a disposições destes fatores:

$$\sigma_{nd} = \frac{N_d}{b \cdot h} \quad (4.1.2)$$

Nas peças submetidas à compressão normal às fibras da madeira, a condição de segurança é verificada através da equação (4.1.3):

$$\sigma_{cnd} \leq f_{cnd} \quad (4.1.3)$$

onde σ_{cnd} é a tensão de compressão normal solicitante de dimensionamento perpendicular às fibras da madeira, equação (4.1.4), atuando geralmente nos apoios ou locais de introdução de cargas concentradas na peça:

$$\sigma_{cnd} = \frac{R_d}{b \cdot c} \quad (4.1.4)$$

onde, R_d é a reação de apoio ou a carga concentrada, e b e c são as dimensões da área de contato da peça com o apoio ou com o elemento transmissor da carga concentrada.

A resistência da madeira à tração normal às fibras, para fins de projeto estrutural é considerada nula.

A equação (4.1.5) expressa a condição segurança que peças sujeitas à flexão simples devem atender:

$$\sigma_{Md} \leq f_d \quad (4.1.5)$$

onde σ_{Md} é a tensão de flexão de dimensionamento devido ao momento solicitante, equação (4.1.6), e f_d é a resistência à compressão ou à tração de dimensionamento para a borda mais comprimida ou mais tracionada da seção considerada.

$$\sigma_{Md} = \frac{6 M_d}{b \cdot h^2} \quad (4.1.6)$$

onde, M_d é o momento solicitante de dimensionamento.

Nos casos em que o plano onde o momento fletor atua não coincide com nenhum dos eixos centrais de inércia da peça, flexão oblíqua, a segurança será garantida pela condição mais crítica dentre as equações (4.1.7) e (4.1.8). Essa condição deve ser verificada tanto para tensões de tração quanto para as tensões de compressão:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (4.1.7)$$

$$k_M \cdot \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (4.1.8)$$

onde $\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ são as tensões máximas devidas ao momento solicitante nas direções principais, f_{wd} é a resistência de cálculo à tração ou à compressão, conforme a borda analisada, e k_M é um coeficiente de correção, dado em função da seção transversal da peça. Para seções retangulares adota-se $k_M = 0,5$; para outros tipos de seção $k_M = 1,0$.

Ainda há casos em que peças estão submetidas à flexão e a um esforço normal, resultando em flexão composta reta ou oblíqua. A essa combinação dá-se o nome de flexo-compressão ou flexo-tração de acordo com o esforço normal atuante,

Nas peças submetidas à flexo-tração, a verificação da segurança é dada pela mais crítica das condições representadas pelas equações (4.1.9) e (4.1.10).

$$\frac{\sigma_{nd}}{f_{td}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{td}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{My,d}}{f_{td}} \leq 1 \quad (4.1.9)$$

$$\frac{\sigma_{nd}}{f_{td}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{td}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{td}} \leq 1 \quad (4.1.10)$$

Para o caso de peças submetidas à flexo-compressão a verificação de segurança é expressa pelas equações (4.1.11) e (4.1.12).

$$\left(\frac{\sigma_{nd}}{f_{cd}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{cd}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{My,d}}{f_{cd}} \leq 1 \quad (4.1.11)$$

$$\left(\frac{\sigma_{nd}}{f_{cd}}\right)^2 + k_M \cdot \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{cd}} \leq 1 \quad (4.1.12)$$

Quando ocorre a flexo-compressão é necessário fazer a verificação da estabilidade da peça e a necessidade da adoção de pontos de contenção lateral. Os pontos de contenção alteram os comprimentos de flambagem e por conseguinte a capacidade resistente dos elementos estruturais.

Ao comprimir axialmente uma coluna esbelta ela tende a se deslocar lateralmente. A esse deslocamento lateral dá-se o nome de flambagem. Para evitar tal comportamento, o dimensionamento da coluna irá variar de acordo com o índice de esbeltez da peça. Este índice é dado pela equação (4.1.13):

$$\lambda = \frac{L_f}{i} \quad (4.1.13)$$

onde λ é o índice de esbeltez da peça, L_f é o comprimento de flambagem, e i é o raio de giração na direção considerada.

O comprimento de flambagem é calculado em função do comprimento destravado da peça e do parâmetro de flambagem, de acordo com a equação (4.1.14):

$$L_f = l \cdot K \quad (4.1.14)$$

onde K é o parâmetro de flambagem, dado em função das condições de vinculação da peça e l é o comprimento entre pontos de contenção lateral na direção considerada, conforme a Figura 4.1.

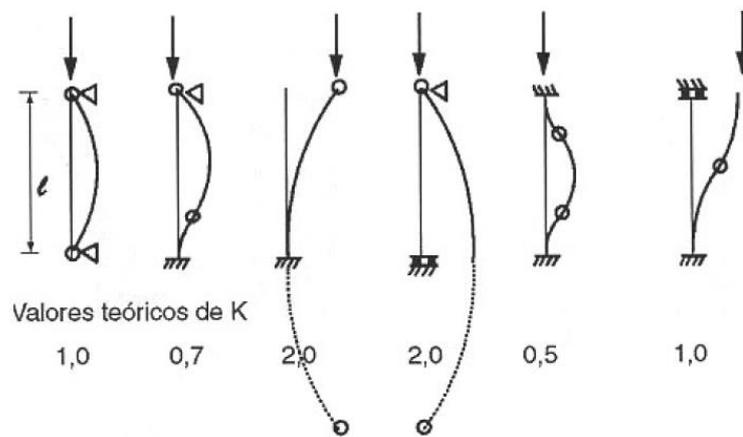


Figura 4.1 – Parâmetros de flambagem, (PFEIL, 2003).

A NBR 7190 (1997) apresenta três classificações para peças comprimidas de acordo com o seu índice de esbeltez: curtas ($\lambda \leq 40$), medianamente esbeltas ($40 < \lambda \leq 80$) e esbeltas ($\lambda > 80$). Porém, a norma não aconselha a utilização de peças com $\lambda > 140$.

Quanto maior a esbelteza, mais cuidado deve-se ter ao realizar o dimensionamento, e isso se reflete na consideração de mais excentricidades acidentais.

Peças curtas solicitadas à compressão simples ou à flexo-compressão não possuem a necessidade de verificação quanto à flambagem. Somente as equações (4.1.11) e (4.1.12) são satisfatórias para a avaliação da segurança.

Elementos medianamente esbeltos, quando comprimidos têm sua resistência penalizada pela flambagem e devem ser dimensionados à flexo-compressão, mesmo que a peça em questão só esteja submetida à compressão simples. Nestes casos deve-se considerar uma excentricidade acidental e_a da carga que contabiliza as imperfeições geométricas da peça. Esta excentricidade possui um valor mínimo dado pela equação (4.1.15):

$$e_a = \max\left(\frac{L_f}{300}, \frac{h}{30}\right) \quad (4.1.15)$$

onde h é a altura da seção transversal na direção considerada.

A combinação do esforço normal de dimensionamento (N_d) com a excentricidade e_a gera um momento fletor de projeto, dado pela equação (4.1.16):

$$M_d = N_d \cdot (e_a + e_i) \cdot \frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} \quad (4.1.16)$$

onde N_{cr} é a carga crítica normal, dada pela equação (4.1.17), e e_i é a excentricidade inicial devido a um momento fletor inicial, dada pela equação (4.1.18).

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_c \cdot e_f \cdot I}{L_f^2} \quad (4.1.17)$$

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_d} \quad (4.1.18)$$

onde M_{id} é o momento fletor inicial na direção considerada. Quando não existem momentos iniciais, $e_i = 0$.

Ao dimensionar peças esbeltas, adiciona-se uma excentricidade ao cálculo do momento fletor de projeto, a excentricidade e_c , que considera os efeitos da fluência da madeira, resultando na equação (4.1.19).

$$M_d = N_d \cdot (e_a + e_i + e_c) \cdot \frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} \quad (4.1.19)$$

O cálculo da excentricidade de fluência e_c é dado pela equação (4.1.20):

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \cdot \left[\exp\left(\frac{\varphi \cdot N_g}{N_{cr} - N_g}\right) - 1 \right] \quad (4.1.20)$$

onde:

$e_{ig} = \frac{M_{ig}}{N_d}$ – excentricidade inicial oriunda do momento devido à carga permanente;

e_a – excentricidade acidental;

φ – coeficiente de fluência (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Coeficiente de fluência φ .

Classes de carregamento	Classes de umidade	
	(1) e (2)	(3) e (4)
Permanente ou de longa duração	0,8	2,0
Média duração	0,3	1,0
Curta duração	0,1	0,5

4.1.2 SOLICITAÇÕES TANGENCIAIS

Peças submetidas a esforços cortantes devem ser verificadas em relação às tensões tangenciais. Nesse caso, a condição de segurança da peça é dada pela equação (4.1.21):

$$\tau_d \leq f_{vd} \quad (4.1.21)$$

onde τ_d é a tensão cisalhante atuante no elemento.

A tensão cisalhante máxima τ_d para seção transversal retangular é dada pela equação (4.1.22).

$$\tau_d = \frac{3}{2} \frac{V}{b \cdot h} \quad (4.1.22)$$

onde V é o esforço cortante, b e h são as dimensões da seção transversal.

Para o caso de tensões cisalhantes nas duas direções da seção da peça, deve-se analisar a tensão para cisalhamento combinado, dada pela equação (4.1.23).

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{dx}^2 + \tau_{dy}^2} \quad (4.1.23)$$

4.1.3 TORÇÃO

Para esforços de torção na peça, deve-se respeitar a condição expressa pela equação (4.1.24).

$$\tau_{T,d} \leq f_{vd} \quad (4.1.24)$$

4.1.4 ESTABILIDADE

4.1.4.1 Flambagem Lateral Com Torção

Peças fletidas no plano de maior inércia apresentam um comportamento diferenciado quanto à flambagem. Ao fletir a peça passa a apresentar tensões de compressão e de tração. O bordo comprimido fica sujeito a flambagem lateral em torno do eixo de menor inércia, porém

o bordo oposto se encontra estabilizado pelas tensões de tração. Dessa maneira, o deslocamento da flambagem se dá com torção da seção. Tal fenômeno não ocorre em peças circulares, quadradas ou em seções quando fletidas no plano de menor inércia.

Para o caso de vigas fletidas no plano de maior inércia, a verificação da flambagem lateral com torção é dispensada quando a condição dada pela equação (4.1.25) é atendida.

$$L_1 < \frac{E_{c.ef} \cdot b}{\beta_m \cdot f_{cd}} \quad (4.1.25)$$

onde

L_1 – distância entre pontos de contenção lateral da viga;

$E_{c.ef}$ – módulo de elasticidade efetivo à compressão paralela às fibras da madeira;

β_m – coeficiente de correção, dado pela equação (4.1.26).

$$\beta_m = \frac{1}{0,25\pi} \cdot \frac{\left(\frac{h}{b}\right)^{3/2}}{\sqrt{\frac{h}{b} - 0,63}} \cdot \frac{4}{1,4} \quad (4.1.26)$$

Quando a equação (4.1.25) não for atendida, a verificação da flambagem lateral com torção ainda pode ser dispensada se a equação (4.1.27) for respeitada.

$$\sigma_{cd} \leq \frac{E_{c.ef}}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \cdot \beta_m} \quad (4.1.27)$$

Para os casos em que as equações anteriores não são atendidas, deve-se verificar a tensão crítica de compressão associada à flambagem lateral com torção, dada pela equação (4.1.28):

$$f_{cr} = \frac{\left(\frac{\pi}{m}\right)}{\frac{L_1}{b}} \cdot \frac{E_{c.ef}}{1,4} \cdot 0,25 \cdot \frac{b}{h} \cdot \sqrt{1 - 0,63 \cdot \frac{b}{h}} \quad (4.1.28)$$

onde m é um coeficiente dado em função do carregamento.

Tal fator é usado para que se faça uma adaptação da tensão crítica de acordo com o tipo de diagramas de momento fletor na peça. Os possíveis valores de m são apresentados na Figura 4.2.

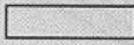
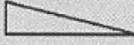
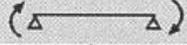
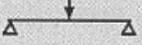
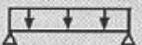
Esquema estrutural	Diagrama de momento fletor	m
		1,0
		0,57
		0,43
		0,74
		0,88

Figura 4.2 – Fator de equivalência m para a adaptação da tensão crítica associada à flambagem lateral com torção, (PFEIL, 2003).

A segurança em relação à flambagem lateral com torção é garantida quando a equação (4.1.29) é atendida.

$$f_{cr} \leq \sigma_{cd} \quad (4.1.29)$$

No edifício em estudo, as vigas de piso atuam como pontos de contenção das vigas principais dos painéis. As vigas de piso dos apartamentos fazem a contenção lateral das vigas orientadas em x e as vigas de piso do hall e da escada apoiam as vigas orientadas em y. A mesma associação também serve para os pavimentos da cobertura e da caixa d'água. A Figura 4.3 e a Figura 4.4 ilustram o exposto.

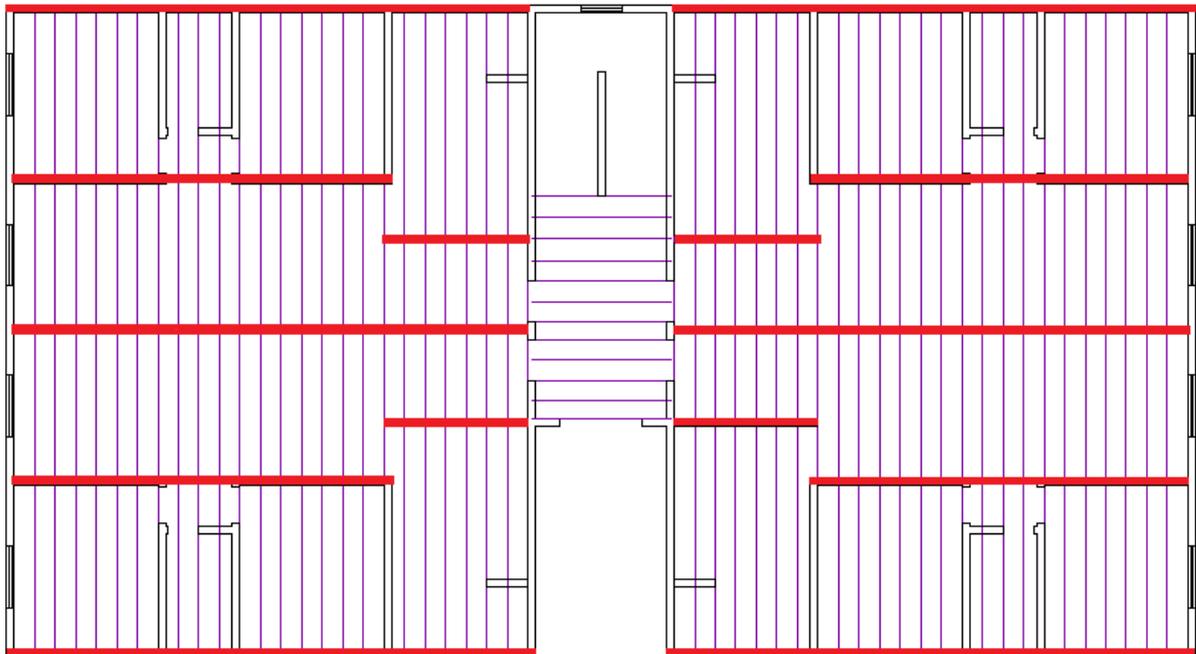


Figura 4.3 – Vigas principais dos apartamentos contidas pelas vigas de piso.

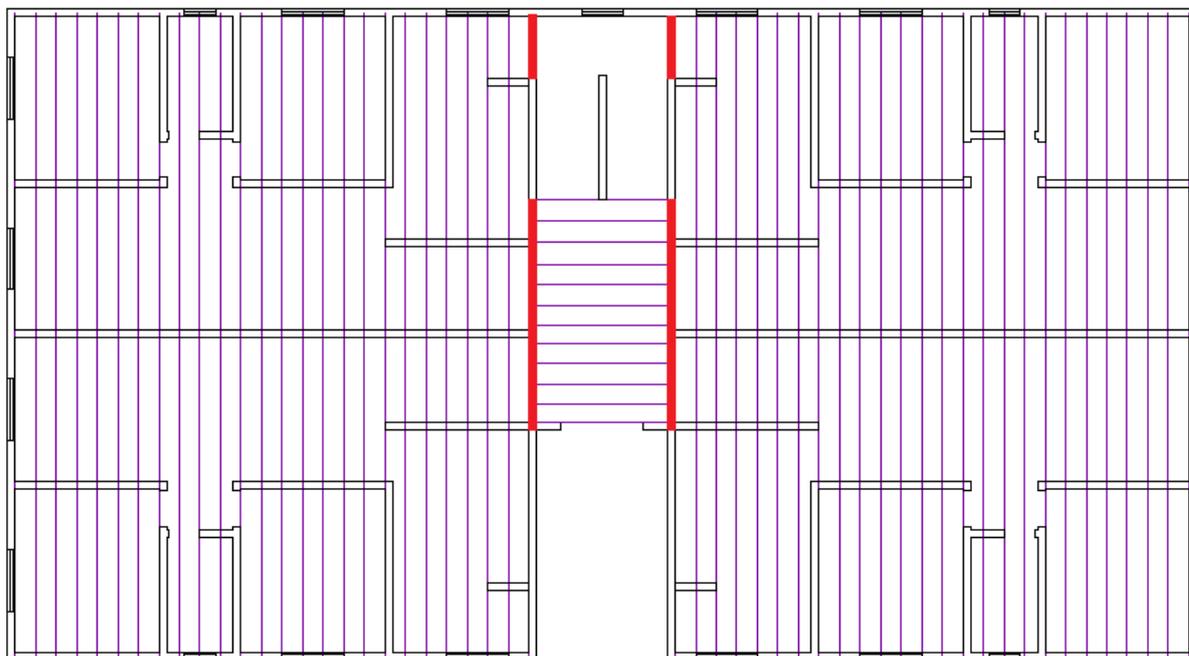


Figura 4.4 – Vigas principais do hall e escadas contidas pelas vigas de piso.

4.1.4.2 Flambagem Global Por Flexão

Peças medianamente esbeltas ou esbeltas que estejam submetidas ao efeito de compressão simples ou flexo-compressão devem passar por uma verificação de estabilidade para as tensões σ_{nd} e σ_{Md} em cada plano de flambagem, a fim de evitar a flambagem global por flexão. A equação (4.1.30) estabelece a relação que deve ser obedecida.

$$\frac{\sigma_{nd}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{cd}} \leq 1 \quad (4.1.30)$$

4.2 ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO

A segunda verificação a qual o prédio deverá ser submetido é em relação a capacidade de desempenhar a sua função de maneira satisfatória, sem trazer desconforto ou sensação de insegurança aos seus usuários, bem como evitar danos a elementos não estruturais, como alvenarias, esquadrias e forros.

Valores limites para deslocamentos verticais são estabelecidos pela NBR 7190 (1997) de forma a assegurar o bom funcionamento do edifício, a preservação estética e a integridade de elementos frágeis que estejam anexados à estrutura. A Tabela 4.2 apresenta estes valores limites definidos.

Tabela 4.2 – Valores limites de deslocamentos verticais segundo a NBR 7190 (1997).

	Ações a considerar	Deslocamentos calculados	Deslocamentos limites
Construções correntes	Permanentes + variáveis em combinação de longa duração	Em um vão l entre apoios	$\frac{l}{200}$
		Em balanço de vão l_b	$\frac{l_b}{100}$
Construções com materiais frágeis não estruturais	Permanentes + variáveis em combinações de média ou curta duração	Em um vão l entre apoios	$\frac{l}{350}$
		Em balanço de vão l_b	$\frac{l_b}{175}$
	Variáveis em combinações de média ou curta duração	Em um vão l entre apoios	$\frac{l}{300} \leq 15 \text{ mm}$
		Em balanço de vão l_b	$\frac{l_b}{150} \leq 15 \text{ mm}$

A verificação do E.L.S. é feita ao identificar o elemento de cada grupo que apresentou a maior flecha e comparar este valor ao limite imposto pela norma

4.3 VERIFICAÇÃO DOS E.L.U.

Um modelo estrutural foi criado em um programa computacional especializado de forma que a análise do *software* retornasse todos os esforços atuantes em cada elemento da estrutura. Tais dados foram organizados e, de acordo com as solicitações envolvidas em cada caso, as condições de segurança descritas no item 4.1 foram aplicadas. Os resultados obtidos estão na forma de razões entre o esforço solicitante σ_d e o esforço resistente σ_r de cada seção dimensionada. Desta forma, o dimensionamento foi aprovado quando apresentou somente resultados inferiores a unidade. Enquanto esta condição não foi atendida, novas seções foram propostas e analisadas.

Os tópicos a seguir apresentam as verificações das seções adotadas para cada tipo de elemento estrutural.

4.3.1 VIGAS DE PISO

As vigas de piso foram calculadas manualmente para o caso de flexão normal. Como visto anteriormente, as vigas de piso estão sujeitas a uma grande variedade de esforços de acordo como local onde se encontra, além disso, também possuem comprimentos variados. Sendo assim, foi realizada a verificação do caso crítico para as vigas de piso do pavimento

tipo, da cobertura e do abrigo da caixa d'água. A seção dimensionada para cada caso crítico foi utilizada nos demais elementos semelhantes.

4.3.1.1 Pavimento Tipo

No interior do apartamento, as cargas aplicadas pelas paredes não estruturais em determinadas vigas, a variação das sobrecargas e dos vãos em cada local levou ao surgimento de um amplo espectro de esforços aplicados nas vigas. Sendo necessário um estudo de 7 casos para verificar o elemento mais solicitado que servirá de base para o dimensionamento.

Os casos para análise das vigas de piso do pavimento tipo são apresentados na Figura 4.5.

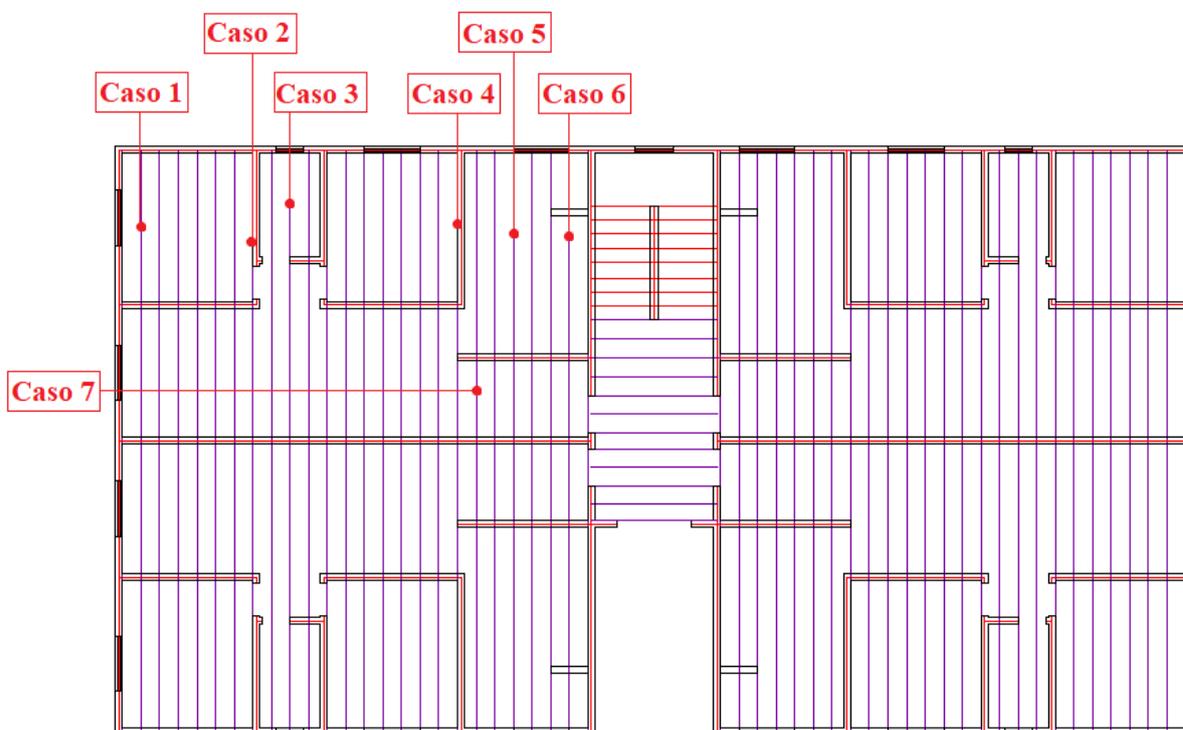


Figura 4.5 – Casos para análise das vigas de piso do pavimento tipo.

O caso crítico encontrado para as vigas de piso do pavimento tipo foi o caso 2, devido ao vão, ao peso próprio do piso, ao peso próprio da parede do quarto e banheiro, ao peso próprio distribuído da parede do banheiro e sala e à sobrecarga de utilização. Porém, este caso apresenta esforços muito distantes dos demais e seria antieconômico utilizar a mesma seção em todo o pavimento, pois todo o pavimento estaria superdimensionado.

A solução encontrada foi dimensionar as vigas para o caso 6, que apresenta esforços com valores aproximados à metade dos esforços do caso 2. Estabelecida a seção para o caso 6, uma seção com o dobro da largura foi adotada para o caso 2.

A Tabela 4.3 apresenta os carregamentos aplicados sobre as vigas estudadas. As cargas de peso próprio do piso, das sobrecargas de utilização e de peso próprio das paredes já foram desenvolvidos previamente. Os valores apresentados foram obtidos através do produto da carga distribuída na laje, em kN/m², pelo espaçamento entre as vigas, que é de 0,40 m. O caso 6 apresenta uma particularidade pois as diferentes sobrecargas de utilização não foram distribuídas ao longo do comprimento total da viga, mas apenas nos respectivos locais de aplicação, gerando duas áreas com carregamentos diferentes.

Tabela 4.3 – Cargas sobre as vigas de piso do pavimento tipo mais solicitadas.

Carregamento	Carga distribuída (kN/m)	
	Caso 2	Caso 6
Peso próprio da parede	4,40	---
Peso próprio da parede transversal	0,26	0,67
Peso próprio do piso	0,53	0,53
Peso próprio da viga	0,24	0,12
Sobrecarga de utilização – quarto/cozinha	0,60	0,60
Sobrecarga de utilização – área de serviço	---	0,80
TOTAL	6,03	1,92 / 2,12

Após aplicar a combinação de carregamentos, obtém-se uma carga de 8,44 kN/m para o caso 2 e cargas de 2,97 kN/m e 2,69 kN/m para o caso 6. A Tabela 4.4 apresenta os esforços atuantes nas vigas.

Tabela 4.4 – Esforços para a combinação nas vigas de piso tipo mais solicitadas.

Esforço de dimensionamento	Unidade	Valor	
		Caso 2	Caso 6
Momento solicitante de dimensionamento	kN.m	11,80	6,90
Reação de apoio	kN	14,10	6,30
Cortante solicitante de dimensionamento	kN	14,10	6,30

A seguir está detalhado todos os cálculos para o caso 6. Posteriormente, para os outros casos de viga de piso, os dados estarão resumidos, pois seguem o mesmo modelo de cálculo explicitado.

Aplicando-se o valor do momento solicitante de dimensionamento dado na Tabela 4.4 na equação (4.1.6), obtém-se as tensões de compressão e tração na viga de piso.

$$\sigma_{Md} = \frac{6 M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot (100 \cdot 6,90)}{7,50 \cdot 25,00^2} = 0,883 \text{ kN/cm} \quad (4.3.1)$$

Conforme mostram as expressões (4.3.2) e (4.3.3), a condição de segurança imposta pela equação (4.1.5) é atendida.

$$\frac{\sigma_{Md}}{f_{cd}} = \frac{0,883 \text{ kN/cm}^2}{1,250 \text{ kN/cm}^2} = 0,707 < 1 \quad (4.3.2)$$

$$\frac{\sigma_{Md}}{f_{td}} = \frac{0,883 \text{ kN/cm}^2}{1,813 \text{ kN/cm}^2} = 0,487 < 1 \quad (4.3.3)$$

O cálculo para as tensões de compressão normal às fibras e a verificação de segurança são dados pelas expressões (4.3.4) e (4.3.5).

$$\sigma_{cnd} = \frac{R_d}{b \cdot c} = \frac{6,30 \text{ kN}}{7,50 \text{ cm} \cdot 7,50 \text{ cm}} = 0,112 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.3.4)$$

$$\frac{\sigma_{cnd}}{f_{cnd}} = \frac{0,112 \text{ kN/cm}^2}{3,125 \text{ kN/cm}^2} = 0,036 < 1 \quad (4.3.5)$$

O cálculo para as tensões cisalhantes e a verificação de segurança é dado pelas expressões (4.3.6) e (4.3.7).

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6,30 \text{ kN}}{7,50 \text{ cm} \cdot 25,00 \text{ cm}} = 0,050 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.3.6)$$

$$\frac{\tau_d}{f_{vd}} = \frac{0,050 \text{ kN/cm}^2}{0,129 \text{ kN/cm}^2} = 0,390 < 1 \quad (4.3.7)$$

A verificação associada à flambagem é feita de acordo com a equação (4.1.25). A expressão (4.3.9) apresenta a verificação para as vigas de piso.

$$\beta_m = \frac{1}{0,25\pi} \cdot \frac{\left(\frac{h}{b}\right)^{3/2}}{\sqrt{\frac{h}{b} - 0,63}} \cdot \frac{4}{1,4} = \frac{1}{0,25\pi} \cdot \frac{\left(\frac{25,00}{7,50}\right)^{3/2}}{\sqrt{\frac{25,00}{7,50} - 0,63}} \cdot \frac{4}{1,4} = 13,465 \quad (4.3.8)$$

$$L_1 > 0,01 \cdot \frac{E_{c.ef} \cdot b}{\beta_m \cdot f_{cd}} = \frac{7.448 \cdot 7,50}{13,465 \cdot 12,501} = 3,319 \text{ m} \quad (4.3.9)$$

Sabendo que $L_1 = 4,500 \text{ m} < 3,319 \text{ m}$, conclui-se que a condição não é atendida e se faz necessária a avaliação da equação (4.1.27).

$$\sigma_{cd} \leq \frac{E_{c.ef}}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \cdot \beta_m} = \frac{744,80}{\frac{450,00}{7,50} \cdot 13,465} = 0,922 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.3.10)$$

Sabendo que $\sigma_{cd} = 0,833 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 0,922 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$, conclui-se que a condição é atendida, sendo dispensada a verificação de tensões de flexão com flambagem lateral; e a seção atende aos critérios de segurança.

A Tabela 4.5 resume as razões entre as tensões solicitantes e resistentes das vigas de piso do pavimento tipo.

Tabela 4.5 – Razões entre tensões solicitantes e resistentes para as vigas de piso do pavimento tipo.

Razão de tensão para compressão paralela às fibras	Razão de tensão para tração paralela às fibras	Razão de tensão para compressão normal às fibras	Razão de tensão para cisalhamento	Razão de tensão associada à flambagem lateral
0,71	0,49	0,04	0,39	---

Dessa forma, a seção de 7,5 cm x 25,00 cm adotada para as vigas de piso do pavimento tipo atende aos requisitos de segurança definidos no item 4.1. A tensão de compressão foi a tensão crítica, consumindo 71% da capacidade resistente da viga.

A Tabela 4.6 resume as razões entre as tensões solicitantes e resistentes das vigas de piso duplas do pavimento tipo.

Tabela 4.6 – Razões entre tensões solicitantes e resistentes para as vigas de piso duplas do pavimento tipo.

Razão de tensão para compressão paralela às fibras	Razão de tensão para tração paralela às fibras	Razão de tensão para compressão normal às fibras	Razão de tensão para cisalhamento	Razão de tensão associada à flambagem lateral
0,60	0,42	0,02	0,44	---

Dessa forma, a seção de 15,00 cm x 25,00 cm adotada para as vigas de piso duplas do pavimento tipo atende aos requisitos de segurança definidos no item 4.1. A tensão de compressão foi a tensão crítica, consumindo 60% da capacidade resistente da viga.

4.3.1.2 Cobertura

O dimensionamento das vigas de piso da cobertura é mais simples que as vigas de piso do pavimento tipo, pois todas elas estão sujeitas às mesmas cargas: peso próprio do piso, do telhado e a sobrecarga de utilização de forros. Dessa forma se faz necessário analisar somente um caso.

A Tabela 4.7 apresenta os carregamentos aplicados sobre a viga de piso da cobertura. As cargas distribuídas na área da laje foram multiplicadas pelo espaçamento entre as vigas.

Tabela 4.7 – Cargas sobre a viga de piso da cobertura.

Carregamento	Carga distribuída (kN/m)
Peso próprio do piso	0,10
Peso próprio da viga	0,07
Peso do telhado	0,12
Sobrecarga de utilização	0,20
TOTAL	0,49

Aplicando-se a combinação de carregamentos, obtém-se uma carga de 0,68 kN/m aplicada sobre a viga de piso da cobertura. A Tabela 4.8 apresenta os esforços atuantes na viga.

Tabela 4.8 – Esforços para a combinação da viga de piso da cobertura.

Esforço de dimensionamento	Unidade	Valor
Momento solicitante de dimensionamento	kN.m	1,70
Reação de apoio	kN	1,50
Cortante solicitante de dimensionamento	kN	1,50

Os cálculos para a verificação de segurança e estabilidade são análogos aos apresentados para as vigas de piso do pavimento tipo.

A Tabela 4.9 resume as razões entre as tensões solicitantes e resistentes das vigas de piso da cobertura.

Tabela 4.9 – Razões entre tensões solicitantes e resistentes para a viga de piso da cobertura.

Razão de tensão para compressão paralela às fibras	Razão de tensão para tração paralela às fibras	Razão de tensão para compressão normal às fibras	Razão de tensão para cisalhamento	Razão de tensão associada à flambagem lateral
0,48	0,33	0,008	0,15	---

Dessa forma, a seção de 7,50 cm x 15,00 cm adotada para as vigas de piso da cobertura atende aos requisitos de segurança definidos no item 4.1. A tensão de compressão foi a tensão crítica, consumindo 48% da capacidade resistente da viga.

4.3.1.3 Caixa D'Água

A Tabela 4.10 resume os carregamentos aplicados sobre a viga de piso do pavimento da caixa d'água.

Tabela 4.10 – Cargas sobre a viga de piso do pavimento da caixa d'água.

Carregamento	Carga distribuída (kN/m)
Peso próprio do piso	0,53
Peso próprio da viga	0,12
Sobrecarga de utilização	0,20
Peso próprio das caixas d'água	3,03
TOTAL	4,88

Aplicando-se a combinação de carregamentos, obtém-se uma carga de 6,83 kN/m aplicada sobre a viga de piso da cobertura. A Tabela 4.11 apresenta os esforços atuantes na viga.

Tabela 4.11 – Esforços para a combinação da viga de piso da cobertura.

Esforço de dimensionamento	Unidade	Valor
Momento solicitante de dimensionamento	kN.m	6,20
Reação de apoio	kN	9,20
Cortante solicitante de dimensionamento	kN	9,20

Os cálculos para a verificação de segurança e estabilidade são análogos aos apresentados para as vigas de piso do pavimento tipo.

A Tabela 4.12 resume as razões entre as tensões solicitantes e resistentes das vigas de piso da cobertura.

Tabela 4.12 – Razões entre tensões solicitantes e resistentes para a viga de piso da cobertura.

Razão de tensão para compressão paralela às fibras	Razão de tensão para tração paralela às fibras	Razão de tensão para compressão normal às fibras	Razão de tensão para cisalhamento	Razão de tensão associada à flambagem lateral
0,63	0,44	0,052	0,57	---

Dessa forma, a seção de 7,5 cm x 25,0 cm adotada para as vigas de piso do pavimento da caixa d'água atende aos requisitos de segurança definidos no item 4.1. A tensão de compressão foi a tensão crítica, consumindo 63% da capacidade resistente da viga.

4.3.2 MONTANTES

Há dois tipos de montantes, os simples e os duplos. Os montantes duplos estão localizados nas extremidades dos painéis e nas proximidades de vãos na parede, áreas de maior concentração de esforços devido a ausência de montantes vizinhos. O dimensionamento

e todo o detalhamento foi feito para os montantes simples e, posteriormente, a seção foi duplicada para os montantes duplos, o detalhamento deste segundo caso será resumido.

A Tabela 4.13 apresenta os esforços de dimensionamento para os montantes mais solicitados, e a Tabela 4.14 apresenta os esforços não majorados devido à carga permanente e sobrecarga de utilização atuantes nesses elementos.

Tabela 4.13 – Esforços para a combinação E.L.U. nos montantes mais solicitados.

Elemento	Seção		Esforços combinados					
	<i>b</i> (cm)	<i>h</i> (cm)	<i>N_d</i> (kN)	<i>V_{dx}</i> (kN)	<i>V_{dy}</i> (kN)	<i>T_d</i> (kN.m)	<i>M_{dx}</i> (kN.m)	<i>M_{dy}</i> (kN.m)
Montante simples	7,50	12,50	-38,043	---	---	0,0007	---	---
Montante duplo	15,00	12,50	-77,942	---	---	0,0033	---	---

Tabela 4.14 – Esforços não majorados nos montantes mais solicitados.

Elemento	Seção		Esforços devido à carga permanente			Esforços devido à sobrecarga de utilização
	<i>b</i> (cm)	<i>h</i> (cm)	<i>N_g</i> (kN)	<i>M_x</i> (kN.m)	<i>M_y</i> (kN.m)	<i>N_a</i> (kN)
Montante simples	7,50	12,50	-20,500	---	---	-6,674
Montante duplo	15,00	12,50	-37,695	---	---	-17,978

Primeiramente deve-se verificar o índice de esbeltez da peça de acordo a equação (4.1.13). As equações seguintes são os cálculos para os dois eixos da seção.

$$\lambda_x = \frac{L_{fx}}{i_x} = \frac{272,50 \text{ cm}}{3,61 \text{ cm}} = 75,52 \quad (4.3.11)$$

$$\lambda_y = \frac{L_{fy}}{i_y} = \frac{150,00 \text{ cm}}{2,17 \text{ cm}} = 69,28 \quad (4.3.12)$$

O montante é então classificado como medianamente esbelto e se faz necessário o dimensionamento à flexo-compressão e a verificação de estabilidade.

Inicialmente calculam-se as cargas críticas e as excentricidades acidentais.

$$N_{crx} = \frac{\pi^2 \cdot E_{c.ef} \cdot I_x}{L_{fx}^2} = \frac{3,14^2 * 744,80 * 1.220,70}{272,50^2} = 120,84 \text{ kN} \quad (4.3.13)$$

$$N_{cry} = \frac{\pi^2 \cdot E_{c,ef} \cdot I_y}{L_{fy}^2} = \frac{3,14^2 * 744,80 * 439,45}{150,00^2} = 143,57 \text{ kN} \quad (4.3.14)$$

$$e_{ax} = \max\left(\frac{272,50}{300}, \frac{12,50}{30}\right) = \max(0,91, 0,42) = 0,91 \text{ cm} \quad (4.3.15)$$

$$e_{ay} = \max\left(\frac{150,00}{300}, \frac{7,50}{30}\right) = \max(0,50, 0,25) = 0,50 \text{ cm} \quad (4.3.16)$$

Em seguida são calculados os momentos resultantes da interação das excentricidades acidentais com a carga normal de dimensionamento, aplicando-se a equação (4.1.16) considerando-se os eixos x e y.

$$M_{dx} = 38,04 \cdot (0,91 + 0) \cdot \frac{120,84}{120,84 - 38,04} = 50,43 \text{ kN.cm} \quad (4.3.17)$$

$$M_{dy} = 38,04 \cdot (0,50 + 0) \cdot \frac{143,57}{143,57 - 38,04} = 25,88 \text{ kN.cm} \quad (4.3.18)$$

Aplicando-se os valores da Tabela 4.13 e os novos momentos calculados nas equações apresentadas em 4.1, obtêm-se as razões entre as tensões solicitantes e as tensões resistentes dos pilares.

Para este caso, a tensão normal de dimensionamento é dada por:

$$\sigma_{nd} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{38,04}{7,50 * 12,50} = 0,410 \text{ kN/cm}^2 = 4,10 \text{ MPa} \quad (4.3.19)$$

As tensões devido aos momentos de dimensionamento nas direções x e y são dadas por:

$$\sigma_{Mdx} = \frac{6 * (50,43)}{7,50 * 12,50^2} = 0,260 \text{ kN/cm}^2 = 2,60 \text{ MPa} \quad (4.3.20)$$

$$\sigma_{Mdy} = \frac{6 * (25,88)}{12,50 * 7,50^2} = 0,220 \text{ kN/cm}^2 = 2,20 \text{ MPa} \quad (4.3.21)$$

Todas as verificações, de tração e compressão, são feitas de acordo com as equações (4.1.11) e (4.1.12), conforme apresentado abaixo:

$$\left(\frac{0,41}{1,25}\right)^2 + \frac{0,260}{1,81} + 0,5 \frac{0,220}{1,81} \approx 0,31 \quad (4.3.22)$$

$$\left(\frac{0,41}{1,25}\right)^2 + 0,5 \frac{0,260}{1,81} + \frac{0,220}{1,81} \approx 0,30 \quad (4.3.23)$$

$$\left(\frac{0,41}{1,25}\right)^2 + \frac{0,260}{1,25} + 0,5 \frac{0,220}{1,25} \approx 0,40 \quad (4.3.24)$$

$$\left(\frac{0,41}{1,25}\right)^2 + 0,5 \frac{0,260}{1,25} + \frac{0,220}{1,25} \approx 0,39 \quad (4.3.25)$$

Resta apenas a verificação da estabilidade da peça para flambagem global por flexão de acordo com a equação (4.1.30).

$$\frac{\sigma_{nd}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{cd}} = \frac{0,41}{1,25} + \frac{0,26}{1,25} \approx 0,53 \quad (4.3.26)$$

$$\frac{\sigma_{nd}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{cd}} = \frac{0,41}{1,25} + \frac{0,22}{1,25} \approx 0,50 \quad (4.3.27)$$

As razões para o montante simples crítico são apresentadas na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Razões entre tensões solicitantes e resistentes para o montante simples mais solicitado.

Classificação quanto ao índice de esbeltez	Tração na flambagem global	Compressão na flambagem global	Tração na flambagem lateral com torção	Compressão na flambagem lateral com torção	Estabilidade na direção x	Estabilidade na direção y	Cisalhamento combinado
Peça medianamente esbelta	0,31	0,40	---	---	0,53	0,50	---

Dessa forma, a seção de 7,50 cm x 12,50 cm adotada para os montantes simples atende aos requisitos de segurança definidos no item 4.1. A estabilidade na direção x foi a razão crítica, consumindo 53% da capacidade da peça e a tensão de compressão considerando os efeitos de flambagem global por flexão foi a tensão crítica, consumindo 40% da capacidade resistente do montante.

As razões para o montante duplo crítico são apresentadas na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Razões entre tensões solicitantes e resistentes para o montante duplo mais solicitado.

Classificação quanto ao índice de esbeltez	Tração na flambagem global	Compressão na flambagem global	Tração na flambagem lateral com torção	Compressão na flambagem lateral com torção	Estabilidade na direção x	Estabilidade na direção y	Cisalhamento combinado
Peça medianamente esbelta	0,26	0,32	---	---	0,55	---	---

Dessa forma, a seção de 15,00 cm x 12,50 cm adotada para os montantes duplos atende aos requisitos de segurança definidos no item 4.1. A estabilidade na direção x foi a razão crítica, consumindo 55% da capacidade da peça e a tensão de compressão considerando os

efeitos de flambagem global por flexão foi a tensão crítica, consumindo 32% da capacidade resistente do montante.

4.3.3 VIGAS

As vigas principais trabalham da mesma forma que as vigas de piso, sendo os pontos de contenção lateral o único diferencial entre elas. A Tabela 4.17 apresenta os esforços para a viga mais solicitada, e a Tabela 4.18 apresenta os esforços não majorados devido à carga permanente e sobrecarga de utilização atuantes nessa viga.

Tabela 4.17 – Esforços na viga principal mais solicitada.

Elemento	Seção		Esforços combinados					
	b (cm)	h (cm)	N_d (kN)	V_{dx} (kN)	V_{dy} (kN)	T_d (kN.m)	M_{dx} (kN.m)	M_{dy} (kN.m)
Viga principal	15,00	15,00	0,00	-10,06	0,00	0,00	0,00	-1,829

Tabela 4.18 – Esforços não majorados para a viga mais solicitada.

Elemento	Seção		Esforços devido à carga permanente			Esforços devido à sobrecarga de utilização
	b (cm)	h (cm)	N_d (kN)	M_{dx} (kN.m)	M_{dy} (kN.m)	N_d (kN)
Viga principal	15,00	15,00	0,00	0,00	-0,703	0,00

Aplicando-se os valores da Tabela 4.17 e da Tabela 4.18 nas equações apresentadas em 4.1, obtêm-se as razões entre as tensões solicitantes e as tensões resistentes das vigas. As razões para a viga principal mais crítica são apresentadas na Tabela 4.19.

Tabela 4.19 – Razões entre as tensões solicitantes e resistentes para a viga principal mais solicitada.

Classificação quanto ao índice de esbeltez	Tração na flambagem global	Compressão na flambagem global	Tração na flambagem lateral com torção	Compressão na flambagem lateral com torção	Estabilidade na direção x	Estabilidade na direção y	Cisalhamento combinado
Peça curta	0,18	0,26	---	---	---	---	0,52

Assim, a seção de 15,00 cm x 15,00 cm adotada para as vigas principais atende aos requisitos de segurança definidos em 4.1. A tensão de cisalhamento combinado foi a tensão crítica, consumindo 52% da capacidade resistente da viga. Por ser classificada como curta, não é necessária a verificação de estabilidade.

4.3.4 VERGAS

As vergas apresentam comportamento semelhante às vigas de piso, por esse motivo os cálculos foram resumidos. A Tabela 4.20 apresenta os esforços para a verga mais solicitada, e a Tabela 4.21 apresenta os esforços não majorados devido à carga permanente, sobrecarga de utilização e vento atuantes na peça.

Tabela 4.20 – Esforços para a verga mais solicitada.

Elemento	Seção		Esforços combinados					
	b (cm)	h (cm)	N_d (kN)	V_{dx} (kN)	V_{dy} (kN)	T_d (kN.m)	M_{dx} (kN.m)	M_{dy} (kN.m)
Mão-francesa	10,00	12,50	-0,015	-3,842	0,00	-0,001	0,00	-1,838

Tabela 4.21 – Esforços não majorados para a verga mais solicitada.

Elemento	Seção		Esforços devido à carga permanente			Esforços devido à sobrecarga de utilização
	b (cm)	h (cm)	N_d (kN)	M_{dx} (kN.m)	M_{dy} (kN.m)	N_d (kN)
Mão-francesa	10,00	12,50	-0,014	0,00	-0,412	-0,003

Aplicando-se os valores da Tabela 4.20 e da Tabela 4.21 nas equações apresentadas em 4.1, obtêm-se as razões entre as tensões solicitantes e as tensões resistentes. As razões para a verga mais crítica são apresentadas na Tabela 4.22.

Tabela 4.22 – Razões entre as tensões solicitantes e resistentes para a verga mais solicitada.

Classificação quanto ao índice de esbeltez	Tração na flambagem global	Compressão na flambagem global	Tração na flambagem lateral com torção	Compressão na flambagem lateral com torção	Estabilidade de na direção x	Estabilidade de na direção y	Cisalhamento combinado
Peça curta	0,39	0,57	---	---	---	---	0,36

Assim, a seção de 10,00 cm x 12,50 cm adotada para as vergas atende aos requisitos de segurança definidos em 4.1. A tensão de compressão considerando flambagem global por flexão foi a tensão crítica, consumindo 57% da capacidade resistente da verga. Por ser classificada como uma peça curta, a verificação das estabilidades é descartada.

4.4 VERIFICAÇÃO DOS E.L.S.

A verificação dos Estados de Limites de Serviço consiste na análise da capacidade da estrutura de desempenhar a função a qual foi destinada de forma satisfatória, sem comprometer a segurança e o conforto dos usuários e a estética da sua arquitetura. As verificações mais comuns são a da flecha crítica entre os elementos da estrutura e o do deslocamento horizontal no topo do prédio. Os valores encontrados são comparados com os limites estabelecidos pela norma na Tabela 4.2.

Como as cargas de vento não foram consideradas neste trabalho, somente o caso das flechas críticas foi analisado.

4.4.1 FLECHA CRÍTICA

A flecha crítica para os Estados Limites de Serviço ocorre nas vigas pertencentes à cobertura, na região da cozinha. As vigas em questão são apresentadas na Figura 4.6.

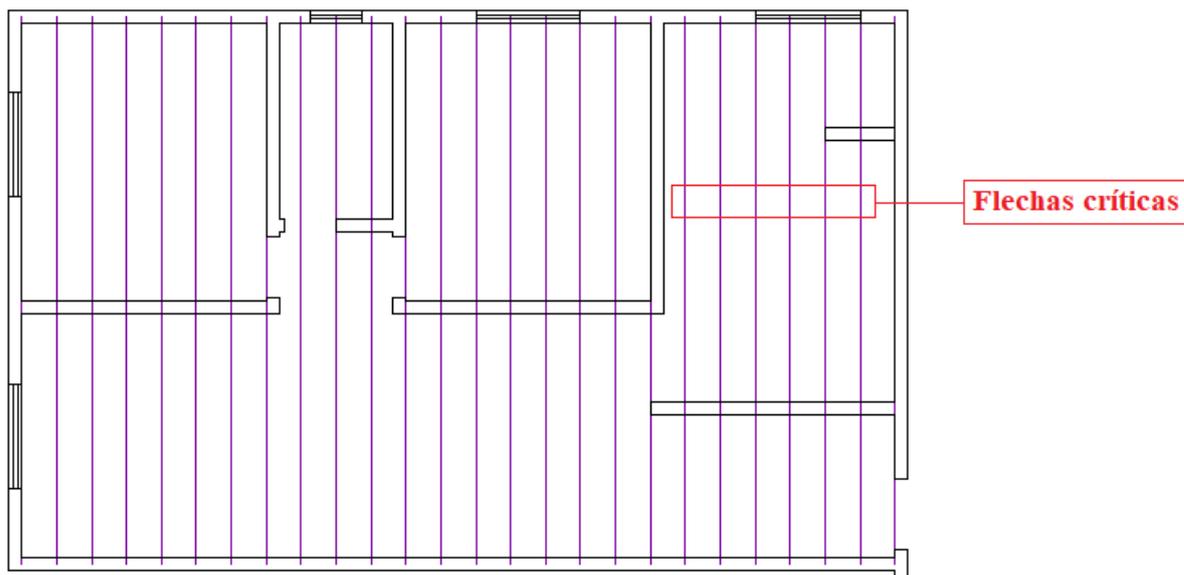


Figura 4.6 – Flecha crítica na estrutura.

A flecha crítica é de 1,12 cm e a Tabela 4.2 mostra que o deslocamento vertical máximo, em uma estrutura com elementos frágeis não estruturais, para um vão de comprimento l entre apoios é de $l/350$.

A viga sujeita à flecha crítica possui 4,50 m de comprimento, logo, a flecha limite nesse caso é dada por $450/350 = 1,28$ cm.

Assim, a flecha crítica na estrutura, de 1,12 cm, é inferior à flecha limite admitida pela norma, de 1,28 cm. Logo, o deslocamento vertical máximo na estrutura atende ao critério de verificação dado pela norma.

5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a concepção do sistema construtivo *wood frame* para um edifício residencial de pequeno porte. Com esse projeto foi possível alcançar os objetivos iniciais propostos: comprovar a viabilidade técnica deste sistema estrutural, ajudar a disseminar o uso de madeira como material estrutural, e consolidar conceitos técnicos aprendidos durante as disciplinas de estruturas, em especial a de madeiras, ao longo do curso de Engenharia Civil.

Contudo, é importante salientar algumas dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho: a falta de material bibliográfico sobre o tema, devido a nossa cultura de não utilização da madeira como material estrutural; e a gigantesca quantidade de elementos a

serem modelados e analisados, o que gerou uma demanda computacional elevada e consumiu um considerável intervalo de tempo.

Apesar das dificuldades listadas, o sistema estrutural em *wood frame* é bastante utilizado na América do Norte e Europa, comprovando a sua viabilidade técnica e justificando a sua inserção na lista de opções alternativas ao sistema convencional do Brasil, o concreto armado. A madeira apresenta vantagens em relação a outros materiais, especialmente na obtenção da matéria-prima e seu processamento, na execução do projeto e estrutura, controle de resíduos e combate ao desperdício.

Como sugestão para futuros trabalhos, cita-se:

- Análise do modelo considerando as cargas horizontais de vento, incluindo o dimensionamento das fundações;
- Modelagem dos sistemas de contraventamento usando o conjunto de placas OSB e placas cimentícias e/ou utilizando fitas metálicas;
- Dimensionar e analisar diferentes tipos de ligações para as conexões dos elementos estruturais, consideradas como rotuladas neste trabalho;
- Analisar o mesmo edifício utilizando outro sistema estrutural como concreto armado, alvenaria estrutural ou estrutura metálica, e comparar os custos envolvidos, levando em consideração o custo com material, mão de obra e tempo de execução.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN WOOD COUNCIL. **Wood Frame Construction Manual for One- and Two-Family Dwellings**. Virginia, Estados Unidos da América, 2015

ARANTES, Renan B. **Projeto estrutural de um edifício residencial em estrutura de madeira**. Macaé: UFRJ/ Campus Macaé, 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalação predial de água fria**: NBR 5626. Rio de Janeiro, ABNT, 1998.

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

Catálogo LP Bulding Products – LP OSB Home Plus. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/>>. Acesso em: 24 de abril de 2017.

Catálogo Rewood – Soluções Estruturais em Madeira. Disponível em: <https://www.brarewood.com.br/materiais/apresentacao/Apresentacao_Rewood.pdf>. Acesso em: 24 de abril de 2017.

LUZ, Anna Carolina F. **Projeto estrutural de um edifício residencial em Aço**. Macaé: UFRJ/ Campus Macaé, 2017.

<
https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoof6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3715&p_r_p_-996514994_topicoId=3229>. Acesso em: 10 de dezembro de 2018.

SALLES, Aline T. **Projeto Estrutural de Um Edifício Residencial em *Light Steel Framing***. Macaé: UFRJ/ Campus Macaé, 2016.

PFEIL, Walter e PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira**. 8ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PROGRAMA MADEIRA É LEGAL. **Consumo Responsável de Madeira**. Disponível em: <http://sindimasp.org.br/conteudo/download/cartilha_eletronica.pdf>. Acesso em: 09 de janeiro de 2017.

RODRIGUES, Francisco C. **Steel Framing: Engenharia** (Série - Manual de Construções em Aço). 1º Ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006

ANEXO A

MATERIAIS UTILIZADOS

A.1. Laje Seca

RESISTÊNCIA E VERSATILIDADE PARA GRANDES VÃOS



O que é?

A linha LP Mezanino é mais uma inovação com a qualidade LP. São painéis ideais para soluções como lajes secas, mezaninos, paredes e divisórias, atendendo às exigências do mercado e dos profissionais da construção. O produto é disponibilizado em diferentes opções de revestimentos e espessuras. O LP Mezanino é a solução ideal para a sua obra.

Composição

Os painéis LP Mezanino são compostos por LP OSB Home, revestidos nas duas faces com placa cimentícia nas espessuras de 23 e 40 mm ou filme fenólico com espessura de 40 mm. Recebem, ainda, um tratamento de borda que confere maior impermeabilidade ao produto.

OSB, do inglês Oriented Strand Board, que significa Painel de Tiras de Madeira Orientadas, é uma placa estrutural de alta resistência físico-mecânica, além de ser um produto ecologicamente correto, pois 100% da matéria-prima é proveniente de florestas renováveis. O LP OSB Home, utilizado na fabricação do painel LP Mezanino é protegido contra cupins.

As placas cimentícias são desenvolvidas com tecnologia CCFS, sem amianto, compostas por uma mistura homogênea de cimento portland, celulose, fosfotético e aditivos.

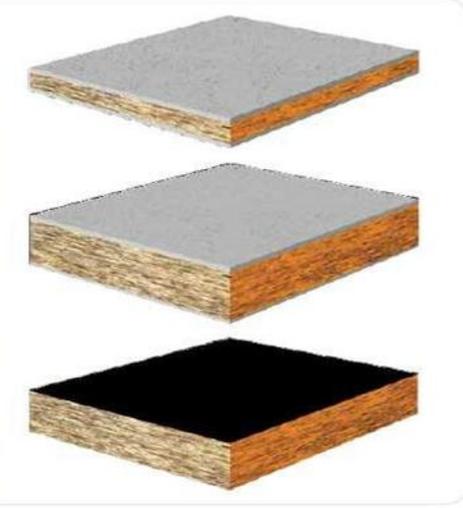
O filme fenólico com gramatura de 180g/m² possui um lado antiderrapante que garante maior segurança na instalação e no uso.

Aplicações

- Mezaninos*;
- Passarelas;
- Laje seca*;
- Paredes e divisórias técnicas;
- Shafts;
- Containers;
- Confinamentos acústicos;
- Sanitários;

*Mezaninos e lajes secas, utilizando painéis LP Mezanino, perfis de Steel Framing, LP Viga-I, perfis de aço pesado ou vigas de madeira maciça, substituem as lajes pré-moldadas de concreto com mais rapidez de execução, sem gerar sujeiras, sem escoramento, permitindo acabamento imediato após a execução.





Vantagens

- Alta resistência a cargas distribuídas: suporta até 500 kg/m²
- Vence grandes vãos sem interferir no layout: vão máximo de 1,25 m
- Diferentes espessuras e revestimentos: a solução certa para sua necessidade
- Resistência ao fogo: a superfície cimentícia é incombustível e não propaga chamas.
- Proteção contra cupins: o miolo LP OSB Home recebe tratamento anticupim
- Ecologicamente correto: o OSB utiliza matéria-prima 100% proveniente de reflorestamento. As placas cimentícias não utilizam amianto e são recicláveis.

Especificações

Revestimento	Espessura (mm)	Dimensões (m)	Peso (kg/m ²)	Nº de peças por palete	Nº Apoios	Carga Máxima (kg/m ²)*
Placa Cimentícia	23	1,20 x 2,50	23	44	4	500
Placa Cimentícia	40	1,20 x 2,50	32	25	3	500
Filme Fenólico	40	1,20 x 2,50	28	25	3	500

*Carga máxima distribuída por painel (kg/m²). Limite sugerido.

- Permite qualquer tipo de acabamento.
- Excelente isolamento acústico e térmico.

LP Mezanino

LP Mezanino 23 mm - revestimento em placa cimentícia: menor espessura, maior leveza e a mesma resistência de 500 kg/m² de carga distribuída com apoios a cada 0,80 m, promovendo uma maior economia em sua obra.

LP Mezanino 40 mm - revestimento em placa cimentícia: espessura mais utilizada no mercado, resiste a 500 kg/m² de carga distribuída com apoios a cada 1,25 m.

LP Mezanino 40 mm - revestimento em filme fenólico: maior leveza e a mesma resistência de 500 kg/m² para apoios a cada 1,25 m, garantindo resistência e economia para o projeto.

A.2. Placa OSB



O QUE É OSB?

O LP OSB Home é uma placa estrutural de alta tecnologia. Ideal para contraventamento e fechamento externo e interno de paredes, coberturas e lajes no Sistema CES, Construção Energética Sustentável (Steel Frame e Wood Frame).

As placas LP OSB são permanentemente controladas e testadas, seguindo as mais rigorosas normas internacionais de produção, padrão e qualidade.

QUAIS AS VANTAGENS DE USAR OS PAINÉIS LP?

- Economia e simplicidade na estrutura;
- Contraventa a estrutura dispensando o uso de fitas e barras;
- Alta resistência a impactos;
- Elevado conforto técnico devido a baixa condutibilidade do OSB;
- Elevado conforto acústico;
- Resistente a umidade;
- Garantia estrutural por 20 anos e contra cupins por 10 anos;
- Versátil: aceita diversos tipos de acabamentos;
- Rapidez de instalação;
- Produto ecologicamente correto;
- Assistência técnica garantida;



NORMAS			PS-2/04
ESPESSURA (MM)	DIMENSÃO (M)	PESO POR PAINEL (K.G)	APLICAÇÃO
9,5	1,20 x 2,40 1,20 x 3,00	17,5 21,9	Paredes e telhados com perfis espaçados a, no máximo, 40 cm
11,1	1,20 x 2,40 1,20 x 3,00	20,4 25,6	Paredes e telhados com perfis espaçados a, no máximo, 60 cm
15,1	1,20 x 2,40	27,8	Paredes com perfis, espaçados a, no máximo, 60 cm. Telhados a, no máximo, 80 cm. Pisos e lajes secas a, no máximo, 40 cm
18,3*	1,20 x 2,40	33,7	Pisos e lajes secas com perfis espaçados a, no máximo, 60 cm

* O LP OSB Home com espessura 18,3 mm possui a opção de bordas com encaixe macho-fêmea para aplicação em lajes secas e mezaninos.

CERTIFICAÇÃO APA

O Painel LP OSB Home é certificado pela APA (Engineered Wood Association), associação que certifica a maioria dos painéis estruturais no mundo. Os painéis que levam o carimbo APA estão aprovados quanto às suas propriedades físico-mecânicas para serem utilizados na construção de casas, conforme a normativa de construção do Canadá e EUA.

Juntamente com o selo de qualidade APA, em cada painel encontram-se instruções de aplicação do produto como:

- Especificações de uso
- Espessura nominal do painel
- Grau de exposição
- Espaçamento máximo recomendado de apoios
- Recomendações de juntas de dilatação
- Espaçamento das fixações
- Orientação de instalação
- Telefones de contato para mais informações

LP
PONTA GROSSA

APA

RATED SHEATHING
PAINEL ESTRUTURAL
24/16
ESPESSURA 11,1 MM
GRAU DE EXPOSIÇÃO
EXTERIOR PROTEGIDO
EXPOSIÇÃO 1
525
PS 2-04 SHEATHING
PRP-108 HUD-UM-40C

ATENÇÃO

ESPAÇAMENTO MÁX. APOIOS
TELHADO 80 CM
PAREDE 60 CM
SEPARAÇÃO ENTRE PAINÉIS 3MM
FIXAR A 10MM DA BORDA
ESPAÇAMENTO ENTRE FIXAÇÕES
150 MM NAS BORDAS
300 MM APOIOS INTERMEDIÁRIOS

EM TELHADOS INSTALAR
PERPENDICULAR AOS
APOIOS E PROVER
VENTILAÇÃO ADEQUADA

ESTE LADO
PARA BAIXO

ANTES DA INSTALAÇÃO
ESTABILIZAR A UMIDADE

MAIS INFORMAÇÕES
D. TÉCNICO LP
55 - 41 - 3313.2100
WWW.LPBRASIL.COM.BR

MADE IN BRAZIL

PRODUTOS RELACIONADOS



Membrana desenvolvida exclusivamente para ser utilizada em paredes externas de construções no Sistema CES. Aplicada sobre o OSB Home, atua como uma barreira contra umidade e vento, permitindo a saída do vapor d'água do interior das paredes, evitando o acúmulo de umidade.



As placas de LP TechShield são painéis de LP OSB Home revestidos em uma das faces com foil de alumínio, que garante uma menor absorção do calor proveniente dos raios solares. Possuem garantia estrutural de 20 anos e podem ser aplicados sobre telhados ou em paredes, melhorando o desempenho térmico das construções.

O QUE É O SISTEMA CES?

O Sistema CES (Construção Energética Sustentável) compreende os sistemas construtivos Wood Frame e Steel Frame. É amplamente utilizado em países desenvolvidos como Estados Unidos e Canadá, onde mais de 90% das casas são construídas em CES.

A principal característica desse sistema é o uso de uma estrutura de perfis leves de aço (Steel Frame) ou de madeira (Wood Frame), contraventadas com placas estruturais LP OSB Home, que unidos funcionam em conjunto, dando rigidez, forma e sustentação à edificação.

A.3. Gesso Acartonado

CHAPAS GYPSUM

Chapas ST - Standard

□ Áreas secas - Paredes, Forros, Revestimentos e Mobiliários Integrados

Chapa Gypsum Drywall, com borda rebaixada, voltada a montagem de paredes internas, forros, revestimentos e mobiliários integrados.



Chapa ST

Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Peso (Kg/m²)
6,40*	1.200	2.400	5,50
9,50*	1.200	2.400	8,00
12,50	1.200	1.800 a 3.000	8,50
15,00**	1.200	1.800 a 3.000	10,60

(*) Chapas ideais para elementos curvos. (**) Sob encomenda.
Produto em conformidade com a Norma ABNT NBR 15.758:2009.

Chapas ST - FGA

□ Áreas secas - Forros e Mobiliários Integrados

Chapa Gypsum Drywall, com borda rebaixada, voltada a montagem de forros internos.



Chapa ST - FGA

Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Peso (Kg/m²)
12,50	600	2.000	8,50

Produto em conformidade com a Norma ABNT NBR 15.758:2009.

Chapa RU - Resistente à umidade

□ Áreas molháveis - Paredes

Chapa Gypsum Drywall, com borda rebaixada, voltada a montagem de paredes internas em áreas úmidas. Aplicação em banheiros, cozinhas, lavabos e cômodos similares.



Chapa RU

Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Peso (Kg/m²)
12,50	1.200	1.800 a 3.000	9,00
15,00**	1.200	1.800 a 3.000	10,60

(**) Sob encomenda.

Produto em conformidade com a Norma ABNT NBR 15.758:2009.

Chapa RF - Resistência ao Fogo

□ Áreas secas - Necessidade específica de resistência ao Fogo - Paredes e Forros

Chapa Gypsum Drywall, com borda rebaixada, voltada a montagem de paredes e forros internos. Para ambientes que necessitem de maior resistência ao fogo.



Chapa RF

Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Peso (Kg/m²)
12,50	1.200	2.400	9,75
15,00	1.200	2.400	11,30

Produto em conformidade com a Norma ABNT NBR 15.758:2009.

A.4. Placa Cimentícia



sou consumidor

BUSCAR

PRODUTOS

COMO ESCOLHER

ONDE COMPRAR

BRASILIT FACILITA

Home > Produtos > Construção Industrializada > Placa Cimentícia

Placa Cimentícia



Construção Industrializada

Ideais para utilização em sistemas construtivos industrializados, as Placas Cimentícias Impermeabilizadas, além de rapidez na montagem, oferecem praticidade, conforto e resistência para as mais variadas aplicações. Podem ser usadas como elementos de fechamento de paredes estruturais, paredes de vedação, fachadas, em ambientes externos e internos.

Desenvolvidas com a exclusiva tecnologia CRFS (cimento reforçado com fio sintético), que não utiliza amianto, são produtos com grande variedade de medidas e permitem diferentes tipos de acabamento em pintura ou cerâmica.

Tipos:

- 6 mm
- 8 mm
- 10 mm
- 12 mm

Espessura	Comprimento	Largura	Peso da Placa	Peso por m ²	Aplicações
6 mm	2,00 m	1,20 m	24,4 kg	10,2 kg	Divisórias leves, forros e dutos de ar-condicionado.
	2,40 m	1,20 m	29,4 kg	10,2 kg	
	3,00 m	1,20 m	36,7 kg	10,2 kg	
8 mm*	2,00 m	1,20 m	32,6 kg	13,6 kg	Paredes internas em áreas secas e úmidas, revestimentos de paredes comuns ou em subsolos.
	2,40 m	1,20 m	39,2 kg	13,6 kg	
	3,00 m	1,20 m	49,0 kg	13,6 kg	
10 mm*	2,00 m	1,20 m	40,8 kg	17,0 kg	Utilizadas para áreas secas e úmidas, internas e externas. Ideais no fechamento externo em Sistema Steel ou Wood Framing e isolamentos termo-acústicos.
	2,40 m	1,20 m	49,0 kg	17,0 kg	
	3,00 m	1,20 m	61,2 kg	17,0 kg	
12 mm*	2,40 m	1,20 m	58,8 kg	20,4 kg	Para uso interno na compatibilização com o Drywall ou em fechamentos internos ou externos que necessitem de maior espessura por questões estéticas ou físicas específicas.
	3,00 m	1,20 m	73,5 kg	20,4 kg	

* Placas disponíveis com bordas longitudinais rebatidas para junta invisível

Aplicações dos Sistemas Construtivos	
Exteriores	Interiores
Paredes externas	Paredes internas
Fachadas	Revestimentos
Sidings	Áreas molháveis
Platibandas	Dutos
Beirais	Shafts

Descrição:

Isolante termo-acústico, que adapta-se perfeitamente as passagens hidráulicas e elétricas de sistemas de construção à seco como drywall e light steel frame.

Uso:

USO INTERNO INDICADA PARA:

Aplicação como isolamento termo-acústico em:

- Divisórias/Paredes
- Forros



Vantagens:

- Fácil de instalar
- Feltro leve e flexível
- Desempenho termo-acústico
- Produzido com 65% de vidro reciclável
- Incombustível

A.6. Caixa d'água

Ficha Técnica

Novas Caixas d' Água Tigre

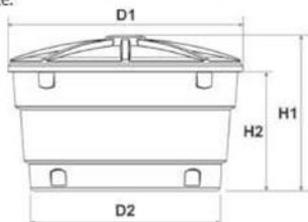
Localização no website Tigre:
Predial ► Água fria ► CAIXAS D'ÁGUA

Função:

* As Novas Caixas d' Água Tigre são tanques destinados a armazenar água potável (rede pública) para consumo humano.

Aplicações:

* As Novas Caixas d' Água Tigre podem ser aplicadas em obras residenciais e comerciais, podendo ser utilizadas também na agricultura, piscicultura, ou qualquer outra atividade que necessite de reservação de água potável à temperatura ambiente.



	Dimensões (mm)							
Coias	310	500	750	1000	1500	2000	3000	5000
D1	1039,0	1212,0	1309,1	1440,0	1702,2	1821,5	2155,0	2334,0
D2	810,3	978,3	1053,9	1145,7	1419,4	1520,3	1721,7	1823,6
H1	657,6	729,2	861,7	951,4	988,5	1113,7	1380,0	1905,0
H2	533,4	583,6	702,7	775	783,2	892,8	1124,1	1620,0

FEVEREIRO/2014

1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Matéria Prima: PEMD - Polietileno de Média Densidade;
- Processo de Fabricação: Rotomoldagem;
- Sistema de fechamento total e seguro: A tampa possui uma aba que se encaixa perfeitamente ao corpo.
- Marcação para furos no corpo da caixa: Garantia de furação sem erro.
- Manual de Instrução: Adesivo colado no corpo do produto;

1.1 - NORMAS DE REFERÊNCIA:

- * São fabricadas de acordo com a norma NBR 14799 - Reservatório poliolefinico para água potável de volume nominal de até 2000 litros - Requisitos.
- E para reservatórios acima de 2000 litros, de acordo com a norma NBR 15682 - Tanque estacionário rotomoldado em polietileno (PE) para acondicionamento de águas - Requisitos.

1.2- ITENS COMPLEMENTARES

- Adaptador para Caixa d' Água com Registro;
- Adaptador com Anel para Caixa d' Água;
- Torneira Boia Click
- Torneira Boia para Caixa d' Água;
- Linha Soldável;
- Fita Veda Rosca;
- Kit para instalação de caixa d' água (já vem com todos os produtos necessários para a instalação da caixa).

Modelo	Pesos e volumes			
	Espessura (mm)	Vol. Nominal (L)	Vol. Efetivo (L)	Peso com Tampa (Kg)
310	2,4	310	336,1	7,5
500	2,4	500	522,0	10,1
750	2,7	750	741,5	13,8
1000	2,8	1000	969,4	17,0
1500	3,0	1500	1450,7	24,5
2000	3,6	2000	1895,9	34,7
3000	4,1	3000	3061,1	54,7
5000	6,3	5000	5100,7	113,4

*Valores Aproximados

1/4