

**ANDRÉ VÍTOR DE CASTRO FERRARI**

**GUILHERME CUNHA RODRIGUES**

**LUCAS MARCHESI**

**THIAGO MENEZES DE ANDRADE**

**MÓDULOS ESTRUTURAIS PRÉ-FABRICADOS EM MADEIRA PARA  
CONSTRUÇÃO DE RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES:  
CONCEPÇÃO E ANÁLISE ESTRUTURAL**

Projeto de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo, no âmbito do Curso de  
Engenharia Civil

**SÃO PAULO**

**2013**



**ANDRÉ VÍTOR DE CASTRO FERRARI**

**GUILHERME CUNHA RODRIGUES**

**LUCAS MARCHESI**

**THIAGO MENEZES DE ANDRADE**

**MÓDULOS ESTRUTURAIS PRÉ-FABRICADOS EM MADEIRA PARA  
CONSTRUÇÃO DE RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES:  
CONCEPÇÃO E ANÁLISE ESTRUTURAL**

Projeto de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo, no âmbito do Curso de  
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Henrique Lindenberg  
Neto

**SÃO PAULO**

**2013**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Ferrari, André Vítor de Castro**

**Módulos estruturais pré-fabricados em madeira para construção de residências unifamiliares / A.V.C. Ferrari, G.C.**

**Rodrigues, L. Marchesi, T.M. de Andrade. -- São Paulo, 2013. 189 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica.**

**1.Estruturas de madeira 2.Módulos (Estrutura) 3.Análise construtiva I.Rodrigues, Guilherme Cunha II.Marchesi, Lucas III.Andrade, Thiago Menezes IV.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica V.t.**



Às nossas famílias, amigos e professores que nos  
ajudaram ao longo de nossa formação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Professor Dr. Henrique Lindenberg Neto pela orientação e grande dedicação ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Reinaldo Herrero Ponce, um dos responsáveis por nos apresentar à construção em madeira e, conseqüentemente, o desenvolvimento deste tema para nosso trabalho de conclusão de curso.

À Ana Paola Salviano de Souza, por ter participado da elaboração do primeiro trabalho de conclusão de curso, introdutório a este.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradecemos ainda aos que, mesmo conhecendo a dificuldade de aceitação da madeira como estrutura no Brasil, não pouparam esforços para que continuássemos a pesquisa do uso de madeira como material estrutural e sua aplicação neste país.

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas, ao tocar uma  
alma humana, seja apenas outra alma humana.”  
(Carl Jung)

## RESUMO

O uso da madeira como material estrutural no Brasil encontra-se defasado em relação ao restante do mundo e em relação a outros materiais como aço e concreto. Esse atraso deve-se principalmente aos preconceitos acerca do uso da madeira na construção, como a crença em devastamento de florestas e desconhecimento do manejo florestal, o desconhecimento do desempenho em situação de incêndio e o desconhecimento de agentes que mitigam ou eliminam a fragilidade perante ações biológicas e fisio-químicas. O fato da madeira produzir uma estrutura leve também entra em conflito com a cultura nacional, que confunde leveza com fragilidade e tem, conseqüentemente, sua preferência por estruturas pesadas.

Um dos principais sistemas estruturais em madeira utilizados internacionalmente é o sistema plataforma, porém por ser pouco difundido no país, o uso desse sistema pode ser considerado inovador, mas pretende-se, neste trabalho, criar módulos pré-fabricados deste sistema, visando maior velocidade de construção e total controle em obra e projetos.

Este trabalho consiste, portanto, na concepção e verificação da resistência mecânica de módulos estruturais pré-fabricados baseados no Sistema Plataforma em madeira, também conhecido por Wood Frame.

Ao final, foi realizado um estudo de caso de projeto estrutural modular de uma residência unifamiliar, cuja finalidade é comprovar a capacidade resistiva dos módulos estruturais.

Palavras-chave: Estruturas de madeira. Sistema Plataforma. Módulo estrutural. Pré-fabricados. Análise estrutural.

## **ABSTRACT**

The use of wood as a structural material in Brazil is outdated behind the rest of the world and in relation to other materials such as steel and concrete. This delay is mainly due to the prejudices about the use of wood in construction, as the belief in forest devastation and ignorance of forest management, the ignorance of performance under fire conditions and the ignorance of materials that mitigate or eliminate the weakness against biological or physio-chemical actions. The fact that the wood produces a light structure also conflict with the Brazilian culture that confuses lightness with fragility and, therefore, has a preference for heavy structures.

One of the main wooden structural system is the platform wood frame system, but as it's not widespread in the country, the use of this system can be considered as innovative, but it's intended in this work to create prefabricated modules of this system construction, aiming at greater speed of construction and full control on projects and construction sites.

This work, therefore, consists in design and mechanical strength analisys of prefabricated modules based in the Plataform Wood Frame Construction.

At the end, a case of structural module design of a residence was done, whose purpose is to prove the resistive capacity of the structural modules.

**Keywords:** Wood structure. Plataform Wood Frame Construction. Structural Module. Prefabricated. Structural Analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - DESCRIÇÃO SIMPLIFICADA DA ANATOMIA DE UMA SEÇÃO DO CAULE DE UMA ÁRVORE	30
FIGURA 2 - ASPECTOS ANATÔMICOS DAS CONÍFERAS	31
FIGURA 3 - ASPECTOS ANATÔMICOS DAS DICOTILEDÔNEAS	32
FIGURA 4 - ÁREA DE PLANTIO DE PINUS NO BRASIL EM 2012	34
FIGURA 5 - EXEMPLO DE ÁRVORES A SEREM REMOVIDAS EM UM DESBASTE	36
FIGURA 6 - DESDOBRO	38
FIGURA 7 - DESDOBRO RADIAL	38
FIGURA 8 - PEÇA DE MADEIRA LAMINADA COLADA	39
FIGURA 9 - PONTE EM ESTRUTURA DE MADEIRA LAMINADA COLADA SOBRE O	39
FIGURA 10 - MONTAGEM DOS PAINÉIS DE CLT	40
FIGURA 11 - EDIFÍCIO RESIDENCIAL COM PAINÉIS ESTRUTURAIS EM CLT, INGLATERRA, 2009	41
FIGURA 12 - MADEIRA AGLOMERADA	42
FIGURA 13 - PLACA OSB	42
FIGURA 14 - FASES DE DEGRADAÇÃO DA MADEIRA	52
FIGURA 15 - COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS	56
FIGURA 16 - STONEHENGE, INGLATERRA - EXEMPLO DE SISTEMA VIGA-PILAR CONSTRUÍDO EM TORNO DO ANO 3000 A.C	58
FIGURA 17 - PARTHENON, GRÉCIA - EXEMPLO DE SISTEMA VIGA-PILAR CONSTRUÍDO NO SÉCULO V A.C.	59
FIGURA 18 - VIADUTO JOSÉ BONIFÁCIO COUTINHO NOGUEIRA, SÃO PAULO, SP – EXEMPLO DE SISTEMA VIGA- PILAR EM CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO	59
FIGURA 19 - ANTIGO MERCADO DA VILA DE PARANAPIACABA, SANTO ANDRÉ, SP – EXEMPLO DE SISTEMA VIGA-PILAR EM MADEIRA, CONSTRUÍDO EM 1899	60
FIGURA 20 - PAINEL INDICANDO O MÉTODO CONSTRUTIVO DE UMA CASA DE MADEIRA COM SISTEMA DE MONTANTES DA VILA DE PARANAPIACABA.	61
FIGURA 21 - PARAFUSOS.	62
FIGURA 22 - PREGOS	63
FIGURA 23 - CAVILHAS DE MADEIRA	63
FIGURA 24 - CHAPAS METÁLICAS COM PARAFUSOS	63
FIGURA 25 - LIGAÇÕES TIPO ENCAIXE	64
FIGURA 26 - CAVILHAS METÁLICAS.	64
FIGURA 27 - BARRA ROSCADA METÁLICA	65
FIGURA 28 - LIGAÇÃO COM PREGOS E BARRAS ROSCADAS.	65
FIGURA 29 - ESQUEMA GERAL DE UMA CONSTRUÇÃO NO SISTEMA “BALOON FRAME”	66
FIGURA 30 - ESQUEMA GERAL DE UMA CONSTRUÇÃO NO SISTEMA PLATAFORMA	68
FIGURA 31 - VISÃO EXPLODIDA DE UMA CASA NO SISTEMA PLATAFORMA	69
FIGURA 32 - VISÃO GERAL DE UMA FUNDAÇÃO EM ESTACAS DE MADEIRA	70
FIGURA 33 - DISTRIBUIÇÃO HOMOGÊNEA DAS ESTACAS DE MADEIRA E SEU DEVIDO VIGAMENTO	71

FIGURA 34 - BARROTEAMENTO DO PISO SOB FUNDAÇÃO EM ESTACAS DE MADEIRA	72
FIGURA 35 - DETALHE CONSTRUTIVO DO PISO NO SISTEMA PLATAFORMA	72
FIGURA 36 - ESQUEMA GERAL DE UMA PAREDE NO SISTEMA PLATAFORMA	74
FIGURA 37 - DETALHE CONSTRUTIVO DE UMA JANELA NO SISTEMA PLATAFORMA	74
FIGURA 38 - EXEMPLOS DE REVESTIMENTOS EM TÁBUA DE MADEIRA PARA PAREDES NO SISTEMA	75
FIGURA 39 - DETALHE CONSTRUTIVO DE REVESTIMENTOS EM TÁBUAS HORIZONTAIS E DIAGONAIS PARA PAREDES EXTERNAS NO SISTEMA PLATAFORMA	76
FIGURA 40 - DETALHE CONSTRUTIVO DE UM TELHADO PARA O SISTEMA PLATAFORMA	77
FIGURA 41 - VISTA LATERAL DA JUNÇÃO DE UMA PAREDE COM O TELHADO NO SISTEMA PLATAFORMA	77
FIGURA 42 - DETALHE CONSTRUTIVO DE TALHADOS PLANOS PARA O SISTEMA PLATAFORMA. A – BEIRAL COM MENOS DE 90 CM. B – BEIRAL COM MAIS DE 90 CM	78
FIGURA 43 - DETALHE DA LIGAÇÃO DA ESTRUTURA DE MADEIRA COM A BASE DE ALVENARIA	79
FIGURA 44 - DETALHE DA LIGAÇÃO DA ESTRUTURA DE MADEIRA COM A BASE DE CONCRETO	80
FIGURA 45 - DETALHE CONSTRUTIVO DO SEGUNDO PAVIMENTO NO SISTEMA PLATAFORMA	80
FIGURA 46 - EXEMPLO DOS TAMANHOS DE PREGO MAIS UTILIZADOS NOS EUA PARA A CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÃO NO SISTEMA PLATAFORMA	81
FIGURA 47 - EXECUÇÃO DOS SISTEMAS PREDIAIS DE ESGOTO ANTES DA EXECUÇÃO DA ESTRUTURA DO SISTEMA PLATAFORMA	83
FIGURA 48 - DIMENSÕES BÁSICAS DO MÓDULO DE PAREDE	87
FIGURA 49 - EXEMPLO DO MÓDULO DE PAREDE	88
FIGURA 50 - EXEMPLO DAS CLASSES DE RESISTÊNCIA	89
FIGURA 51 - EXEMPLO DO AJUSTE DE MEDIDA DOS MÓDULOS	89
FIGURA 52 - EXEMPLO DE MÓDULO DE PORTA	92
FIGURA 53 - EXEMPLO DE MÓDULO DE JANELA GRANDE	92
FIGURA 54 - EXEMPLO DE MÓDULO DE JANELA MÉDIA	93
FIGURA 55 - EXEMPLO DE MÓDULO DE JANELA PEQUENA	93
FIGURA 56 - DIMENSÕES BÁSICAS DE UM MÓDULO DE PISO	94
FIGURA 57 - PERSPECTIVA EM RAIO X DO MÓDULO DE PISO	94
FIGURA 58 - PERSPECTIVA DE UM MÓDULO DE PISO VISTO POR CIMA	95
FIGURA 59 - PERSPECTIVA DE UM MÓDULO DE PISO VISTO POR BAIXO	96
FIGURA 60 - PERSPECTIVA DO MÓDULO DE ESCADA E SUA ESTRUTURA INTERNA	97
FIGURA 61 - PERSPECTIVA EM RAIO-X DO MÓDULO DE ESCADA	97
FIGURA 62 - PERSPECTIVA DE UM MÓDULO DE PISO ESPECIAL VISTO POR CIMA	98
FIGURA 63 - PERSPECTIVA DE UM MÓDULO DE PISO ESPECIAL VISTO POR BAIXO	98
FIGURA 64 - DETALHE DA LIGAÇÃO SUPERIOR ENTRE DOIS MÓDULOS DE PAREDE	100
FIGURA 65 - DETALHE DA LIGAÇÃO CENTRAL ENTRE DOIS MÓDULOS DE PAREDE	101
FIGURA 66 - DETALHE DA LIGAÇÃO INFERIOR ENTRE DOIS MÓDULOS DE PAREDE	101
FIGURA 67 - DETALHE DA LIGAÇÃO SUPERIOR, EM RAIO-X, DE TRÊS MÓDULOS DE PAREDE	102

FIGURA 68 - DETALHE DA LIGAÇÃO CENTRAL, EM RAIO-X, DE TRÊS MÓDULOS DE PAREDE	102
FIGURA 69 - DETALHE DA LIGAÇÃO INFERIOR, EM RAIO-X, DE TRÊS MÓDULOS DE PAREDE	103
FIGURA 70 - EXEMPLOS DE LIGAÇÕES ENTRE MÓDULOS DE PAREDE	103
FIGURA 71 - DETALHE DA LIGAÇÃO ENTRE MÓDULOS DE PISO	104
FIGURA 72 - EXEMPLO SIMPLIFICADO DA LIGAÇÃO ENTRE O MÓDULO DE PISO E A FUNDAÇÃO DE CONCRETO	105
FIGURA 73 - EPS – POLIESTIRENO EXPANDIDO	107
FIGURA 74 - XPS – POLIESTIRENO EXTRUDADO	107
FIGURA 75 - ISO – POLIISOCIANURATO	108
FIGURA 76 - PERFIL DE CONEXÃO F	109
FIGURA 77 - DETALHE PARA SIDING E JANELA	110
FIGURA 78 - PADRÕES DE <i>SIDING</i> E FIXAÇÃO	110
FIGURA 79 - DETALHE DE LIGAÇÕES EM CANTOS	111
FIGURA 80 - FECHAMENTO EXTERNO COM ALVENARIA	111
FIGURA 81 - SISTEMA DE VEDAÇÃO	112
FIGURA 82 - CASA EM SISTEMA <i>WOOD FRAME</i>	112
FIGURA 83 - TIPOS DE TELHADO CONVENCIONAL	115
FIGURA 84 - DETALHE DE LIGAÇÃO DO TELHADO COM A ESTRUTURA	116
FIGURA 85: MODELO ESTRUTURAL DO MÓDULO P 3.0 C1	128
FIGURA 86: PESO PRÓPRIO DOS MÓDULOS	130
FIGURA 87: CARGA VARIÁVEL SUPERIOR Q (EM KN/M)	130
FIGURA 88: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS PARA $Q_D = -28 \text{ KN/M}$	131
FIGURA 89: DIAGRAMA DE MOMENTOS FLETORES PARA $Q_D = -15 \text{ KN/M}$	131
FIGURA 90: DIAGRAMA DE FORÇAS CORTANTES PARA $Q_D = -17 \text{ KN/M}$	132
FIGURA 91: MODELO ESTRUTURAL DO MÓDULO L 3.0X3.0	134
FIGURA 92: PESO PRÓPRIO DA ESTRUTURA	136
FIGURA 93: CARGA VARIÁVEL AO LONGO DOS ELEMENTOS (EM $\text{KN/M}^2$ )	136
FIGURA 94: DIAGRAMA DE MOMENTOS FLETORES PARA $Q_D = 14 \text{ KN/M}^2$	137
FIGURA 95: DESLOCAMENTOS PARA $Q_D = 32 \text{ KN/M}^2$ (VALORES EM $\times 10^1 \text{ MM}$ )	137
FIGURA 96: DIAGRAMA DE FORÇAS CORTANTES PARA $Q_D = -28 \text{ KN/M}^2$	138
FIGURA 97: MODELO DE DOIS MÓDULOS P 3.0X3.0 COMBINADOS	139
FIGURA 98: PESO PRÓPRIO DA ESTRUTURA	141
FIGURA 99: CARGA VARIÁVEL AO LONGO DA ESTRUTURA (EM $\text{KN/M}^2$ )	142
FIGURA 100: DIAGRAMA DE MOMENTOS FLETORES PARA $Q_D = -4 \text{ KN/M}^2$	143
FIGURA 101: DESLOCAMENTO NA REGIÃO CENTRAL DA ESTRUTURA PARA $Q_D = -6 \text{ KN/M}^2$ (VALORES EM $\times 10^1 \text{ MM}$ )	144
FIGURA 102: DIAGRAMA DE FORÇAS CORTANTES PARA $Q_D = -16 \text{ KN/M}^2$	145
FIGURA 103: DETALHE DA LIGAÇÃO ENTRE BARROTES	146



FIGURA 104: MODELO ESTRUTURAL DO MÓDULO P 3.0 C1 COM ABERTURA DE JANELA	147
FIGURA 105: PESO PRÓPRIO DA ESTRUTURA	150
FIGURA 106: CARGA LINEAR VARIÁVEL SUPERIOR (EM KN/M)	150
FIGURA 107: DIAGRAMA DE FORÇAS NORMAIS PARA $Q_D = -28$ KN/M	151
FIGURA 108: DIAGRAMA DE MOMENTOS FLETORES PARA $Q_D = -12$ KN/M	151
FIGURA 109: DIAGRAMA DE FORÇAS CORTANTES PARA $Q_D = -15$ KN/M	152
FIGURA 110: LOCALIZAÇÃO DO TERRENO	153
FIGURA 111: IMPLANTAÇÃO (1:200)	155
FIGURA 112: PLANTA DO PAVIMENTO TÉRREO (1:100)	156
FIGURA 113: PLANTA DO 1º PAVIMENTO (1:100)	157
FIGURA 114: PERSPECTIVA DA CASA	158
FIGURA 115: PERSPECTIVA DA CASA	158
FIGURA 116: PERSPECTIVA DA CASA	159
FIGURA 117: PERSPECTIVA DA CASA	159
FIGURA 118: PLANTA DE PISO DO PAVIMENTO TÉRREO (1:100)	161
FIGURA 119: PLANTA DE PISO DO 1º PAVIMENTO (1:100)	162
FIGURA 120: PLANTA DE PAREDE DO PAVIMENTO TÉRREO (1:100)	163
FIGURA 121: PLANTA DE PAREDE DO 1º PAVIMENTO (1:100)	164
FIGURA 122: PLANTA UNIFICADA DO PAVIMENTO TÉRREO (1:100)	165
FIGURA 123: PLANTA UNIFICADA DO 1º PAVIMENTO (1:100)	166
FIGURA 124: ETAPA 1: PISOS DO PAVIMENTO TÉRREO	167
FIGURA 125: ETAPA 2: PAREDES DO PAVIMENTO TÉRREO	167
FIGURA 126: ETAPA 3: PISO SUPERIOR DO PAVIMENTO TÉRREO E PISOS DO 1º PAVIMENTO	168
FIGURA 127: ETAPA 4: PAREDES DO 1º PAVIMENTO	168
FIGURA 128: ETAPA 5: LAJE SUPERIOR DO 1º PAVIMENTO	169
FIGURA 129: DISPOSIÇÃO INTERNA DO PAVIMENTO TÉRREO	169
FIGURA 130: DISPOSIÇÃO INTERNA DO 1º PAVIMENTO	170
FIGURA 131: IMAGEM RENDERIZADA DO MODELO ESTRUTURAL	170
FIGURA 132: ELEVAÇÃO DE PAREDE	171
FIGURA 133: PLANTA INFERIOR	172
FIGURA 134: PLANTA SUPERIOR	173
FIGURA 135: PLANTA DE COBERTURA	174
FIGURA 136: CARGAS VARIÁVEIS NO PISO INFERIOR	178
FIGURA 137: CARGAS VARIÁVEIS DO PISO SUPERIOR	178
FIGURA 138: CARGA PERMANENTE DA CAIXA D'ÁGUA	179
FIGURA 139: CARGA VARIÁVEL DA COBERTURA	179
FIGURA 140: DIAGRAMA DE FORÇAS NORMAIS – FACHADA LATERAL	181
FIGURA 141: DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR - PLANTA INFERIOR	181

FIGURA 142: DIAGRAMA DE FORÇA CORTANTE - PLANTA INFERIOR	182
FIGURA 143: DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR - PLANTA SUPERIOR	182
FIGURA 144: DIAGRAMA DE FORÇA CORTANTE - PLANTA SUPERIOR	183
FIGURA 145: DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR – COBERTURA	183
FIGURA 146: DIAGRAMA DE CORTANTE – COBERTURA	184

## LISTA DE TABELA

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MATERIAIS (DENSIDADE DO MATERIAL, ENERGIA CONSUMIDA NA PRODUÇÃO E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO)	25
TABELA 2 - COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MATERIAIS	25
TABELA 3 - COMPOSIÇÃO ORGÂNICA DAS MADEIRAS	32
TABELA 4 - FAMÍLIAS E TIPOS DE PRODUTOS DE MADEIRA	37
TABELA 5 - CLASSES DE UMIDADE DA MADEIRA	43
TABELA 6 - RELAÇÕES ENTRE AS RESISTÊNCIAS	44
TABELA 7 - CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS CONÍFERAS	44
TABELA 8 - CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS DICOTILEDÔNEAS	44
TABELA 9 - COEFICIENTES DE MINORAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS PARA CLASSES DE CARREGAMENTO DA MADEIRA ( $K_{MOD1}$ )	45
TABELA 10 - COEFICIENTES DE MINORAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS PARA CLASSES DE UMIDADE DA MADEIRA ( $K_{MOD2}$ )	45
TABELA 11 - CLASSES DE QUALIDADE DA MADEIRA ( $K_{MOD3}$ )	45
TABELA 12 - COEFICIENTES DE MINORAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA	46
TABELA 13 - CLASSES DE RISCO DA MADEIRA	48
TABELA 14 - ALTERAÇÕES PROVOCADAS TERMICAMENTE NA MADEIRA SECA	50
TABELA 15 - FASES DE DEGRADAÇÃO DA MADEIRA	51
TABELA 16 - CONDUÇÃO TÉRMICA DOS DIFERENTES MATERIAIS DE MADEIRA	54
TABELA 17 - VALORES DE DECIBÉIS (DB) E CURVA DE RUÍDO (NC)	57
TABELA 18 - LISTA DE TODOS OS MÓDULOS DE PAREDE E SUAS DENOMINAÇÕES	90
TABELA 19 - TABELA COM TODOS OS MÓDULOS DE PISOS E SUAS DENOMINAÇÕES	95
TABELA 20- PROPRIEDADES DOS MATERIAIS	119
TABELA 21 - TABELA DE MATERIAIS UTILIZADOS NO MODELO	120
TABELA 22 - COEFICIENTES DE MAJORAÇÃO DAS CARGAS - AÇÕES PERMANENTES DE PEQUENA VARIABILIDADE	121
TABELA 23 - COEFICIENTES DE MAJORAÇÃO DAS CARGAS - AÇÕES PERMANENTES DE GRANDE VARIABILIDADE	121
TABELA 24 - MOMENTOS FLETORES ADMISSÍVEIS NAS BARRAS	123
TABELA 25 - COEFICIENTE DE FLUÊNCIA	125
TABELA 26 - ESFORÇOS NORMAIS ADMISSÍVEIS PARA ELEMENTOS DE BARRA COMPRIMIDOS	126
TABELA 27: FORÇAS CORTANTES ADMISSÍVEIS NAS BARRAS	126
TABELA 28: SAÍDA DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DO SOFTWARE STRAP - MÓDULO P 3.0 C1	128
TABELA 29: RESULTADO DOS MÓDULOS DE PAREDE C 1	132
TABELA 30: RESULTADOS DOS MÓDULOS DE PAREDE C 2	133
TABELA 31: RESULTADOS DOS MÓDULOS DE PAREDE C 3	133
TABELA 32 - CARREGAMENTO DE PROJETO MÁXIMO POR CLASSE DE ESPAÇAMENTO	133

TABELA 33 - SAÍDA DA LISTA DE PROPRIEDADES DO STRAP - MÓDULO L 3.0X3.0	134
TABELA 34 - SAÍDA DAS PROPRIEDADES DO STRAP – MÓDULO P 3.0X3.0	140
TABELA 35 - SAÍDA DA PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DO STRAP – MODULO P 3.0 C1	148
TABELA 36 – ESFORÇOS NORMAIS ADMISSÍVEIS	148
TABELA 37 - SAÍDA DA PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DO STRAP	175
TABELA 38 - SAÍDA DA PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DO STRAP	176
TABELA 39 - SAÍDA DA PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DO STRAP	177
TABELA 40: MÁXIMAS SOLICITAÇÕES ADMISSÍVEIS POR PROPRIEDADE	180
TABELA 41: COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS MÁXIMOS COM OS ESFORÇOS ADMISSÍVEIS	184

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ABRAFLO: Associação Brasileira de Florestas Plantadas  
CERFLO: Programa Brasileiro de Certificação Florestal  
CFTV: Circuito Fechado de Televisão  
CLT: *Cross Laminated Timber*  
CPVC: Cloreto de Polivinila Clorado  
EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias  
EPS: Poliestireno Expandido  
FSC: *Forest Stewardship Council*  
HDF: *High Density Fiberboard*  
IBRACON: Instituto Brasileiro do Concreto  
IMA: Incrementos Médios Anuais  
INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia  
IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
MDF: *Medium Density Fiberboard*  
MLC: Madeira Laminada Colada  
OSB: *Oriented Strand Board*  
PEFC: *Program for Endorsement or Forest Certification*  
PEX: Polietileno Reticulado  
PEX-Al-PEX: Polietileno Reticulado – Alumínio – Polietileno Reticulado  
PPR: Polipropileno  
PRODEPEF: Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal  
PVC: Cloreto de Polivinila  
SAE: Sistemas de Análise Estrutural  
STRAP: *Structural Analysis Program*  
X-Lam: *Cross Laminated Timber*  
XPS: Poliestireno Extrudado

c: Calor específico (J/kg°C).  
d: Densidade do material  
dB: Decibel

$e_a$ : Excentricidade accidental mínima  
 $e_c$ : Excentricidade construtiva  
 $e_{ig}$ : Excentricidade de primeira ordem devido a cargas permanentes  
 $E_{w0}$ : Módulo de elasticidade da madeira paralelo às fibras  
 $E_{w90}$ : Módulo de elasticidade da madeira perpendicular às fibras  
 $f_{c0,d}$ : Resistência à compressão da madeira de projeto (paralelo às fibras)  
 $f_{c0,k}$ : Resistência à compressão da madeira característica (paralelo às fibras)  
 $f_{c90,d}$ : Resistência à compressão da madeira de projeto (perpendicular às fibras)  
 $f_{c90,k}$ : Resistência à compressão da madeira característica (perpendicular às fibras)  
 $f_{t0,d}$ : Resistência à tração da madeira de projeto (paralelo às fibras)  
 $f_{t0,k}$ : Resistência à tração da madeira característica (paralelo às fibras)  
 $f_{t90,d}$ : Resistência à tração da madeira de projeto (perpendicular às fibras)  
 $f_{t90,k}$ : Resistência à tração da madeira característica (perpendicular às fibras)  
 $f_{tM,k}$ : Resistência à tração na flexão  
 $f_{V0,k}$ : Resistência ao cisalhamento da madeira  
 $i_{min}$ : Raio de giração mínimo  
 $k_{mod}$ : Coeficiente de modificação final  
 $k_{mod1}$ : Coeficiente de modificação para classes de carregamento  
 $k_{mod2}$ : Coeficiente de modificação para classes de umidade  
 $k_{mod3}$ : Coeficiente de modificação para qualidade da madeira  
 $L_o$ : Comprimento de flambagem  
 $M_s$ : Massa seca  
 $n$ : Número de corpos de prova ensaiados  
 $NC$ : Curva de Ruído  
 $U_{amb}$ : Umidade Relativa do Ambiente  
 $U_{eq}$ : Umidade de Equilíbrio da Madeira  
 $V_{sat}$ : Volume saturado  
 $z$ : Altura da seção  
 $\gamma_g$ : Coeficiente de majoração de cargas  
 $\gamma_w$ : Coeficiente de minoração da resistência da madeira  
 $\lambda$ : Coeficiente de condutibilidade térmica do material (W/m°C)  
 $\lambda$ : Esbeltez da barra

$\rho_{aparente}$ : Densidade aparente

$\rho_{bas,m}$ : Densidade básica média

$\sigma_{cd}$ : Tensão de compressão de projeto

$\sigma_{td}$ : Tensão de tração de projeto

$\sigma_{Nd}$ : Tensão normal devido à força normal

$\sigma_{Md}$ : Tensão normal devido ao momento fletor

$\tau_d$ : Tensão de cisalhamento de projeto

# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>26</b>
<b>3.</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>27</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>28</b>
<b>5.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>29</b>
5.1.	<b>MATÉRIA PRIMA.....</b>	<b>29</b>
5.1.1.	ORIGEM E REPRODUÇÃO DE MADEIRA .....	29
5.1.2.	FISIOLOGIA E CRESCIMENTO DA ÁRVORE .....	30
5.1.3.	ANATOMIA DO TECIDO LENHOSO .....	31
5.1.4.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA .....	32
5.1.5.	ESPÉCIE A SER UTILIZADA .....	33
5.2.	<b>ANÁLISE AMBIENTAL .....</b>	<b>34</b>
5.2.1.	HISTÓRICO .....	34
5.2.2.	EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS .....	35
5.2.3.	SISTEMA DE PLANTIO .....	35
5.2.4.	CERTIFICAÇÃO FLORESTAL.....	36
5.3.	<b>CORTES E PRODUTOS.....</b>	<b>37</b>
5.3.1.	MADEIRA SERRADA .....	37
5.3.2.	MADEIRA LAMINADA COLADA .....	38
5.3.3.	MADEIRA LAMINADA COLADA CRUZADA.....	39
5.3.4.	MADEIRA COMPENSADA .....	41
5.3.5.	MADEIRA RECOMPOSTA.....	41
5.4.	<b>COMPORTAMENTO DA MADEIRA.....</b>	<b>43</b>
5.4.1.	RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	43
5.4.2.	RESISTÊNCIA BIOLÓGICA E TIPOS DE TRATAMENTO .....	46
5.4.3.	ANÁLISE DO MATERIAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO .....	48
5.4.3.1.	A MADEIRA .....	49
5.4.3.2.	COMPORTAMENTO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO .....	49



5.4.4.	COMPORTAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO .....	52
5.4.4.1.	CONFORTO TÉRMICO .....	53
5.4.4.2.	CONFORTO ACÚSTICO .....	57
<b>5.5.</b>	<b>SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....</b>	<b>58</b>
5.5.1.	SISTEMA VIGA-PILAR .....	58
5.5.2.	SISTEMA DE MONTANTES ( <i>FRAME CONSTRUCTION</i> ) .....	60
5.5.3.	SISTEMA DE PAINÉIS ESTRUTURAIS .....	62
5.5.4.	LIGAÇÕES.....	62
<b>6.</b>	<b>O SISTEMA PLATAFORMA.....</b>	<b>66</b>
6.1.	HISTÓRICO .....	66
6.2.	ANÁLISE DO SISTEMA .....	69
6.2.1.	FUNDAÇÃO .....	70
6.2.2.	PISO .....	71
6.2.3.	PAREDES EXTERNAS.....	73
6.2.4.	PAREDES INTERNAS .....	76
6.2.5.	TELHADO .....	77
6.3.	LIGAÇÕES.....	79
6.4.	RELAÇÃO COM OUTROS SUBSISTEMAS .....	81
<b>7.</b>	<b>MÓDULOS ESTRUTURAIS.....</b>	<b>84</b>
7.1.	INOVAÇÃO TECNOLÓGICA POR TRÁS DA MODULAÇÃO.....	84
7.2.	CRIAÇÃO E CONCEPÇÃO DOS MÓDULOS .....	85
7.2.1.	MÓDULOS DE PAREDE.....	86
7.2.2.	MÓDULOS DE PAREDE COM ABERTURA.....	91
7.2.3.	MÓDULOS DE PISO .....	94
7.2.4.	MÓDULOS ESPECIAIS.....	96
7.3.	LIGAÇÕES.....	99
7.3.1.	PAREDE-PAREDE.....	99
7.3.2.	PAREDE-PISO .....	104
7.3.3.	PISO-PISO .....	104
7.3.4.	PISO-FUNDAÇÃO .....	105
<b>8.</b>	<b>RELAÇÃO DOS MÓDULOS ESTRUTURAIS COM OUTROS SUBSISTEMAS .....</b>	<b>106</b>
8.1.	VEDAÇÕES .....	106
8.2.	VEDAÇÕES EXTERNAS.....	106

<b>8.3. VEDAÇÕES INTERNAS E HORIZONTAIS .....</b>	<b>108</b>
8.3.1. RELAÇÃO ENTRE: VEDAÇÕES, MÓDULOS E ABERTURAS .....	109
<b>8.4. IMPERMEABILIZAÇÃO .....</b>	<b>113</b>
8.4.1. NBR 9575 – IMPERMEABILIZAÇÃO – SELEÇÃO E PROJETO .....	113
8.4.2. HOUSEWRAP® .....	114
<b>8.5. TELHADOS .....</b>	<b>114</b>
8.5.1. LAJE IMPERMEABILIZADA .....	114
8.5.2. TELHADO PLANO .....	115
8.5.3. TELHADO CONVENCIONAL .....	115
<b>8.6. SISTEMAS PREDIAIS .....</b>	<b>117</b>
<b>8.7. UNIÃO DOS MÓDULOS AOS SEUS SUBSISTEMAS .....</b>	<b>117</b>
<b>9. ANÁLISE ESTRUTURAL DOS MÓDULOS .....</b>	<b>119</b>
<b>9.1. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.....</b>	<b>119</b>
<b>9.2. MATERIAIS EMPREGADOS .....</b>	<b>119</b>
<b>9.3. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.....</b>	<b>120</b>
9.3.1. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO .....	122
9.3.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	122
9.3.3. FLEXÃO SIMPLES NORMAL .....	122
9.3.4. FLEXOCOMPRESSÃO .....	123
9.3.5. ESTABILIDADE .....	123
9.3.6. CISALHAMENTO.....	126
<b>9.4. DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS DE PAREDE .....</b>	<b>127</b>
9.4.1. MODELO ESTRUTURAL DO MÓDULO P 3.0 C1.....	128
9.4.2. CARREGAMENTOS CONSIDERADOS.....	130
9.4.3. RESULTADOS OBTIDOS .....	131
<b>9.5. DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS DE PISO .....</b>	<b>133</b>
9.5.1. MODELO ESTRUTURAL DO MÓDULO L 3.0X3.0 .....	134
9.5.2. CARREGAMENTOS CONSIDERADOS.....	136
9.5.3. RESULTADOS OBTIDOS .....	137
<b>9.6. DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS DE PISO COMBINADOS .....</b>	<b>138</b>
9.6.1. MODELO ESTRUTURAL DE DOIS MÓDULOS P 3.0x3.0 COMBINADOS .....	139
9.6.2. CARREGAMENTOS CONSIDERADOS.....	141
9.6.3. RESULTADOS OBTIDOS .....	143

<b>9.7. DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS DE PAREDE COM ABERTURA .....</b>	<b>147</b>
9.7.1. MODELO ESTRUTURAL DO MÓDULO P 3.0 C1 COM JANELA.....	147
9.7.2. CARREGAMENTOS CONSIDERADOS.....	150
9.7.3. RESULTADOS OBTIDOS .....	151
<b>10. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>153</b>
10.1. TERRENO .....	153
10.2. CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA.....	154
10.3. MODULAÇÃO E MONTAGEM.....	160
10.4. VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL.....	170
<b>11. CONCLUSÃO .....</b>	<b>185</b>
<b>12. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>186</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, a madeira é muito utilizada na construção civil para construção de coberturas, cimbramentos, painéis divisórios, portas, caixilhos, pisos, forros, entre outros. Entretanto, seu uso para fins estruturais ainda é muito baixo devido aos seguintes fatores:

- Amplo domínio do mercado de outras tecnologias, como o concreto armado e, mais recentemente, a alvenaria estrutural;
- Insuficiente divulgação das informações tecnológicas já disponíveis acerca de seu comportamento sob as diferentes condições de serviço;
- Falta de projetos específicos em madeira desenvolvidos por profissionais habilitados.

Fato é que a produção mundial de madeira para fins estruturais encontra-se por volta de  $10^9$  toneladas por ano (MACEDO 2000), o que mostra a importância desse material como insumo para estruturas no contexto mundial.

No Brasil ainda existem alguns preconceitos acerca do uso da madeira na construção civil. Acredita-se que a extração da madeira está relacionada com o devastamento de florestas, o que é uma ideia equivocada. É possível realizar um manejo ambiental da exploração das florestas de forma racional, controlada e sustentável, uma vez que a madeira utilizada é de reflorestamento. Esta técnica pode garantir a perenidade das florestas naturais.

Outro preconceito que existe para o uso da madeira na construção civil é em relação ao seu desempenho perante uma situação de incêndio. Porém, na realidade, a madeira apresenta um desempenho superior em relação a outros materiais apesar de sua inflamabilidade a altas temperaturas. Sua carbonatação superficial em situação de incêndio cria uma barreira de isolamento térmico, o que protege o material.

Do ponto de vista estrutural é possível notar, através dos estudos comparativos entre os diferentes materiais utilizados na produção de estruturas apresentados nas tabelas 1 e 2, que a madeira é um material muito mais leve

em comparação com o concreto e com o aço, além de consumir menos energia para ser produzido.

Tabela 1 - Comparação entre diferentes materiais (densidade do material, energia consumida na produção e resistência à compressão)

<b>Material</b>	<b>Densidade do Material (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Energia Consumida na Produção (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
Concreto	2,4	1920	20
Aço	7,8	234000	250
Madeira (Conífera)	0,6	600	50
Madeira (Dicotiledônea)	0,9	630	75

Fonte: IBRACON (2007)

Tabela 2 - Comparação entre diferentes materiais

<b>Material</b>	<b>Módulo de Elasticidade (MPa)</b>	<b>Energia Consumida na Produção / Resistência (MJ / m<sup>3</sup>xMPa)</b>	<b>Resistência / Densidade do Material (MPa x cm<sup>3</sup> / g)</b>
Concreto	20000	96,0	8,3
Aço	210000	936,0	32,1
Madeira (Conífera)	10000	12,0	83,3
Madeira (Dicotiledônea)	15000	8,4	83,3

Fonte IBRACON (2007)

Outro ponto importante que pode ser verificado nas tabelas 1 e 2 é a relação resistência / peso específico da madeira, que é muito maior do que a dos outros elementos, garantindo uma mesma resistência com menor massa.

Em contraposição, vale notar que a estrutura de aço, diferente da estrutura de concreto e de madeira, é uma estrutura muito mais esbelta, que consome um menor volume de material para produzir uma estrutura equivalente de concreto ou de madeira.

## 2. OBJETIVOS

Os principais objetivos deste trabalho são:

- a) Apresentar as vantagens do uso da madeira como material estrutural, bem como suas propriedades físicas, químicas e biológicas;
- b) Apresentar a concepção dos módulos estruturais pré-fabricados no sistema plataforma (*wood frame*);
- c) Analisar a resistência mecânica dos módulos estruturais;
- d) Realizar um estudo de caso para aplicação dos módulos estruturais em uma residência unifamiliar.

### **3. JUSTIFICATIVA**

Este trabalho possui duas justificativas:

- a) Quanto ao uso da madeira como material estrutural: Incentivar seu uso, reduzindo preconceitos e informar sobre suas qualidades técnicas e vantagens com relação a outros métodos construtivos.
- b) Quanto à pré-fabricação e modulação: Aplicar a industrialização de pré-fabricados, buscando racionalização em projeto e obra, com consequente diminuição de perdas, aumento de produtividade, maior velocidade construtiva e redução do emprego de mão-de-obra especializada no canteiro de obras.

## 4. METODOLOGIA

Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica, buscando-se:

- Mostrar o crescimento da madeira e o manejo florestal;
- Reunir dados técnicos sobre estruturas de madeira e vedações para conforto térmico e acústico;
- Mostrar os tipos de sistemas estruturais em madeira utilizados no mundo;
- Escolher o sistema estrutural e a espécie de madeira a ser utilizada para a modulação.

Destes estudos, foram concebidos os módulos estruturais no sistema escolhido, seguido de sua análise estrutural, finalizado por um estudo de caso de uma residência em um terreno na cidade de São Paulo.



## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### MATÉRIA PRIMA

A madeira é um material já há muito tempo conhecido pelos construtores ao redor do mundo.

É um material renovável cujo processamento industrial requer baixo consumo energético (vide Tabelas 1 e 2), o que pode torna seu uso mais sustentável em comparação a outros materiais estruturais, desde que haja um bom manejo florestal.

É um material leve e de fácil trabalhabilidade. Resiste bem aos esforços de tração e compressão, “onde sua rede cristalina é celulose, de alta resistência a tração, e a matriz amorfa é a lignina, de alta resistência à compressão” (ROCHA, 2000).

### ORIGEM E REPRODUÇÃO DE MADEIRA

As árvores são vegetais completos, isto é, são dotadas de raízes, caules, folhas e flores. Também são traqueófitas, ou seja, são plantas vasculares.

Sendo sua reprodução dada por sementes, classificam-se de acordo com sua germinação e crescimento:

- a) Endógenas: de germinação interna (o aumento do caule se dá pela adição de células novas dentro do tecido existente). Compreendem as árvores tropicais monocotiledôneas como palmeira, bambu e palmito;
- b) Exógenas: de germinação externa (o aumento do caule se dá pela adição de anéis de crescimento ou camadas concêntricas de células de fora para dentro). Constitui grupo de árvores aproveitáveis para produção de madeira para construção.

As árvores exógenas compreendem dois grupos:

- a) Gimnospermas: mais conhecidas como coníferas, têm sementes biologicamente chamadas de estróbilos e popularmente chamadas de pinhas. Recebem a denominação de *softwood* em países estrangeiros;

- b) Angiospermas: ou dicotiledôneas, são madeiras mais nobres, possuem sementes em frutos e recebem a denominação de *hardwood* em países estrangeiros.

## FISIOLOGIA E CRESCIMENTO DA ÁRVORE

A raiz é responsável pela sustentação e retirada de nutrientes do solo. O caule sustenta a copa com sua galharia e conduz seiva para o resto da planta. A copa se desdobra em ramos, folhas, flores e frutos, onde ocorrem as: fotossíntese, reprodução, respiração e alimentação das árvores.

O crescimento principal da árvore ocorre verticalmente. Esse crescimento é contínuo, apresentando variações em função das condições climáticas e da espécie da madeira. Além desse crescimento vertical, ocorre também um aumento do diâmetro do tronco devido ao crescimento das camadas periféricas responsável pelo crescimento horizontal (câmbio). No corte transversal de um tronco de árvore essas camadas aparecem como anéis de crescimento, o que pode ser verificado na figura 1.

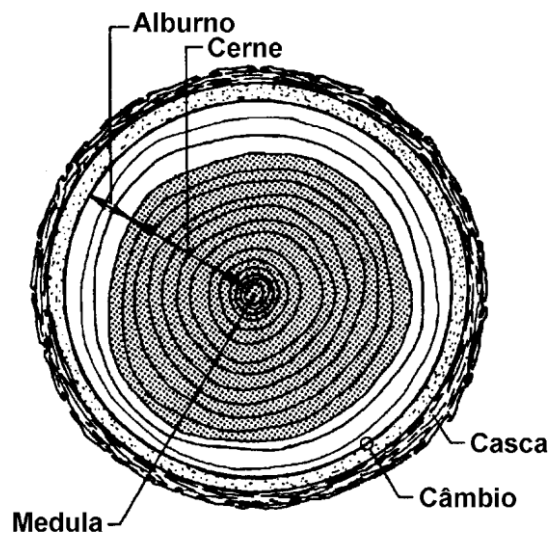


Figura 1 - Descrição simplificada da anatomia de uma seção do caule de uma árvore

Fonte: RITTER (1990)

Do ponto de vista macroscópico da árvore, podem-se observar as seguintes características: do crescimento vertical resulta a medula (geralmente a madeira mais fraca) e o conjunto dos anéis de crescimento (denominado

lenho, formado pelas camadas cerne e alburno), o qual apresenta-se recoberto por um tecido especial chamado casca. Entre a casca e o lenho existe uma camada extremamente delgada, aparentemente fluida, denominada câmbio.

## ANATOMIA DO TECIDO LENHOSO

A madeira é constituída principalmente por células de forma alongada apresentando vazio interno, mas tendo tamanhos e formas variadas, de acordo com a sua função e com a classificação botânica da árvore.

Observando ao microscópio o corte de uma árvore, são identificados principalmente os seguintes elementos: traqueídes, vasos, fibras e raios medulares.

As coníferas são constituídas principalmente por traqueídes e raios medulares que têm como funções transportar a seiva bruta e dar resistência e rigidez à madeira, podendo ser visualizados na figura 2.

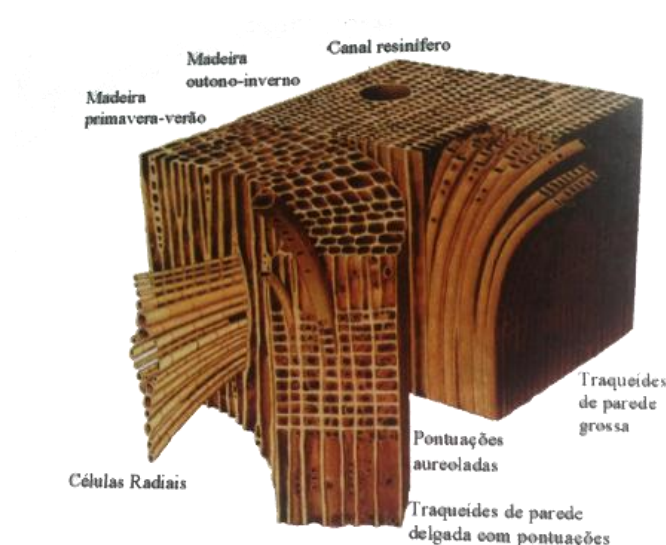


Figura 2 - Aspectos anatômicos das coníferas

Fonte: IBRACON (2007)

As Dicotiledôneas são constituídas principalmente por fibras, parênquima, vasos e raios. Neste caso têm-se os vasos com a função de transportar a seiva bruta, os raios de transporte horizontal, para a seiva elaborada, e as fibras, que conferem resistência e rigidez à madeira, o que pode ser visualizado na figura 3.

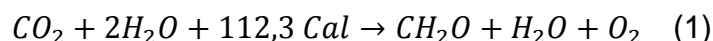


Figura 3 - Aspectos anatômicos das dicotiledôneas

Fonte: IBRACON (2007)

## CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA

A madeira apresenta o formaldeído IUPAC metanal ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), como seu componente orgânico elementar, formado a partir da fotossíntese que ocorre nas folhas através da combinação do gás carbônico do ar com a água do solo e absorção de energia calorífica, como mostra a equação 1.



Na sequência ocorrem as reações de polimerização que originam os açúcares que formam a maioria das substâncias orgânicas vegetais.

Em sua composição química a madeira apresenta grande quantidade de carbono, fixado na celulose e na lignina.

A madeira apresenta três componentes orgânicos principais: celulose, hemicelulose e lignina. A participação de cada um desses elementos varia de acordo com a classificação botânica da árvore, como mostra tabela 3.

Tabela 3 - Composição orgânica das madeiras

Componente Orgânico	Coníferas	Dicotiledôneas
Celulose	48-56%	46-48%
Hemicelulose	23-26%	19-28%
Lignina	26-30%	26-35%

Fonte: CALIL (1998)

Estes três componentes possuem as seguintes funções:

- Celulose: fornece estrutura à madeira devido à alta resistência à tração;
- Hemicelulose: não se sabe o real propósito deste componente, mas percebe-se que ele contribui para a estrutura da madeira;
- Lignina: é responsável pela rigidez da madeira, atua como o material ligante entre os materiais estruturais das madeiras (fibras, traqueídes, raios, etc.).

## ESPÉCIE A SER UTILIZADA

Para o presente trabalho, a espécie a ser utilizada é a *Pinus*, também conhecida como pinho ou pinheiro.

A escolha dessa espécie está baseada nos estudos realizados em outros países e sua utilização como material estrutural para construção de edifícios nos dois tipos de sistema construtivos apresentados neste trabalho. Daqui em diante, quando for falado sobre a madeira, estará sendo falado sobre a madeira proveniente do *Pinus*.

Ademais, os estudos sugerem o uso de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* para produção de madeira devido às suas propriedades físicas e sua difusão no território brasileiro.

De acordo com a EMBRAPA (2005), “há cerca de 1,79 milhão de hectares de *Pinus* plantados no Brasil, com produtividade média variando de 18 a 37,6 m<sup>3</sup>/ha.ano, havendo, porém, sítios e manejos em que esta produtividade ultrapassa os 40 m<sup>3</sup>/ha.ano”.

Dados mais recentes, coletados pela ABRAFLOR – Associação Brasileira de Florestas Plantadas (2012), mostram que há cerca de 1,56 milhões de hectares, distribuídos pelos estados brasileiros conforme mostra a figura 4.

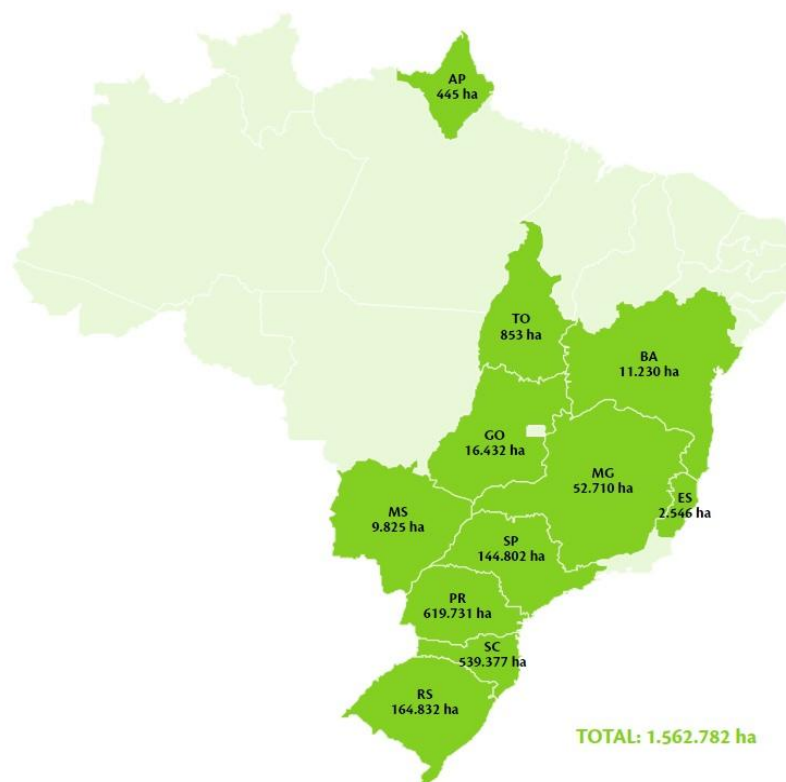


Figura 4 - Área de plantio de pinus no Brasil em 2012

Fonte: Abraflor (2012)

## ANÁLISE AMBIENTAL

### HISTÓRICO

O cultivo de Pinus no Brasil data de mais de um século, porém as primeiras introduções não obtiveram grande êxito devido ao regime de clima das regiões originais das espécies em relação ao clima brasileiro.

A partir de 1936, os primeiros plantios começaram a se estabelecer pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo, porém foi em 1960 que, com o programa de incentivo fiscal ao reflorestamento, começaram-se os plantios comerciais sob regime de silvicultura intensiva nas regiões Sul e Sudeste.

O parque industrial da madeira, papel e celulose de fibra longa se deu nessa época devido à base florestal montada. Além disso, os estudos com mudas, sementes, melhoramento genético, silvicultura e cultivo eficientes ajudaram na ampliação de cultivo e aceitação do Pinus no Brasil.

Além disso, pode-se citar o amplo interesse da indústria de papel e celulose nesta espécie como fator de crescimento do seu plantio.

## EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS

O clima é o fator de maior importância para o desenvolvimento das espécies florestais, principalmente a temperatura e a precipitação pluviométrica, que definem a produtividade. O Pinus, principalmente, plantado em duas espécies, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, apresentam características um pouco diferenciadas. A primeira prefere clima de regiões frias com precipitações anuais de baixa a moderada, solos arenosos orgânicos profundos com boa drenagem. Já a segunda se desenvolve em regiões mais quentes e úmidas, também, com precipitações anuais de baixa a moderada, porém se desenvolve em solos rasos com baixa drenagem.

## SISTEMA DE PLANTIO

O plantio desta madeira é formado por várias ações e constitui-se numa das etapas mais importantes para o sucesso do estabelecimento de florestas plantadas. O sistema de plantio mais adequado é definido com base no objetivo do empreendimento e no uso final da floresta. O sucesso depende de decisões e ações cuidadosas nas diversas etapas de sua implantação, como a escolha e a limpeza da área, o espaçamento, o controle de pragas e doenças, a definição do método de plantio e os tratos culturais.

Seu plantio pode acontecer de três formas:

- Manual
- Mecanizado
- Semi-mecanizado

A topografia define o método de plantio em determinada área, bem como da disponibilidade de recursos financeiros, mão de obra e equipamentos que podem ser utilizados.

A produtividade da floresta plantada está relacionada aos fatores de qualidade genética da semente, capacidade produtiva do sítio e do tipo de manejo a se praticar, podendo-se citar as seguintes práticas de manejo:

- Controle de formigas: Realizado no pré-plantio, de 15 a 30 dias, e após o plantio, após 30, 60, 90 e 180 dias;

- Poda: Esta prática visa à obtenção de madeira de alta qualidade, com grande redução no número de nós;
- Espaçamento do plantio: Chamado também de desbaste, é a redução da densidade populacional de árvores, visando o aumento de: iluminação, nutrientes presentes no solo e água. Isso é o que “possibilita maior produção volumétrica por árvore e menor custo de implantação” (EMBRAPA, 2005). Eliminam-se as árvores mais baixas, em relação a uma altura adotada, conforme apresentado na figura a 5.



Figura 5 - Exemplo de árvores a serem removidas em um desbaste

Fonte: EMBRAPA (2005)

## CERTIFICAÇÃO FLORESTAL

A globalização e filosofias de técnicas sustentáveis e certificação aumentaram a preocupação do consumidor final quanto ao produto que está sendo comprado. O mercado florestal percebeu tal movimento e se preparou para dar o correto manejo para as florestas plantadas.

Certificação florestal está relacionada às boas práticas de manejo tanto de florestas plantadas quanto de florestas naturais, a fim de produzir um contexto de equilíbrio da flora.

No Brasil, o padrão de certificação, que define o manejo florestal, é estabelecido por dois sistemas:

- FSC Brasil® (*Forest Stewardship Council*, Conselho de Manejo Florestal), organização não-governamental, independente e sem fins lucrativos, que não emite certificados, mas sim acredita certificadoras no



mundo inteiro, garantindo que os certificados destas obedçam a padrões de qualidade.

- CERFLOR<sup>®</sup> (Programa Brasileiro de Certificação Florestal), do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), que é membro do *Program for the Endorsement of Forest Certification Schemes* (Programa de Endosso de Sistemas de Certificação Florestal – PEFC<sup>®</sup>), que se baseia em critérios próprios definidos nas resoluções das Conferências de Helsinque e de Lisboa, de 1993 e 1998, respectivamente, sobre proteção florestal na Europa.

## CORTES E PRODUTOS

A madeira, dependendo do seu processo fabril, pode ser dividida em duas famílias: a madeira engenheirada e a madeira maciça. Cada família possui subdivisões, conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4 - Famílias e tipos de produtos de madeira

Família	Tipo
Madeira Engenheirada	Madeira Laminada Colada
	Madeira Laminada Colada Cruzada
	Madeira Compensada
	Madeira Recompоста
Madeira Maciça	Madeira Serrada

## MADEIRA SERRADA

A madeira serrada é obtida através do desdobro das toras, sendo que existem dois desdobros possíveis:

- Desdobro normal: Pranchas paralelas aos anéis de crescimento, o que proporciona economia de manufatura e pouca perda de material, sendo o processo mais utilizado. Vide figura 6.
- Desdobro radial: Pranchas normais aos anéis de crescimento, melhora a resistência ao desgaste da madeira, ressalta o desenho dos veios, dá acabamento quase uniforme e maior resistência estrutural, fornecendo

pranchas de melhor qualidade. As peças cortadas desta forma empenam menos, não racham facilmente e apresentam maior uniformidade na secagem, porém este sistema não é usado em larga escala, pois tem a desvantagem de exigir mais mão-de-obra e perdas muito maiores de matéria prima. Vide figura 7.

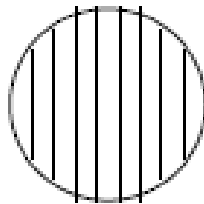


Figura 6 - Desdobro

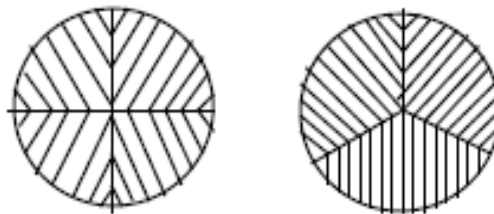


Figura 7 - Desdobro radial

## **MADEIRA LAMINADA COLADA**

A madeira laminada colada é uma madeira engenheirada, obtida a partir da montagem pela qual são superpostas peças de madeira serrada com espessura menor que 20 mm, unidas por filmes adesivos (colas). O seu emprego é muito difundido entre madeiras de baixa e média densidade, pois melhoram seu desempenho com o uso de adesivos a base de fenolformaldeído. Estão apresentados nas figuras 8 e 9 exemplos deste tipo de madeira.



Figura 8 - Peça de madeira laminada colada  
Créditos: Wikipedia / Creative Commons



Figura 9 - Ponte em estrutura de madeira laminada colada sobre o  
Rio Montmorency, Québec, Canadá  
Créditos: Wikipedia / Creative Commons

## MADEIRA LAMINADA COLADA CRUZADA

Conhecido por CLT (*Cross-Laminated Timber*) ou X-LAM, possui o mesmo processo de produção da madeira laminada colada. No entanto, são formadas chapas onde as pranchas de madeira serradas selecionadas, são coladas na superfície tangencial às fibras. Assim, são formadas chapas de, normalmente, 3,5 m a 13,5 m de lado, com diversas espessuras, dependendo do fabricante. Essas chapas são coladas uma em cima das outras com as

fibras orientadas a 90 graus. Neste tipo de tecnologia, os fornecedores utilizam um adesivo livre de fenolformaldeído. Na figura 10 está ilustrado o sistema de montagem das planchas CLT e pode ser verificado na figura 11 uma foto do maior edifício em estrutura de madeira já construído utilizando-se da tecnologia *X-LAM*, totalizando 9 andares.

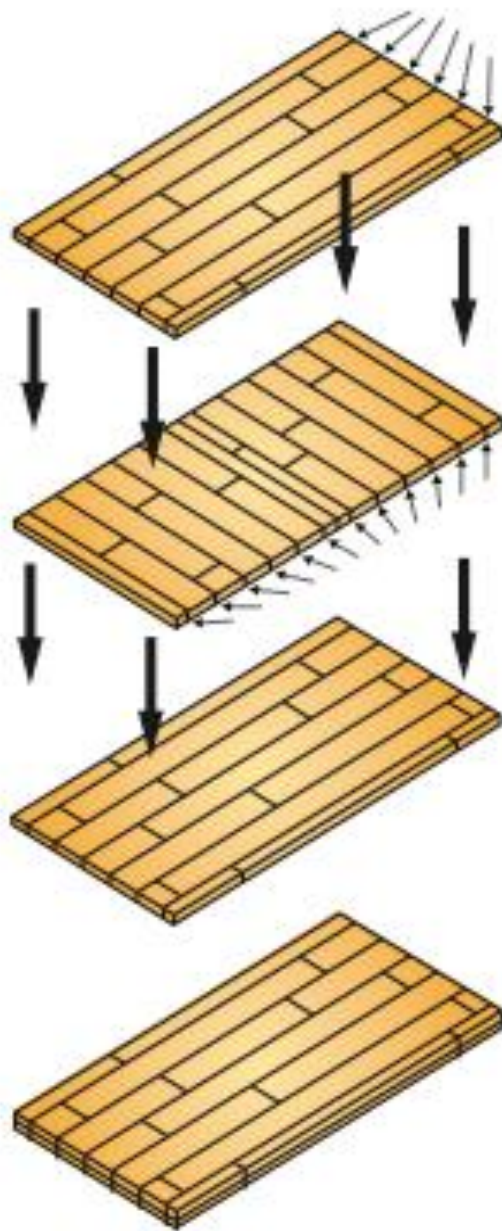


Figura 10 - Montagem dos painéis de CLT

Créditos: *X-Lam Alliance*



Figura 11 - Edifício residencial com painéis estruturais em CLT, Inglaterra, 2009

Créditos: Reinaldo H. Ponce

## **MADEIRA COMPENSADA**

A madeira compensada é uma madeira engenheirada formada por lâminas delgadas de madeira provenientes do torneamento dos troncos com comprimento padronizado e contínuo, montadas uma sobre as outras com as fibras orientadas a 90 graus. Este tipo de madeira é muito sensível à umidade e ao aumento de temperatura.

## **MADEIRA RECOMPOSTA**

A madeira recomposta é originária de pequenas partículas, fibras longas ou cavacos de madeira moldadas em chapas ou barras. As chapas de madeira aglomerada, chapas de madeira MDF, chapas de madeira HDF e OSB compõe esse grupo. Vide figuras 12 e 13.





Figura 12 - Madeira aglomerada

Créditos: Gasômetro Madeiras



Figura 13 - Placa OSB

Créditos: Wikipedia / Creative Commons

## COMPORTAMENTO DA MADEIRA

### RESISTÊNCIA MECÂNICA

O comportamento estrutural da madeira está relacionado com o arranjo da estrutura interna, que pode gerar um grau maior ou menor de anisotropia. No Brasil existe uma norma de dimensionamento estrutural da madeira, a "NBR 7190/1997 – Projeto de Estrutura de Madeira".

A madeira é considerada um material homogêneo (do ponto de vista estrutural), cujas propriedades estão relacionadas a determinadas classes de umidade conforme pode ser verificado na tabela 5.

Tabela 5 - Classes de umidade da madeira

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

Fonte: ALMEIDA (2012)

Para cada classe de madeira, existe um coeficiente relacionado que altera os valores de resistência da madeira. Os módulos de elasticidade relacionados à madeira são considerados no sentido normal ou paralelo às fibras, obedecendo a equação 2.

$$E_{w90} = \frac{1}{20} \times E_{w0} \quad (2)$$

Por se tratar de um material anisotrópico, as resistências podem ser representadas em modelo ortótropo. A resistência característica da madeira é sempre dada em relação à compressão no sentido paralelo às fibras, adotando-se as relações apresentadas na tabela 6 em relação às demais resistências.

Tabela 6 - Relações entre as resistências

Relações entre resistências características	Valores de referência
$f_{c0,k} / f_{t0,k}$	0,77
$f_{tM,k} / f_{t0,k}$	1
$f_{t90,k} / f_{c0,k}$	0,05
$f_{c90,k} / f_{c0,k}$	0,25
$f_{e0,k} / f_{c0,k}$	1
$f_{e90,k} / f_{c0,k}$	1
$f_{v0,k} / f_{c0,k}$ (coníferas)	0,15
$f_{v0,k} / f_{c0,k}$ (dicotiledôneas)	0,12

Fonte: ALMEIDA (2012)

Como elemento estrutural, a madeira é classificada em classes de resistência (vide tabelas 7 e 8), no caso das coníferas e dicotiledôneas. Cada espécie de madeira é catalogada em sua determinada classe de resistência, de forma a obter um registro do comportamento estrutural das diversas espécies. O valor utilizado para definir as classes de resistência da madeira é a resistência característica à compressão no sentido paralelo às fibras ( $f_{c0,k}$ ).

Tabela 7 - Classes de resistência das coníferas

<b>Coníferas</b>					
(Valores na condição padrão de referência U = 12%)					
Classes	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{vk}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m} (*)$ (kg/m³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m³)
C20	20	4	3500	400	500
C25	25	5	8500	450	550
C30	30	6	14500	500	600
(*) definida como $M_s/V_{sat}$					

Fonte: ALMEIDA (2012)

Tabela 8 - Classes de resistência das dicotiledôneas

<b>Dicotiledôneas</b>					
(Valores na condição padrão de referência U = 12%)					
Classes	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{vk}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m} (*)$ (kg/m³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m³)
C20	20	4	9500	500	650
C30	30	5	14500	650	800
C40	40	6	19500	750	950
C60	60	8	24500	800	1000
(*) definida como $M_s/V_{sat}$					

Fonte: ALMEIDA (2012)



A madeira selecionada para a execução do projeto (Pinus Elliotis) se encontra na classe das coníferas, classe C30.

Analiticamente, os fatores que alteram a resistência da madeira são as classes de umidade, as classes de carregamento e as classes de qualidade da madeira, que estão relacionados a coeficientes de minoração das resistências, conforme as tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9 - Coeficientes de minoração das resistências para classes de carregamento da madeira ( $K_{mod1}$ )

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

Fonte: ALMEIDA (2012)

Tabela 10 - Coeficientes de minoração das resistências para classes de umidade da madeira ( $K_{mod2}$ )

<b>Classes de umidade</b>	<b>Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada</b>	<b>Madeira recomposta</b>
(1) e (2)	1,00	1,00
(3) e (4)	0,80	0,90

Fonte: ALMEIDA (2012)

Tabela 11 - Classes de qualidade da madeira ( $K_{mod3}$ )

<b>Qualidade da madeira</b>	<b>Valores dos coeficientes</b>
1ª categoria	1,00
2ª categoria	0,80

Fonte: ALMEIDA (2012)

O valor da resistência à compressão de projeto da madeira é composto pelo produto desses três coeficientes e do valor de resistência à compressão característico da madeira, dividido por um coeficiente de segurança, apresentado na tabela 12.

Tabela 12 - Coeficientes de minoração da resistência da madeira

Tipo de solicitação	Valores de $\gamma_w$
Resistência à compressão $\gamma_{wc}$	1,4
Resistência à tração $\gamma_{wt}$	1,8
Resistência ao cisalhamento $\gamma_{wv}$	1,8

Fonte: ALMEIDA (2012)

## RESISTÊNCIA BIOLÓGICA E TIPOS DE TRATAMENTO

A resistência biológica da madeira está relacionada com a sua espécie, sendo que geralmente as madeiras provenientes de angiospermas (madeiras duras) apresentam uma durabilidade maior.

Uma vez que mesmo as madeiras duras não possuem uma resistência às intempéries elevada, podem-se tomar atitudes para se preservar a madeira, e consequentemente aumentar sua durabilidade.

A preservação de madeiras é o conjunto de medidas preventivas e curativas para o controle de agentes biológicos (fungos, insetos xilófagos e perfuradores marinhos), físicos e químicos que afetam as propriedades da madeira, adotadas no desenvolvimento e na manutenção dos componentes de madeira no ambiente construído.

O Sistema de Classes de Risco, adotado na norma de construção em madeira, é uma ferramenta simplificada para a tomada de decisões quanto ao uso racional e inteligente da madeira na construção civil, fornecendo uma abordagem sistêmica ao produtor e usuário que garanta maior durabilidade das construções.

O sistema consiste no estabelecimento de seis classes de risco baseadas nas condições de exposição ou uso da madeira, na expectativa de desempenho do componente, e nos possíveis agentes biodeterioradores presentes.

Esse sistema conduz a uma reflexão sobre as medidas que devem ser adotadas durante a fase de elaboração de projeto de uma construção e auxilia na definição do tratamento preservativo da madeira em função da condição de uso a que ela estará exposta.

Para se utilizar madeira como material de engenharia na construção civil, as seguintes etapas devem ser consideradas obrigatórias:

- Elaboração do projeto com foco para a diminuição dos processos de instalação e desenvolvimento de organismos xilófagos;

- Definição do nível de desempenho necessário para o componente ou estrutura de madeira, tais como: vida útil, responsabilidade estrutural, garantias comerciais e legais, entre outras;
- Avaliação dos riscos biológicos ao qual a madeira será submetida durante a sua vida útil;
- Determinação da necessidade de tratamento preservativo, em função da durabilidade natural e tratabilidade do cerne e alborno das espécies botânicas que serão utilizadas.

A definição do(s) tratamento(s) preservativo(s) é dada em função das seguintes características:

- A espécie botânica deve permitir tratabilidade;
- A umidade da madeira no momento do tratamento deve ser adequada;
- Qual será o processo de aplicação do produto de preservação;
- Quais os parâmetros de qualidade necessários para esta madeira: qual a retenção e a penetração solicitada do produto preservativo na madeira;
- Produto preservativo que satisfaça à classe de risco determinada. Vide tabela 13.

A madeira proveniente de Pinus é considerada de baixa resistência mecânica e de restrita durabilidade natural. No entanto, apresenta uma alta permeabilidade às soluções preservativas (tratabilidade), garantindo um tratamento adequado e vida útil superior a 50 anos. Além disso, pesquisas tecnológicas para suprir a deficiência de resistência mecânica do Pinus apontam para a melhoria da qualidade da madeira serrada com a seleção de material de menor quantidade de defeitos e uso da classificação mecânica para o desenvolvimento de materiais como vigas laminadas coladas.

Tabela 13 - Classes de risco da madeira

CLASSE DE RISCO (CR)	CONDIÇÃO DE USO	ORGANISMO XILÓFAGO
1	Interior de construções, fora de contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegidos das intempéries, das fontes internas de umidade. Locais livres do acesso de cupins-subterrâneos ou arborícolas.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira
2	Interior de construções, em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegidos das intempéries e das fontes internas de umidade.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas
3	Interior de construções, fora de contato com o solo e continuamente protegidos das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostos a fontes de umidade.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores
4	Uso exterior, fora de contato com o solo e sujeitos a intempéries.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores
5	Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis à deterioração, como engaste em concreto e alvenaria.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores
6	Exposição à água salgada ou salobra.	Perfuradores marinhos Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores

Fonte: IBRACON (2007)

As técnicas de preservação química consistem, basicamente, em introduzir, por meio de processos adequados, produtos químicos dentro da estrutura da madeira, tornando-a tóxica aos organismos que a utilizam como alimento.

## ANÁLISE DO MATERIAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Uma das maiores dificuldades que a madeira encontra para se tornar uma matéria prima utilizada largamente na construção civil como elemento estrutural é o preconceito com relação ao seu desempenho em situações de incêndio.

No Brasil, tanto a população quanto os profissionais da área de construção civil possuem, em sua grande maioria, aversão à utilização da madeira como base estrutural de uma edificação. Isso se dá pela falsa sensação de insegurança que adquirimos ao longo dos anos por reportagens e relatos de grandes incêndios em florestas e favelas, cuja base de construção é a madeira, em períodos de seca.

A madeira, como todos sabem, é um material combustível, e esta característica ajuda a reforçar o preconceito que temos com relação a este material, principalmente se o relacionarmos a um assunto tão delicado quanto à edificação e ao sonho da casa própria da grande maioria dos brasileiros.

Porém, o que a maioria das pessoas não sabe é que o desempenho estrutural da madeira em situação de incêndio é na realidade muito superior ao desempenho do aço e em muitos casos ao do concreto. Essa característica peculiar se dá, principalmente, pela existência de dois fenômenos inerentes a este elemento. O primeiro é que, antes de carbonizar, a madeira sofre um aquecimento e este aquecimento aumenta sua resistência média. O segundo é que ao carbonizar a madeira adquire uma capa protetora isolante, que reduz a propagação interna do calor e, conseqüentemente, retarda a perda de resistência da peça.

Para explicar melhor estes dois fenômenos serão primeiramente apresentadas as principais substâncias que compõe a madeira para depois explanar as fases de queima destas substâncias e suas influências nas características intrínsecas à madeira.

#### **5.1.1.1. A MADEIRA**

Independentemente da espécie, são encontradas as mesmas três substâncias principais sempre em proporções semelhantes.

Celulose: é o principal polímero constituinte do tecido vegetal, representando algo em torno de 40 – 45% da massa da madeira.

Hemicelulose: é um polissacarídeo que aparece associado à celulose nas paredes celulares, ajudando a proporcionar suporte mecânico às fibras. Sua presença na madeira gira em torno de 20%.

Lignina: sua função é fazer a ligação entre os diversos tecidos da madeira, dando-lhes rigidez e resistência. Representa de 15 – 35 % da madeira.

#### **5.1.1.2. COMPORTAMENTO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Por ser um material heterogêneo (do ponto de vista químico), cada substância existente na madeira responde de forma diferente em temperaturas distintas, sendo assim, são resumidas na tabela 14 as principais reações presentes na madeira quando aquecida.

Tabela 14 - Alterações provocadas termicamente na madeira seca

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Alterações na madeira</b>
55	A estrutura natural da lignina é alterada. A hemicelulose começa a amolecer.
70	Começa a retração transversal da madeira.
110	A lignina lentamente começa a perder peso.
120	O teor de hemicelulose começa a diminuir e celulose alfa começa a aumentar. A lignina começa a amolecer.
140	A água de impregnação é liberada.
160	A lignina se funde e começa a ressolidificar.
180	A hemicelulose começa a perder peso rapidamente depois de ter perdido 4%. A lignina da membrana de pontuação escoa.
200	A madeira começa perder peso rapidamente. As resinas fenólicas começam a se formar e a celulose a se desidratar.
210	A lignina solidifica. A celulose amolece e despolimeriza-se. As reações endotérmicas transformam-se em exotérmicas.
225	A cristalinidade da celulose diminui e é retomada.
280	A lignina atinge 10% de perda de peso. A celulose começa a perder peso.
288	Temperatura adotada para carbonização da madeira.
300	O cerne amolece irreversivelmente.
320	A hemicelulose é completamente degradada.
370	A celulose apresenta perda de 83% de seu peso inicial.
400	A madeira é completamente carbonizada.

Fonte: FIGUEROA (2009)

Conforme a madeira aquece e as reações químicas ocorrem, as características da madeira também sofrem alterações, sendo assim, podem-se verificar cinco fases principais pelas quais a madeira em situação de incêndio passa, sendo elas:

- Fase I, ou pirólise lenta: Nesta fase a madeira ainda não entrou em ignição, porém a água existente em sua estrutura já começou a evaporar, e consequentemente sua resistência média também começou a aumentar.
- Fase II, ou pirólise rápida: As reações químicas internas se intensificam e a evaporação da água termina. Neste ponto a madeira alcança sua maior resistência e o final desta fase se dá pela ignição da peça.
- Fase III, ou fase exotérmica: A madeira se carboniza iniciando a produção de uma camada protetora que não é combustível. Nesta

fase são liberados diversos gases provenientes da queima da madeira.

- Fase IV, que assim como a fase III, é denominada fase exotérmica: Ocorre uma diminuição da produção de gases. Além disso, a massa da madeira já esta reduzida em aproximadamente 70%. No final desta fase está criada a capa protetora da madeira.
- Fase V, ou final da fase exotérmica: Com o término da carbonização inicia-se o processo de gaseificação do carvão. Ainda é possível se verificar no interior da peça madeira nas fases I, II, III e IV.

Para ilustrar melhor este processo são apresentadas na tabela 15 e na figura 14 as diversas fases presentes na queima da madeira.

Tabela 15 - Fases de degradação da madeira

<b>Fase</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Fenômeno</b>
I	Até 200 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo denominado pirólise lenta.</li> <li>- Liberação de vapor d'água e gases.</li> <li>- A madeira não se igniza.</li> <li>- Existência de algumas reações exotérmicas de oxidação.</li> <li>- Mudança de cor.</li> </ul>
II	200 a 280 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de reação química e eliminação de gases.</li> <li>- Ocorrência de reações exotérmicas primárias sem inflamação.</li> <li>- Temperatura considerada como a temperatura de ignição.</li> <li>- Fase conhecida como pirólise rápida.</li> </ul>
III	280 a 380 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de grandes quantidades de destilados, principalmente ácidos acéticos e metanol.</li> <li>- O resíduo final dessa fase já é carvão vegetal, mas que ainda apresenta compostos volatilizáveis em sua estrutura.</li> <li>- Fase exotérmica.</li> </ul>
IV	380 a 500 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução da emissão de gases.</li> <li>- Produção de ácido acético, metanol, alcatrão e diversas substâncias gasosas condensáveis.</li> <li>- A perda de massa é da ordem de 70% em relação à massa original.</li> <li>- Fase exotérmica.</li> </ul>
V	Acima de 500 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Término da carbonização e início da gaseificação do carvão.</li> <li>- O carvão é o resíduo principal.</li> <li>- No interior da madeira permanece a temperatura das fases I, II e III.</li> <li>- Fase exotérmica.</li> </ul>

Fonte: FIGUEROA (2009)

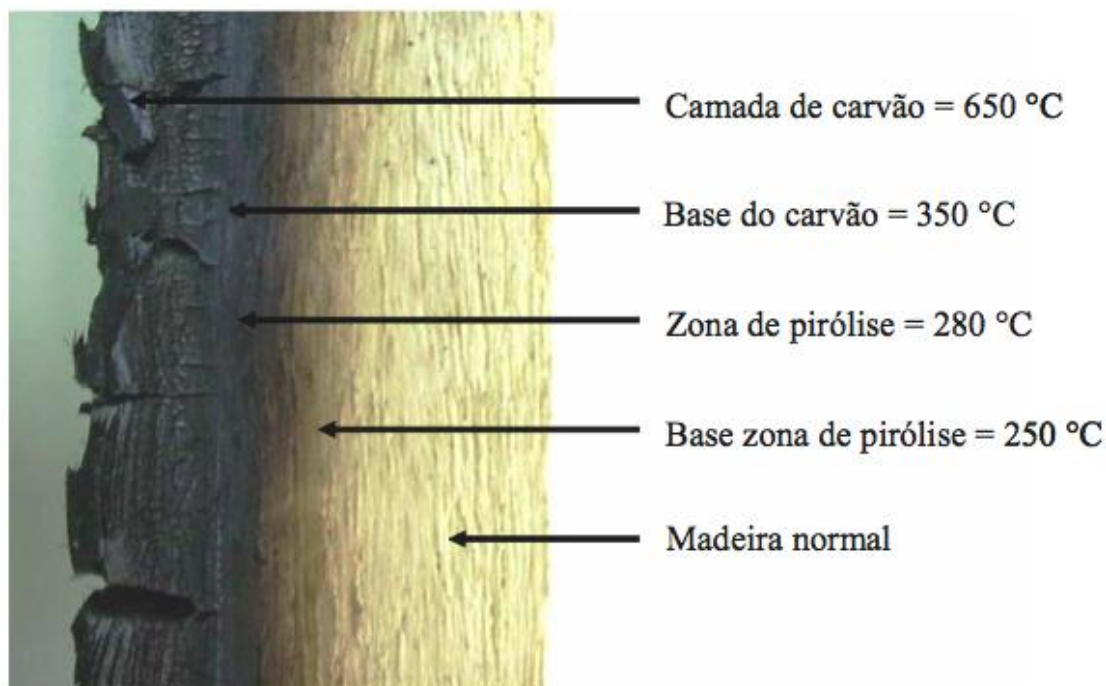


Figura 14 - Fases de degradação da madeira

Fonte: Figueroa (2009)

## COMPORTAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO

As questões que envolvem a sensação de conforto tanto térmico quanto acústico variam muito de acordo com a região do projeto, as condições climáticas, dos usuários e das atividades desenvolvidas por eles no local ou recinto da habitação. Mesmo sendo assaz complicado projetar um edifício que agrade a todos, é possível estabelecer faixas e zonas que permitam a sensação de conforto à maior parte das pessoas. A habitabilidade é um conceito que abrange os requisitos básicos para que permitam aos habitantes e usuários de uma habitação condições para o desenvolvimento da vida em um ambiente saudável, seguro e protegido das intempéries do ambiente externo. Para isso devem ser levados em conta os materiais utilizados e os elementos construtivos e naturais como placas de vedação, árvores, persianas, toldos, cortinas fixas ou móveis que se comportem como barreiras e proteções. Estes elementos têm como função modificar as condições ambientais no interior da morada que as deixem confortáveis para os moradores, protegendo-os dos agentes agressivos do meio externo.



### 5.1.1.3. CONFORTO TÉRMICO

Para serem formados os índices de conforto, foram tomados alguns aspectos que são classificados como<sup>1</sup>:

- *Índices biofísicos* — que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos;
- *Índices fisiológicos* — que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar;
- *Índices subjetivos* — que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

O clima de São Paulo é considerado subtropical e, de acordo com a Classificação Climática de Köppen-Geiger com clima oceânico, pode ser denominado clima temperado marítimo, que ocorre em regiões com distâncias das grandes massas de continentes em latitudes médias e altas com chuvas abundantes.

Em São Paulo, as chuvas têm maior concentração no verão e diminuem no inverno. A temperatura média anual é de 19,25°C sendo o verão quente, porém com temperaturas moderadas e invernos brandos. O micro clima da cidade é afetado imensamente pela poluição, baixa impermeabilidade e concentração de edifícios, causando efeitos como ilhas de calor e inversão térmica, podendo elevar muito a temperatura. O mês mais quente, fevereiro, tem temperatura média de 22,50°C e 16,00°C de temperatura média no mês mais frio, Julho.

A maritimidade confere à cidade pouca variação de temperatura e a altitude acarreta em noites amenas mesmo no verão. Contudo, no inverno, massas polares podem manter as temperaturas muito baixas com extremos já registrados abaixo de 0°C.

Serão adotados neste trabalho os índices que melhor se adaptam às condições climáticas do Brasil, entre os muitos que existem para avaliar os projetos em um momento futuro e cruzá-las com as características climáticas da cidade onde estará situado no estudo de caso, em São Paulo.

O que cabe no momento é avaliar o comportamento da madeira termicamente.

Os maiores relatos em relação ao desconforto de residências em madeira estão atrelados à baixa inércia térmica do material. A madeira troca facilmente as temperaturas interiores e exteriores, apesar de ter um conforto tátil maior do que materiais duros como concreto e alvenaria. Porém, é preciso evidenciar que há a possibilidade de combinar as paredes e coberturas com outros materiais que melhorem o desempenho térmico do material tanto em massa quando em composição como mantas, isopor, gesso e até mesmo camadas de ar.

Os cálculos realizados se baseiam na condução térmica, que é a troca entre dois corpos que se tocam ou mesmo partes do corpo que estejam a temperaturas diferentes.

A tabela 16 apresenta a intensidade do fluxo térmico por condução ( $\lambda$ ) envolvido nesse mecanismo de troca dos diferentes materiais de madeira:

Tabela 16 - Condução térmica dos diferentes materiais de madeira

Material	$\lambda$	d	c
	W/m°C	kg/m³	J/kg°C
Madeira			
- Abeto, cedro	0,12	400	1424
- Balsa	0,05	90	
- Bétula, pinho silvestre, pinho marítimo, carvalho, frutíferas	0,15	500	1424
- Pinho perpendicular a fibra	0,23	700	1424
- Pinho paralelo a fibra	0,14	550	2721
	0,30	900	1256
Fibras de madeira	0,06	140	1675
Lascas de madeira	0,06	140	1675
Painéis de madeira			
- aglomerado mole isolante	0,05	300	
- painel de fibra de madeira isolante	0,06	300	
- painel de fibra de madeira duro e extraduro	0,20	900	
- painel de fibra de madeira aglomerada	0,10	400	1424
	0,12	500	1424
	0,14	600	1424
	0,17	700	1424
- painel de fibra de madeira aglomerada e compensada	0,20	800	1424
	0,24	1000	1424

Fonte: Frota, Schiffer (2001)

No caso do sistema plataforma, composto por vigotas montantes, as placas de madeira para vedação podem ser preenchidas com diversos materiais ou mesmo serem duplicadas.

Serão usados como base os resultados das pesquisas de Thalita Gorban Ferreira Giglio, "Avaliação do Desempenho Térmico de Painéis de Vedação em Madeira para o Clima de Londrina, Paraná, de 2005". Sua tese de mestrado avalia o desempenho de painéis de madeira visando encontrar as melhores combinações que permitiram o conforto de acordo com as variações climáticas em Londrina. Mesmo aplicado a outra cidade, os dados são de grande importância e aplicáveis à realidade de São Paulo uma vez que, verificando os gráficos de temperatura e características climáticas das duas cidades, é possível traçar muitos paralelos no que diz respeito a temperaturas efetivas, já que ambas estão praticamente na mesma latitude, sendo a maior discrepância no que tange a umidade relativa do ar.

Os experimentos foram feitos com painéis definidos como P1, P2 e P3 (vide figura 15), sendo que todos apresentam câmara de ar entre os fechamentos com a introdução de outros elementos e duas paredes para fins comparativos compostas de alvenaria e uma com uma placa simples:

- P1 . Painel formado por tábua de Pinus de 2,2 cm (exterior) + câmara de ar não ventilada de 5 cm + tábua de Pinus de 2,2 cm (interior);
- P2 . Painel formado por tábua de Pinus de 2,2 cm (exterior) + lâ de vidro 5 cm+ tábua de Pinus de 2,2 cm (interior);
- P3 - Painel formado por tábua de Pinus de 2,2 cm (exterior) + câmara de ar não ventilada de 2,4 cm e sarrafos de 2,4 x 5 cm + chapa de OSB de 1,2 cm (Oriented Strand Board . Chapa de partículas de madeira orientada) +câmara de ar não ventilada 5 cm + tábua de Pinus de 2,2 cm (interior);
- PRA . Parede referencial A, de baixo desempenho térmico. Tábua de Pinus de 2,2 cm de espessura e 22 cm de largura, com mata-junta de madeira de Pinus de 1,2 cm de espessura e 6 cm de largura;
- PRB . Parede referencial B, de bom desempenho térmico. Alvenaria de tijolos cerâmicos de seis furos, de 9 cm, rebocados dos dois lados.

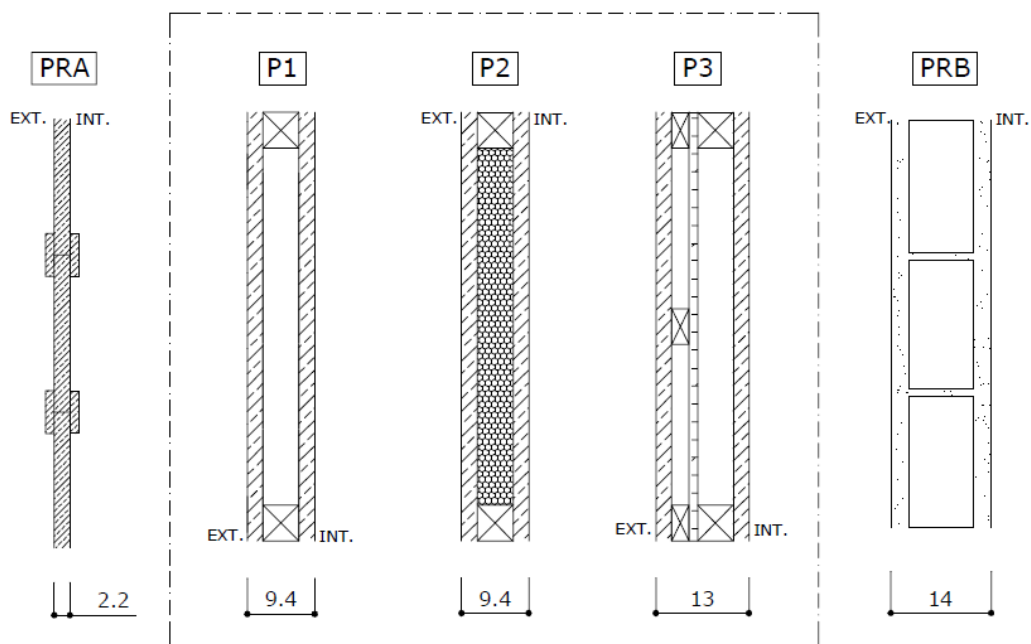


Figura 15 - Composição dos painéis

Fonte: Giglio (2005)

Os resultados da tese de mestrado de GIGLIO mostram que o desempenho térmico dos painéis de vedação em madeira são:

- "Entre todos os painéis avaliados, o P3, painel com duas câmaras de ar e três camadas de madeira (uma delas derivado da madeira), apresentou o melhor desempenho térmico para a condição climática de Londrina, superando o desempenho da parede de alvenaria de tijolos cerâmicos;
- As condições para que protótipo com P2 (com isolante térmico) e P3 assumam bom desempenho térmico são: cobertura bem protegida, com transmitância térmica em torno de  $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ , e com cerca de 10 ren/h ocorrendo no período de verão;
- As condições para que protótipo com P1 assumam bom desempenho térmico são: cobertura bem protegida, com transmitância térmica em torno de  $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ , dispositivos de sombreamento nas aberturas e com no mínimo 10 ren/h ocorrendo no período de verão;
- Os painéis de vedação devem apresentar cores claras com absorvância à radiação solar de 0,3;
- A adoção de P2, de alta resistência térmica, deve ser uma opção quando o protótipo apresenta cobertura bem protegida e livre de infiltrações por ar quente, o que dificultaria a perda de calor pelo painel;
- Sugere-se em P2, para o emprego em habitações de interesse social, a substituição da lã de vidro pela serragem, resíduo de baixo custo e baixa condutividade térmica, sendo classificado também como isolante térmico;

- O painel P1 com fechamento exterior na cor natural da madeira de pinus (ssp), não atende ao limite de 1000 horas de desconforto, mesmo com cobertura bem protegida, dispositivos de sombreamento e 10 ren/h, não sendo portanto, adequado à região de Londrina;
- PRA também não deve ser adotado para o clima de Londrina."

Ou seja, para a cidade Londrina a melhor escolha seria a P3. Analisando criticamente os dados e fazendo cálculos aproximados com os valores fornecidos chegou-se à conclusão de que sua aplicação em São Paulo é justificável, porém deverá ser realizado um estudo mais aprofundado caso este estudo venha a ser aplicado em um projeto.

#### 5.1.1.4. CONFORTO ACÚSTICO

Ainda que a sensação de conforto acústico varie também das condições externas e memória sensitiva, os índices são mais uniformes e mais próximos de um consenso do que o térmico. O que varia, neste caso, é a legislação e normas de cada país que exigem um desempenho maior ou menor. No Brasil a norma que determina os decibéis para cada ambiente é a NBR 10152 (níveis de ruído para conforto acústico).

Para residências, os valores estão apresentados na tabela 17.

Tabela 17 - Valores de decibéis (dB) e curva de ruído (NC)

<b>Residências</b>	<b>dB</b>	<b>NC</b>
Dormitórios	35 - 45	30 - 40
Sala de estar	40 - 50	35 - 45

Fonte: NBR 10152

Como os sistemas estruturais em madeira contam com a possibilidade de composição de painéis com diferentes materiais, esta questão é resolvida através da complementação do método construtivo com mantas e câmaras de ar.

## SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Na construção em madeira, destacam-se atualmente três tipos de sistemas construtivos estruturais:

- Sistema Viga-Pilar, bastante difundido na construção em vários tipos de materiais;
- Sistema por Montantes, tecnologia criada no final do século XVIII, predominante nos Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Escandinávia, Austrália, Nova Zelândia, Japão, entre outros;
- Sistema de Painéis Estruturais, tecnologia criada na década de 1970, fortemente aplicada em países europeus como Portugal, Itália, Inglaterra, Finlândia e Suécia.

A seguir serão apresentadas maiores detalhes destes três métodos.

### SISTEMA VIGA-PILAR

O Sistema Viga-Pilar é considerado o mais antigo dos sistemas estruturais. Pode ser descrito como duas barras verticais (pilares) suportando uma terceira barra horizontal (viga). Com esta configuração, é possível se obter um vão livre que pode ser utilizado de diversas maneiras, como portas, abrigos e túneis. (vide figuras 16-18).



Figura 16 - Stonehenge, Inglaterra - Exemplo de sistema viga-pilar construído em torno do ano 3000 a.C

Créditos: Wikipédia/Creative Commons





Figura 17 - Parthenon, Grécia - exemplo de sistema viga-pilar construído no século V a.C.  
Créditos: Wikipédia/Creative Commons



Figura 18 - Viaduto José Bonifácio Coutinho Nogueira, São Paulo, SP – Exemplo de sistema viga-pilar em concreto armado e protendido  
Créditos: Lucas Marchesi (2013)



Figura 19 - Antigo Mercado da Vila de Paranapiacaba, Santo André, SP – Exemplo de sistema viga-pilar em madeira, construído em 1899

Créditos: Lucas Marchesi (2013)

Os esforços verticais oriundos de lajes ou pisos são transferidos para as vigas que, por sua vez, os transmitem aos pilares e, então, à fundação da edificação.

### **SISTEMA DE MONTANTES (*FRAME CONSTRUCTION*)**

Estrutura reticulada baseada em elementos estruturais verticais portantes chamados de montantes (*stud* em inglês) ligados por travessas (*joist* em inglês). Esses montantes e travessas formam um quadro (*frame*) estável, dando ao sistema de montante o nome mundialmente conhecido por *Frame Construction*.

Podem ser adicionados contraventamentos ou travamentos, a fim de proporcionar estabilidade à estrutura, quando necessário.

Existem basicamente dois tipos de:

- Sistema Contínuo (*Balloon Frame*);
- Sistema Plataforma (*Platform Frame*).



## SISTEMA CONTÍNUO

No Sistema Contínuo (*Balloon Frame*), os montantes exteriores são contínuos, indo da fundação à cobertura sem interrupções, fazendo com que a estrutura inteira seja um único complexo. A estrutura dos pisos, feita com travessas, é encaixada nos montantes.

Esse sistema possui limitações devido ao tamanho dos montantes e à dificuldade de manuseio e montagem das peças.

## SISTEMA PLATAFORMA

O sistema plataforma tem sua origem no *Balloon Frame*. Nele, a altura dos montantes é restrita ao pé-direito de cada pavimento. A estrutura do piso se apoia sobre as paredes e os montantes externos, servindo de plataforma para a montagem do pavimento superior. Com isto, apresenta maior facilidade e rapidez de execução, além de possuir melhor desempenho contra incêndio. Também possui maior facilidade para pré-fabricação padronizada e industrialização completa devido ao tamanho reduzido das peças. A união entre peças é simples, sem juntas especiais, bastando o emprego de pregos ou parafusos.

Quando a edificação possui apenas um pavimento, não há diferenciação entre Sistema Plataforma ou Contínuo. (Vide figura 20)

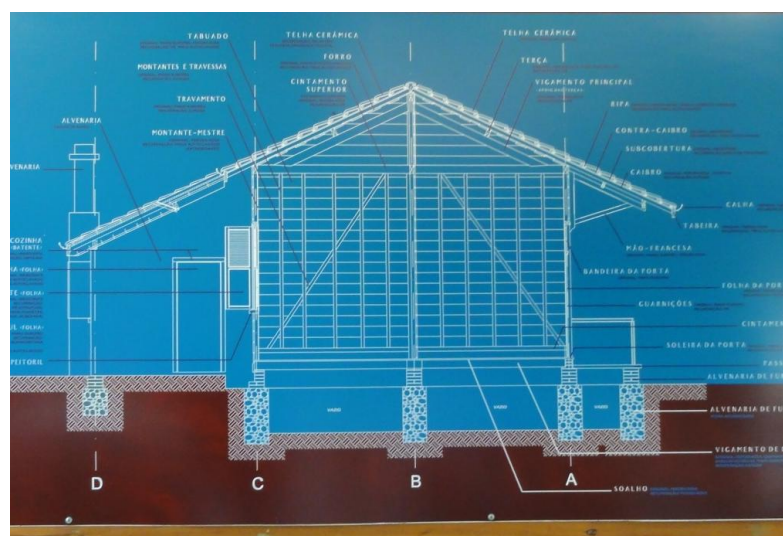


Figura 20 - Painel indicando o método construtivo de uma casa de madeira com sistema de montantes da Vila de Paranapiacaba.

Créditos: Fundação Santo André, 2013.

## SISTEMA DE PAINÉIS ESTRUTURAIS

Os painéis estruturais têm por funções substituir os montantes, dando rigidez à estrutura além de servir de vedação às edificações. Podem também ser usados como contraventamento e pisos nas estruturas de montantes.

Dependendo do tipo de fabricação do painel, podem-se também suprimir as travessas dos pisos e coberturas.

Para se conseguir chegar às grandes dimensões dos painéis, utiliza-se madeira engenheirada.

## LIGAÇÕES

Quando se utiliza a madeira como material estrutural, deve-se pensar que as diferentes peças de madeira devem se ligar através de conexões, junções ou ligações que, na maioria dos casos, caracterizam a qualidade da construção. Estas conexões fazem a transferência de cargas entre peças e devem ser dimensionadas conforme a qualidade e a quantidade de carga, trazendo solidez e segurança à estrutura.

São elementos de ligação mecânica, segundo a "ABNT NBR 7190 – Projetos de Estrutura de Madeira" (figuras 21-24):

- Pinos metálicos (pregos ou parafusos);
- Cavilhas (pinos de madeira torneados);
- Conectores (anéis ou chapas metálicas com dentes estampados).

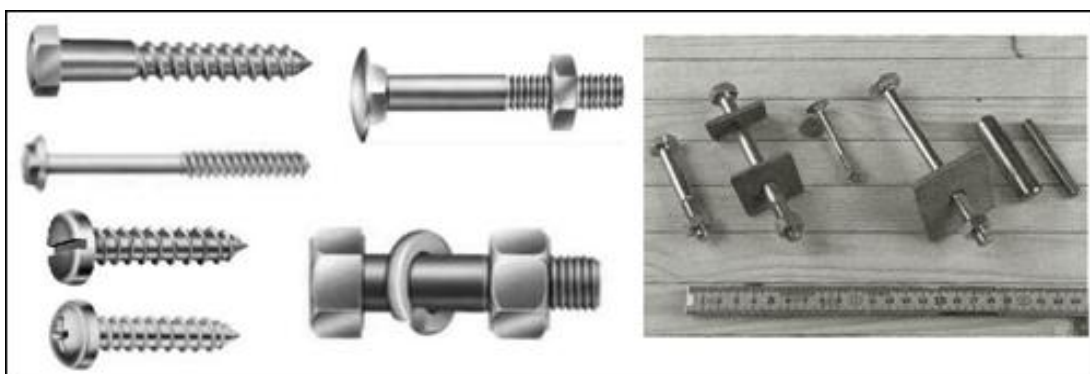


Figura 21 - Parafusos.

Fonte: Carpintería Estructuras de Madeira

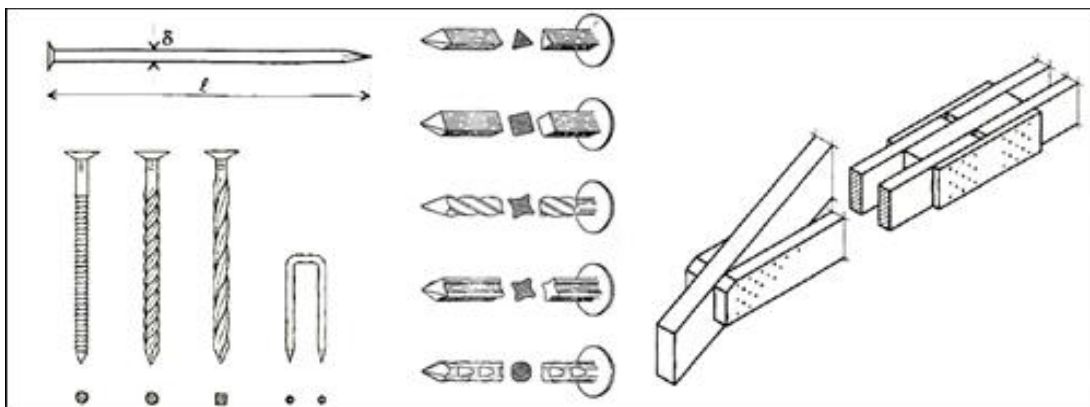


Figura 22 - Pregos

Fonte: Carpintería Estructuras de Madeira



Figura 23 - Cavilhas de madeira

Fonte: Carpintería Estructuras de Madeira

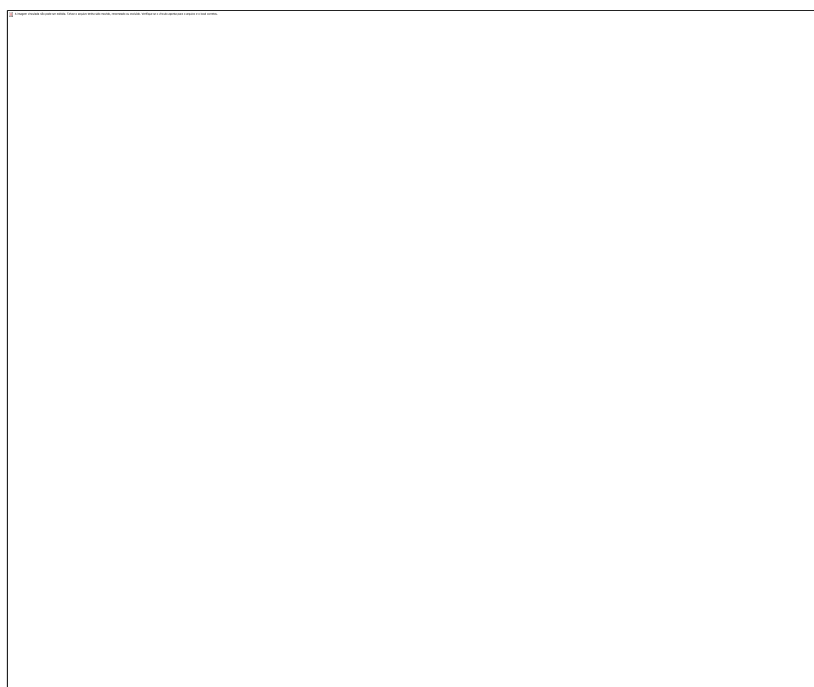


Figura 24 - Chapas metálicas com parafusos

Crédito: Reinaldo H. Ponce

No caso do emprego de juntas longitudinais de madeira laminada colada, podem-se utilizar ligações com cola. A resistência da junta colada deve ser no mínimo igual à resistência ao cisalhamento longitudinal da madeira.

Outros tipos de ligações são empregados ao redor do mundo e no Brasil. São eles:

- Encaixes. (figura 25)

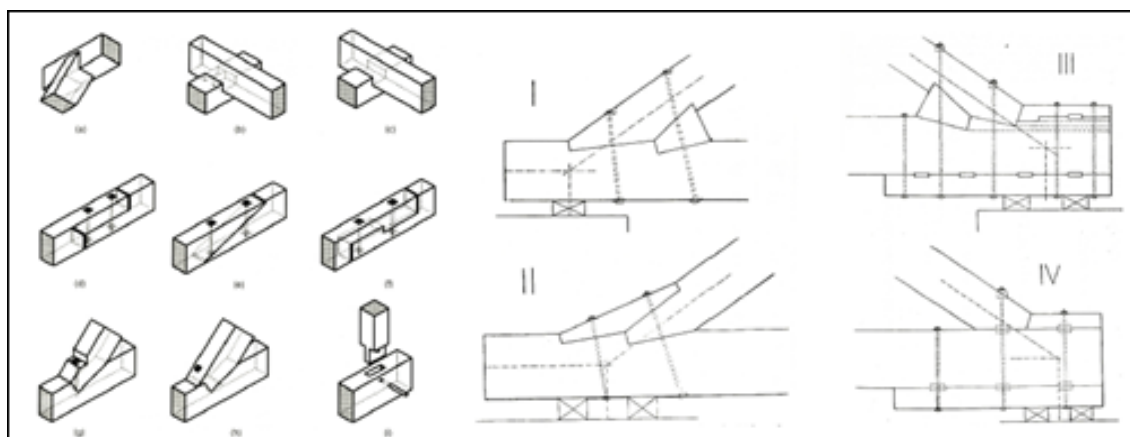


Figura 25 - Ligações tipo Encaixe

Fonte: Carpintería Estruturas de Madeira

- Cavilhas metálicas. (figura 26)

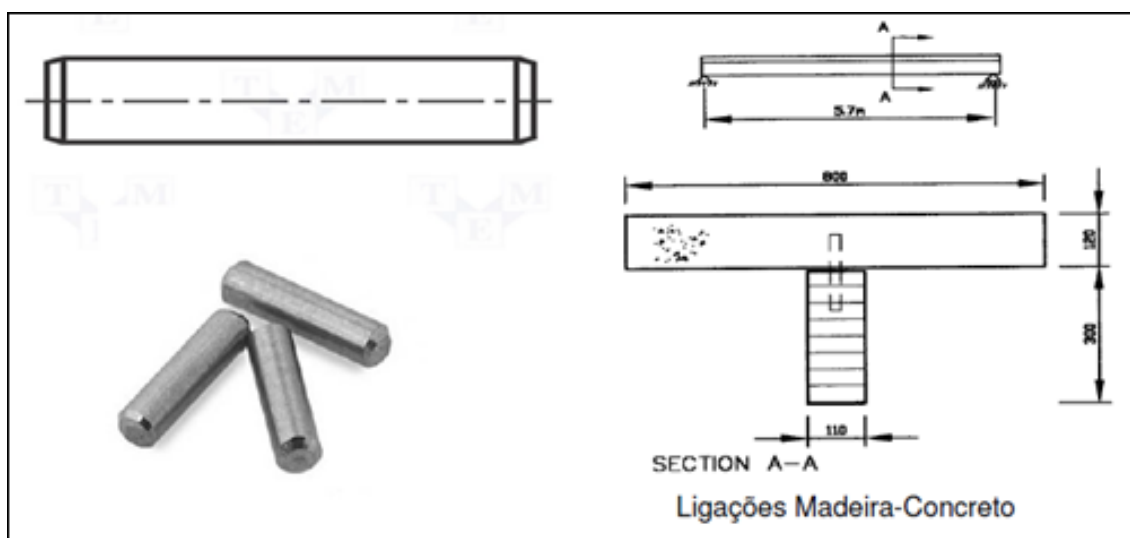


Figura 26 - Cavilhas metálicas.

Fonte: Carpintería Estruturas de Madeira

- Barras roscadas. (figura 27)



Figura 27 - Barra roscada metálica

Crédito: Reinaldo H. Ponce

- Podem haver combinações de ligações. (figura 28)



Figura 28 - Ligação com pregos e barras roscadas.

Crédito: Reinaldo H. Ponce

## 6. O SISTEMA PLATAFORMA

### HISTÓRICO

Uma vez que o sistema plataforma nada mais é do que a evolução natural do sistema “*balloon frame*” americano, ou sistema contínuo, é interessante conhecer primeiro a história desse sistema, para depois entender o que causou sua evolução e quais suas vantagens em relação ao sistema antigo.

O sistema “*balloon frame*” foi desenvolvido nos Estados Unidos no início do século XIX pelo engenheiro civil George Washington Snow (1797-1870). Sua primeira construção foi a igreja St. Mary's, em Chicago, construída no ano de 1833, o que está ilustrado na figura 29.

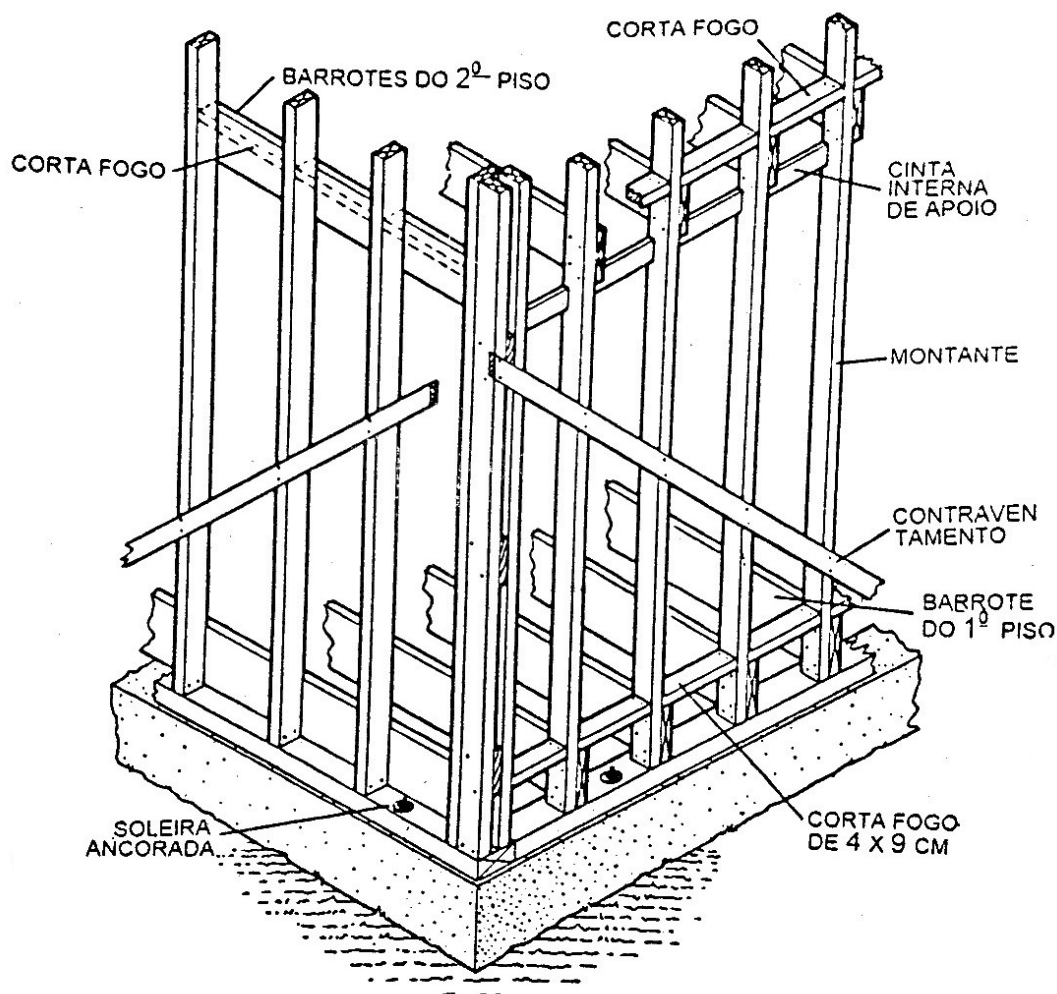


Figura 29 - Esquema geral de uma construção no sistema “balloon frame”

Fonte: PONCE, R. H. (1997)

O nome “*baloon*” se deu pela característica de construção deste sistema estrutural, onde as paredes e as “lajes” são ocas, cheias de ar, assim como os balões.

Com o desenvolvimento do aço e do concreto para a construção civil, a madeira havia entrado em um crescente declínio de uso, uma vez que as grandes e pesadas peças de madeira maciça para o desenvolvimento de vigas e pilares tinham se tornado obsoletas e de difícil manuseio. Para construir uma casa no sistema tradicional eram precisos carpinteiros profissionais, assim como uma enorme quantidade de madeira, o que estava se tornando cada vez mais difícil de se encontrar.

Para facilitar as construções de casas de classe média, o engenheiro George Snow desenvolveu o sistema “*baloon frame*”, que consistia num método construtivo que se baseava em peças de madeira de pequena seção, a famosa seção “*two by four*”, ou dois por quatro polegadas.

Nesse novo sistema era necessárias somente peças de pequenas dimensões e um conhecimento elementar de carpintaria. Sendo assim, esse método construtivo tinha as três principais características para se tornar o método mais famoso de construção no país: velocidade de construção, facilidade de execução e baixo custo.

Com o passar do tempo e o desenvolvimento do sistema “*baloon frame*” os americanos passaram a construir casas com dois ou três pavimentos e perceberam que o sistema não era tão prático para este tipo de construção, pois as junções dos dois pavimentos subsequentes eram de difícil execução, além de serem suscetíveis a incêndios, pois os pavimentos ficavam interligados e suscetíveis ao chamado efeito chaminé, onde o fogo passa pelas frestas existentes no forro, auxiliado pelo aumento de temperatura e ao escape dos gases por estas frestas, espalhando-se rapidamente por toda a edificação.

Por causa desses problemas observados ao longo dos anos, por volta de 1930 a indústria da construção civil americana desenvolveu o sistema plataforma. A principal diferença entre os dois sistemas é a junção entre os diferentes pavimentos. No sistema plataforma o pavimento superior se apoia no pavimento inferior, diferentemente do sistema antigo, onde observava-se uma continuidade das peças entre os pavimentos, que pode ser verificado na figura 30.



Com a separação real entre os pavimentos foi possível eliminar o efeito chaminé em situação de incêndio, diminuindo os riscos, além de facilitar a construção, pois simplificava as ligações das peças entre pavimentos.

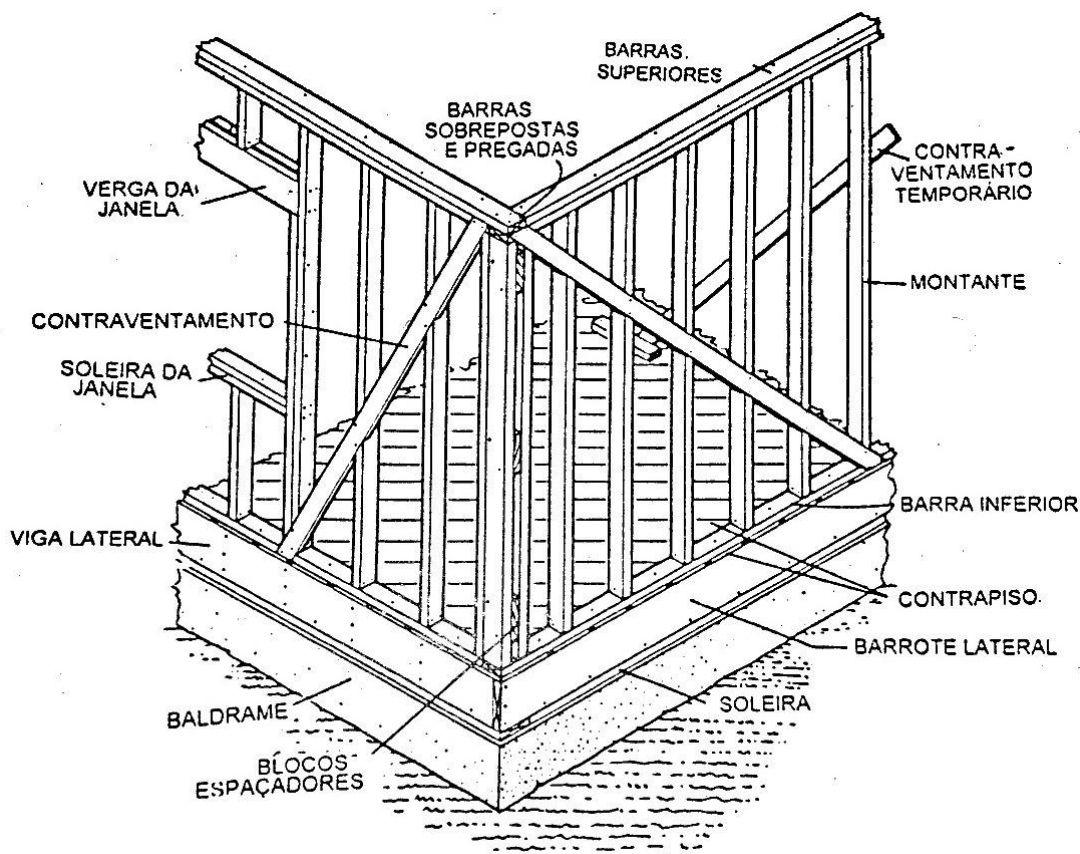


Figura 30 - Esquema geral de uma construção no sistema plataforma

Fonte: PONCE, R. H. (1997)

Com a evolução do sistema e da tecnologia empregada na produção das peças, notou-se também uma diminuição da seção utilizada no sistema. As peças que originalmente tinham 2" x 4" passaram a ter 1,5" x 3,5", devido a um melhor processamento e aplainamento das peças.

No Brasil uma boa dimensão para a peça de seção básica utilizada no sistema plataforma seria 4 cm x 9 cm, muito próxima das dimensões utilizadas atualmente nos Estados Unidos.



## ANÁLISE DO SISTEMA

O sistema plataforma, assim como qualquer outro sistema construtivo, pode ser subdividido em algumas partes principais que constituirão a edificação. São elas: Fundações; Piso (este método construtivo não possui laje, mesmo quando possui mais de um pavimento, uma vez que a divisão entre os pavimentos é feita por pisos, cuja função é a mesma de uma laje, porém com funcionamento estrutural distinto); Paredes externas e internas; Telhado. (figura 31)

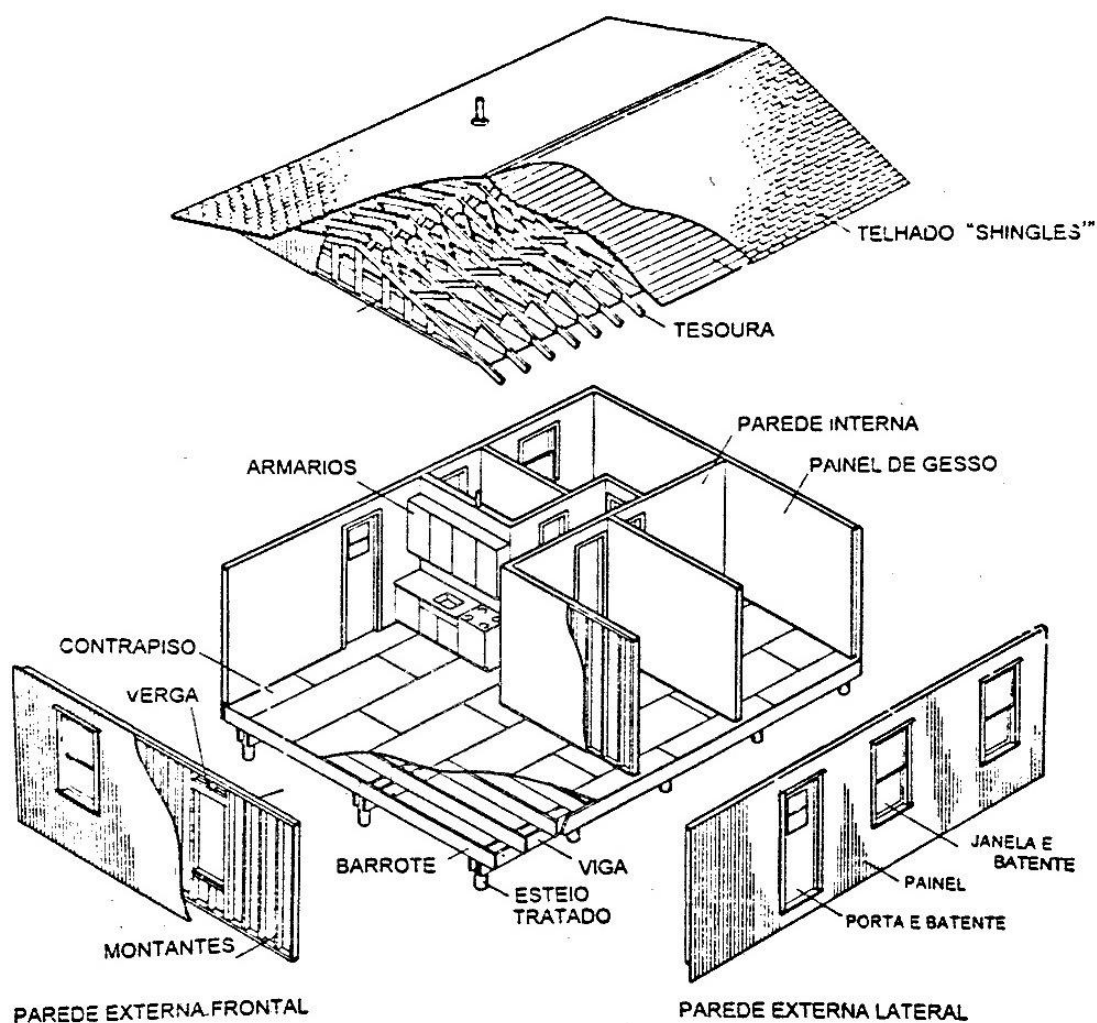


Figura 31 - Visão explodida de uma casa no sistema plataforma

Fonte: PONCE, R. H. (1997)

Para facilitar a compreensão, cada subsistema será explicado isoladamente.

## FUNDAÇÃO

Existem diversas fundações compatíveis com este sistema estrutural, dos quais podem-se destacar estacas, sapatas corridas e sapatas isoladas.

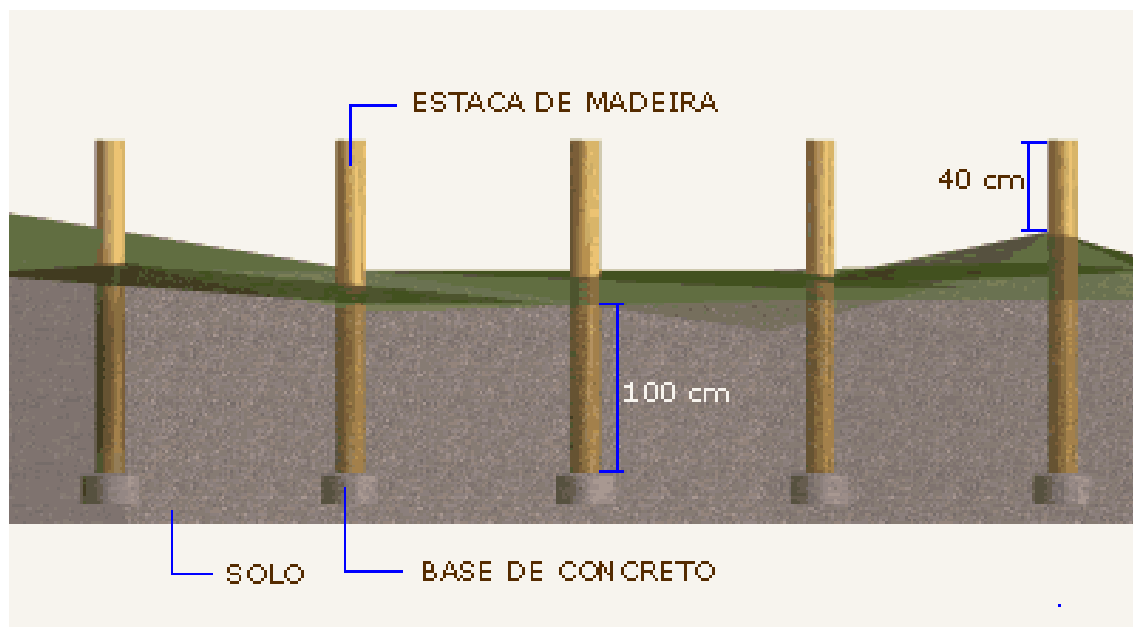


Figura 32 - Visão geral de uma fundação em estacas de madeira

Fonte: Site NUTAU - USP

Por ser uma construção extremamente leve, se comparada a uma equivalente de concreto ou aço, pode-se garantir que as fundações para uma edificação de madeira são de menor dimensão, se comparadas com uma edificação semelhante de alvenaria.

A principal característica da fundação para o sistema plataforma é garantir o afastamento das paredes externas, assim como do piso do pavimento térreo, do solo, evitando desta forma o respingo de chuva que pode acelerar o processo de degradação dos elementos de madeira.

Uma vez garantido este afastamento, o tipo de fundação não influi em mais nenhuma característica do sistema como um todo.

Tanto as sapatas isoladas quanto as estacas (que podem ser de madeira, aço ou concreto) devem ser espaçadas de forma homogênea no piso da edificação. Para esse sistema construtivo, a fundação não precisa estar diretamente embaixo das paredes, devendo formar uma grelha homogênea para o apoio da estrutura. (figuras 32 e 33)

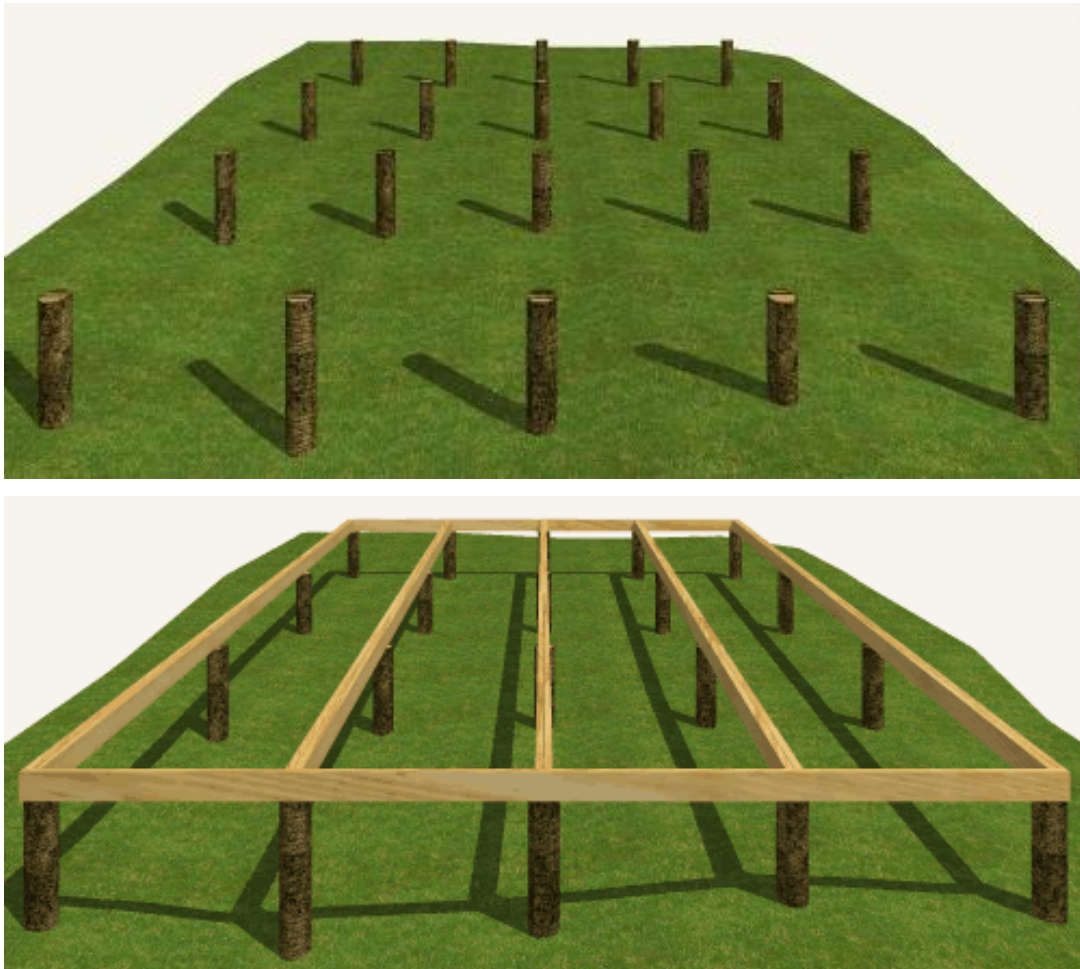


Figura 33 - Distribuição homogênea das estacas de madeira e seu devido vigamento

Fonte: NUTAU - USP

No caso específico da sapata corrida, pode-se usá-la como base para elevar a proteção necessária das paredes em relação ao solo em todo o perímetro da edificação.

## PISO

O piso, tanto do pavimento térreo quanto dos subsequentes, é composto por um sistema de barroteamento. O barrote é uma peça de madeira com 4 cm de espessura e com altura variável entre 9 e 30 cm (dependendo do espaçamento entre barrotes, vão livre e qualidade da madeira).

O sistema é bem simples: primeiramente têm-se os barrotes externos, ou barrotes de travamento, que delimitam o perímetro do piso a ser construído. No interior do piso são dispostos diversos barrotes subsequentes espaçados entre si de 30 a 60 cm, dependendo do projeto a ser executado (figura 34).



Figura 34 - Barroteamento do piso sob fundação em estacas de madeira

Fonte: Site NUTAU - USP

Após a execução do esqueleto da estrutura, cobre-se a parte superior com o contrapiso ou com o piso a ser utilizado, assim como na parte inferior é feita a cobertura com o forro (no caso de pavimentos que não o térreo), ilustrado na figura 35.

Sendo assim pode-se considerar que este piso tem a função de uma laje. Dessa forma, colocam-se os diversos pisos lado a lado criando-se o desenho da casa, da mesma forma que é feita com lajes de concreto.

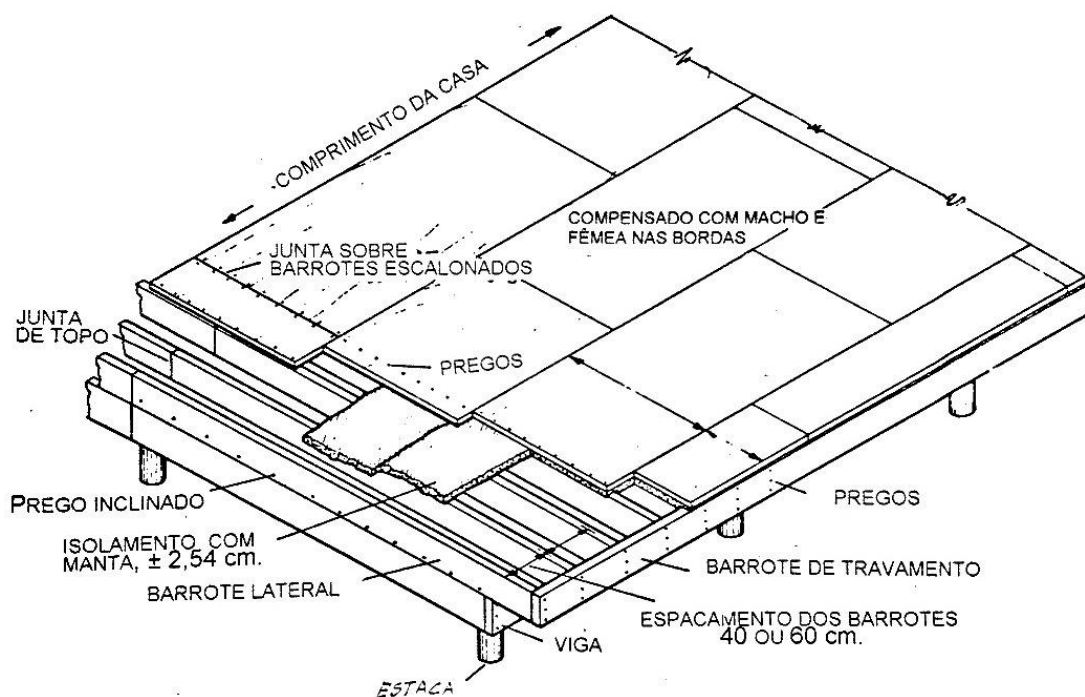


Figura 35 - Detalhe construtivo do piso no sistema plataforma

Fonte: PONCE, R. H. (1997)

O barroteamento do piso do pavimento térreo tem influência direta com o projeto de fundação da edificação. Uma vez que, diferente das lajes de concreto, o piso do sistema plataforma não é um sólido único, mas sim uma formação de “vigas” subsequentes, os pontos de apoio das estacas ou das sapatas devem estar localizados abaixo dos barrote, e este é o motivo da fundação, mencionada anteriormente, ser formada por uma grelha homogênea de estacas ou sapatas, facilitando tanto a execução in loco quanto o projeto, além de melhorar a distribuição de cargas da estrutura e conseqüentemente diminuindo o tamanho das fundações.

## **PAREDES EXTERNAS**

No sistema plataforma, diferentemente da estrutura convencional laje-viga-pilar, não existem vigas e pilares de sustentação, desta forma as paredes da edificação devem ser autoportantes. Porém uma das grandes vantagens do sistema plataforma é que, dependendo do projeto, é possível que somente as paredes externas suportem as cargas do telhado, criando uma maior flexibilidade das paredes internas, que podem ser modificadas a qualquer momento sem que seja necessário um novo projeto estrutural.

A estrutura das paredes é muito semelhante à do piso, porém são utilizadas peças de seção mais delgadas, 4 x 9 cm.

Sua construção é feita da mesma forma do piso (deve ser feita na horizontal para posteriormente ser erguida e fixada em sua posição correta). Primeiramente faz-se um requadro de madeira com a largura e altura completas da parede. Dentro são posicionados montantes (peças verticais que ligam a base ao topo da parede) com espaçamento de 30 a 60 cm, dependendo da carga que irão suportar.

Nas bordas das paredes geralmente se utilizam montantes duplos, dando maior rigidez à estrutura.

Nos locais das janelas colocam-se vergas e contravergas apoiadas em montantes incompletos, onde as extremidades das janelas são solidarizadas com montantes completos de reforço. Para as portas, deve-se fazer o mesmo: apoia-se a verga da porta em montantes incompletos e é feito um reforço lateral com montantes, o que pode ser verificado nas figuras 36 e 37.

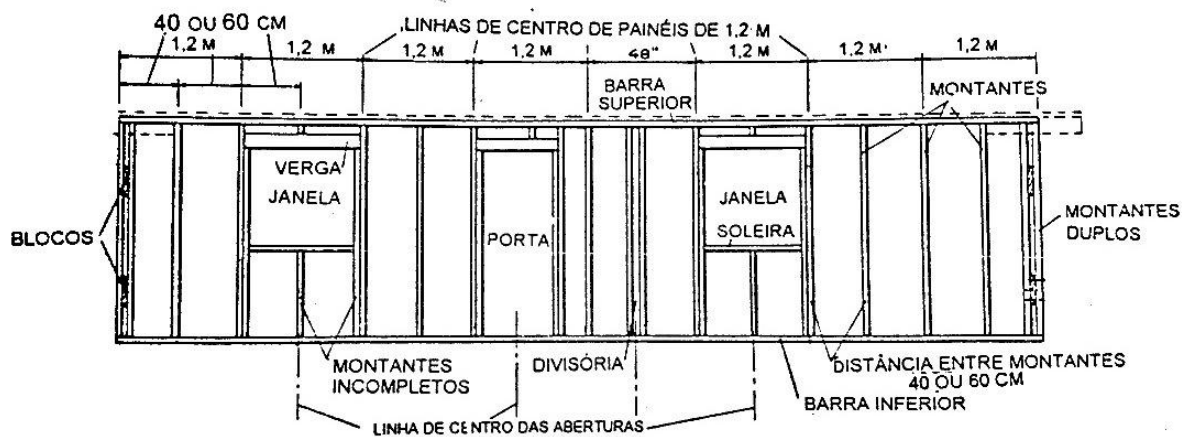


Figura 36 - Esquema geral de uma parede no sistema plataforma

Fonte: PONCE, R. H. (1997)

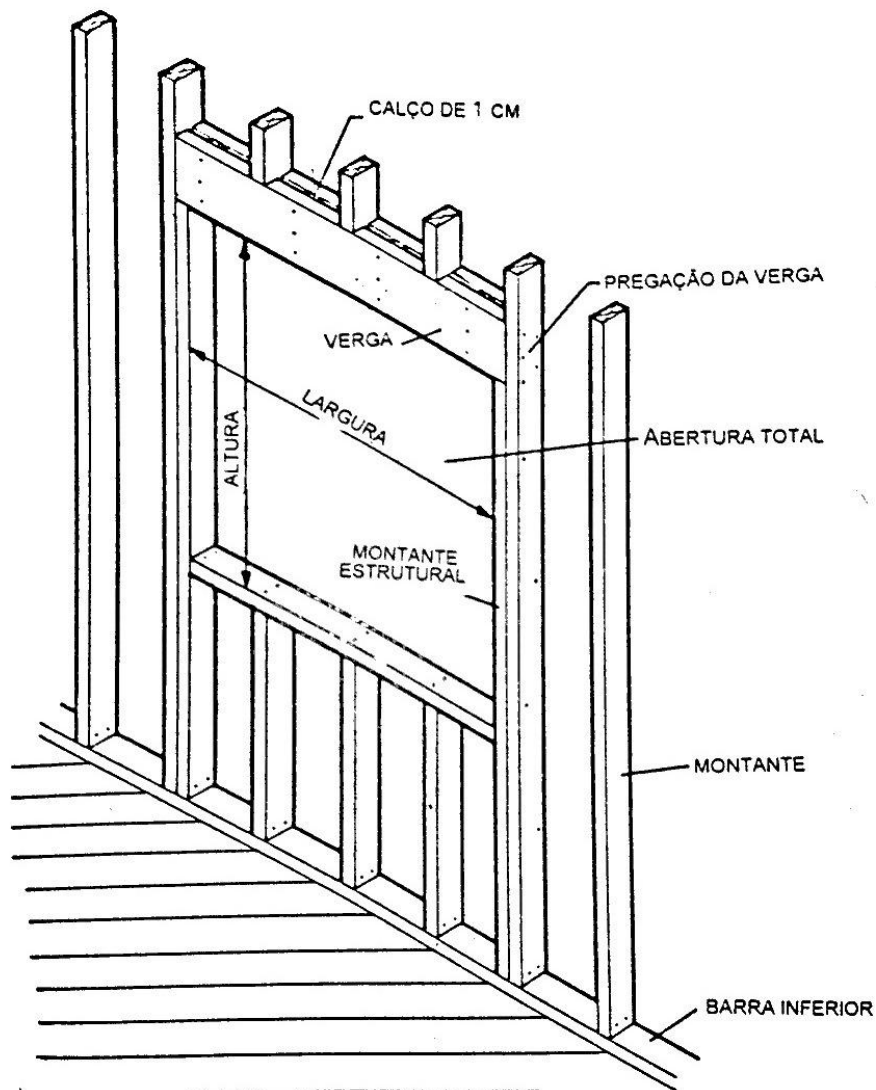


Figura 37 - Detalhe construtivo de uma janela no sistema plataforma

Fonte: PONCE, R. H. (1997)

Uma vez preparada a parede como um todo, incluindo os vãos para portas e janelas, deve-se fazer um reforço diagonal para contraventamento, garantindo o esquadro da estrutura independentemente da existência de esforços laterais. Esse contraventamento é usualmente feito com peças de 2 x 10 cm, ligando o extremo superior de uma lateral com o extremo inferior da lateral oposta. Um outro modo de fazer este contraventamento é a utilização de painéis de madeira estrutural em um dos lados da parede, garantindo a rigidez da estrutura.

O revestimento das paredes externas pode ser feito de diversas formas, sendo que algumas são mais adequadas para a face externa e outras para a face interna.

Na face externa podem ser utilizadas placas de madeira, tabuas horizontais macho-fêmea, tabuas horizontais pregadas ou tabuas diagonais. Caso utilize-se madeira, ela deve ser devidamente tratada para resistir às intempéries. Para melhorar a resistência da madeira também é possível revesti-la com tinta ou outro substrato adequado. (figuras 38 e 39)

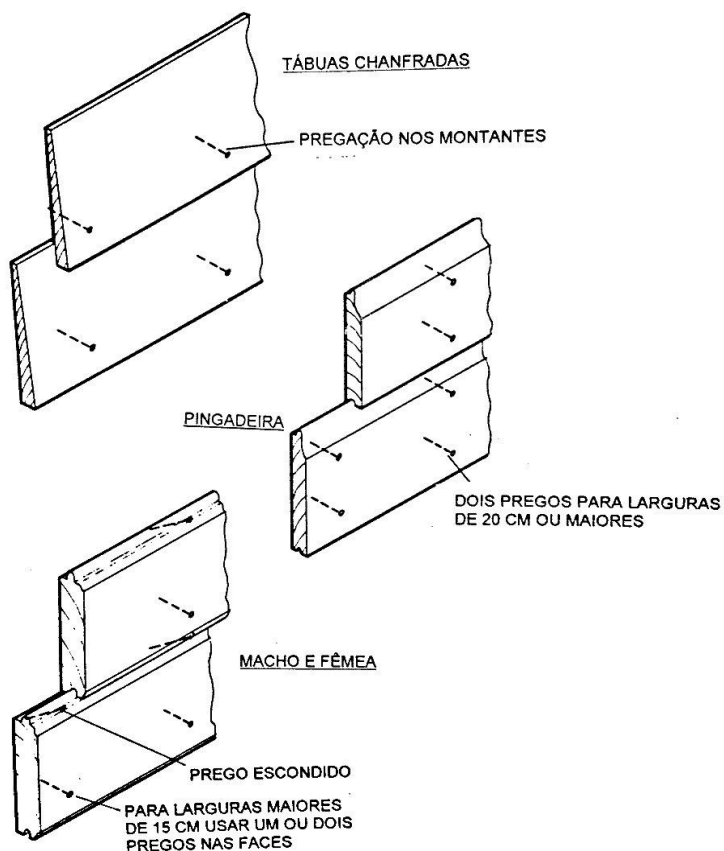


Figura 38 - Exemplos de revestimentos em tábua de madeira para paredes no sistema

Fonte: PONCE, R. H. (1997)



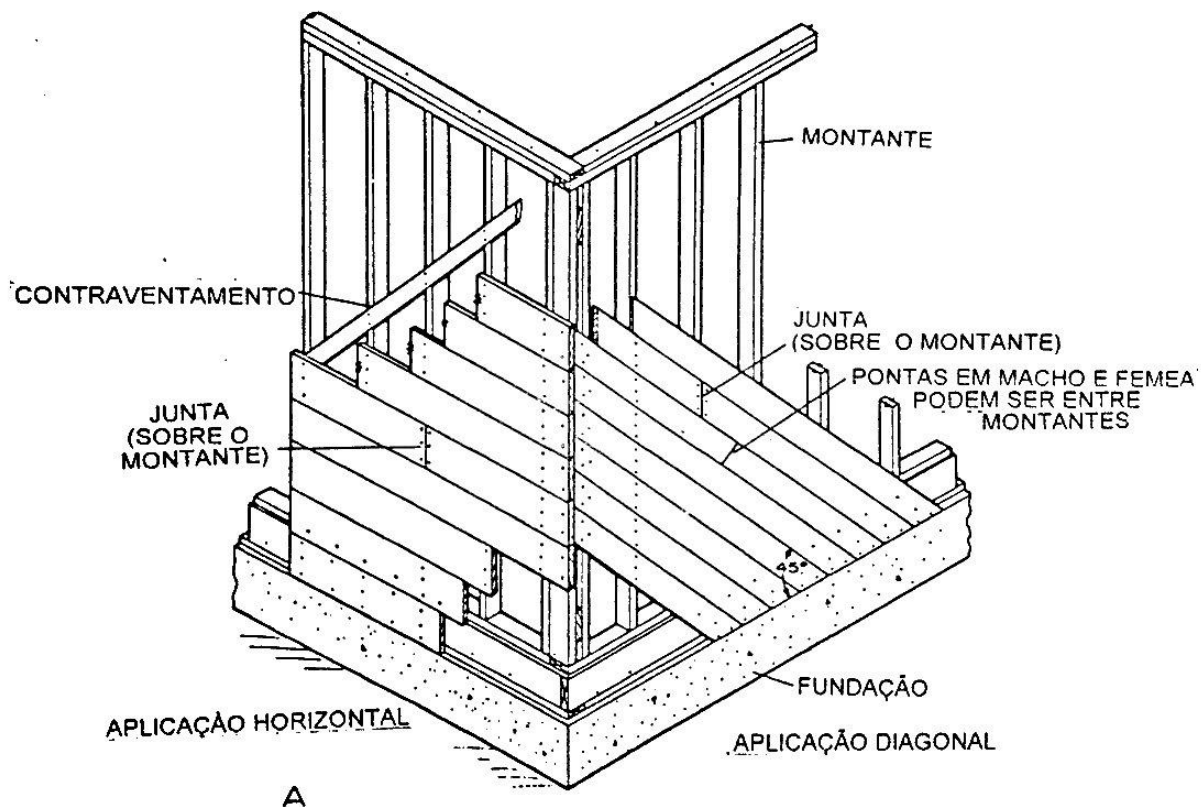


Figura 39 - Detalhe construtivo de revestimentos em tábuas horizontais e diagonais para paredes externas no sistema plataforma

Fonte: PONCE, R. H. (1997)

Na face interna, além dos materiais citados anteriormente também é possível utilizar painéis de gesso acartonado, posteriormente pintados, revestidos com papel de parede, porcelanato ou qualquer outro tipo de revestimento que o cliente final quiser.

## PAREDES INTERNAS

As paredes internas não estruturais possuem uma única diferença com relação às paredes externas: a distância entre montantes, que pode ser fixada em 60 cm.

Para melhorar o desempenho acústico das paredes internas é possível completar os vãos internos da parede com lã de vidro, lã de rocha ou até mesmo placas de OSB.

As faces das paredes podem ser revestidas com os mesmos materiais explicitados anteriormente, porém o mais aconselhável é que se utilizem painéis de



gesso acartonado, pois além de terem um custo relativamente baixo aumentam a velocidade de construção.

## TELHADO

No sistema plataforma é possível utilizar diversas soluções de telhado, onde as mais comuns são os telhados de duas ou quatro águas tradicionais feitos com o sistema de tesouras, ou um telhado praticamente plano, como uma cobertura de laje presente em construções de alvenaria no sistema laje-viga-pilar.

O sistema de tesoura é amplamente utilizado no Brasil e dispensa apresentações. (figuras 40 e 41)

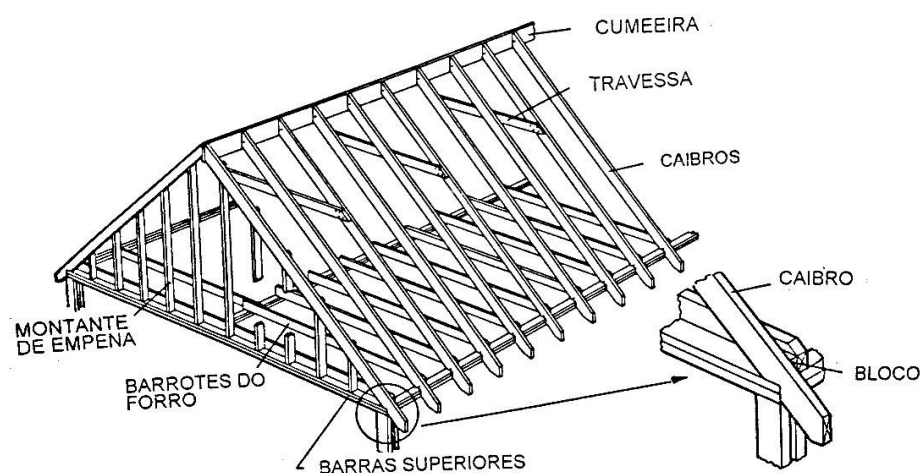


Figura 40 - Detalhe construtivo de um telhado para o sistema plataforma

Fonte: PONCE, R. H. (1997)

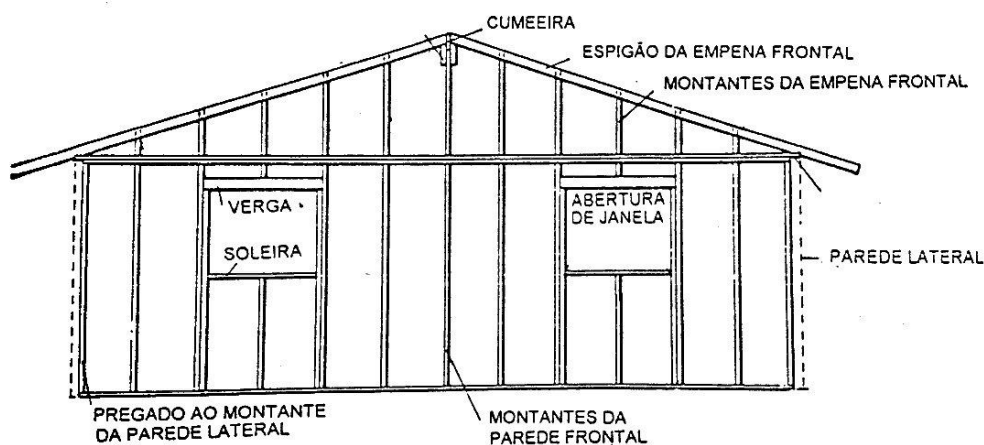


Figura 41 - Vista lateral da junção de uma parede com o telhado no sistema plataforma

Fonte: PONCE, R. H. (1997)

Já o sistema de telhado plano, que é menos utilizado, consiste numa cobertura cuja estrutura é muito semelhante à utilizada nos pisos já apresentada nesta dissertação. A principal diferença é que suas dimensões são maiores que as do pisos, criando-se um beiral na estrutura (com tamanho variando entre 30 e 60 cm). Para os beirais que possuem seu lado de maior dimensão paralelo aos barrotes, o que impossibilitaria sua fixação, utilizam-se barrotes no sentido oposto que se encontram com um barrote duplo localizado já na parte interior da edificação (avançando algo em torno de 0,6 a 1,2 m da parede externa) conforme pode ser verificado na figura 42.

A junção dos barrotes perpendiculares (existentes na extremidade do beiral) é feita através de um barrote mestre, que nada mais é do que um barrote duplo posicionado a 45° no vértice o telhado.

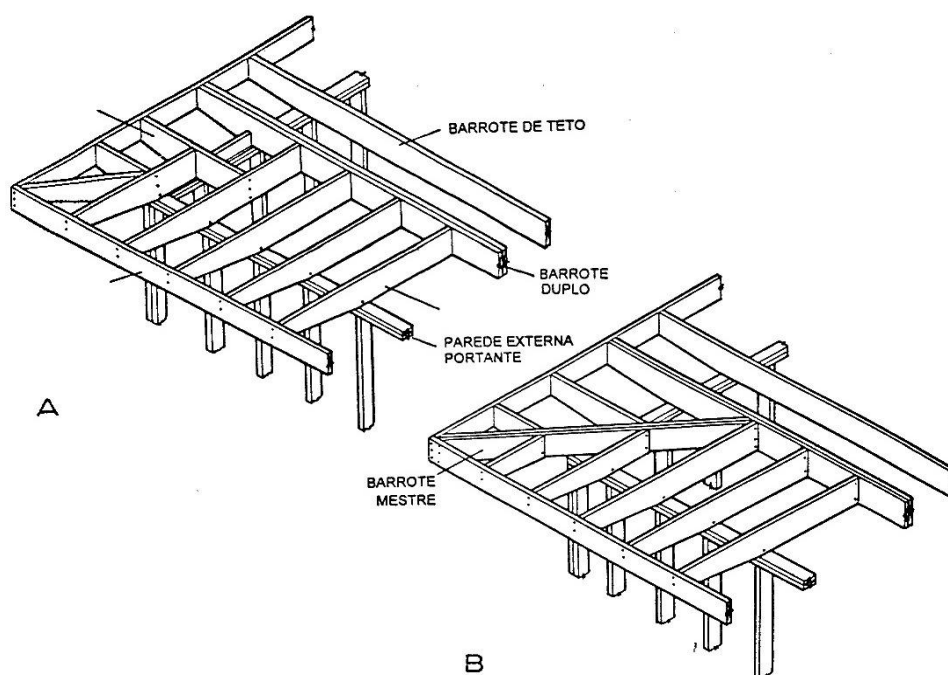


Figura 42 - Detalhe construtivo de telhados planos para o sistema plataforma. A – Beiral com menos de 90 cm. B – Beiral com mais de 90 cm

Fonte: PONCE, R. H. (1997)

A cobertura é feita com várias camadas, sendo a primeira formada por placas de madeira compensada pregadas aos barrotes (ou até mesmo placas de madeira ou madeira aglomerada), cobertas por um filme impermeável que por sua vez é coberto ou por telhas (que podem ser metálicas ou de fibrocimento) ou por cobertura a base de betume e fibras.

## LIGAÇÕES

Existem dois tipos de ligações principais que são utilizadas no sistema plataforma, sendo que elas variam de acordo com o local de aplicação. O primeiro tipo faz as ligações entre a superestrutura e a fundação, enquanto o segundo faz a ligação entre os elementos da estrutura.

No caso das ligações da estrutura de madeira com o concreto ou com a base de alvenaria é usual utilizar parafusos de ancoragem, dando maior rigidez ao sistema. (figuras 43 e 44)

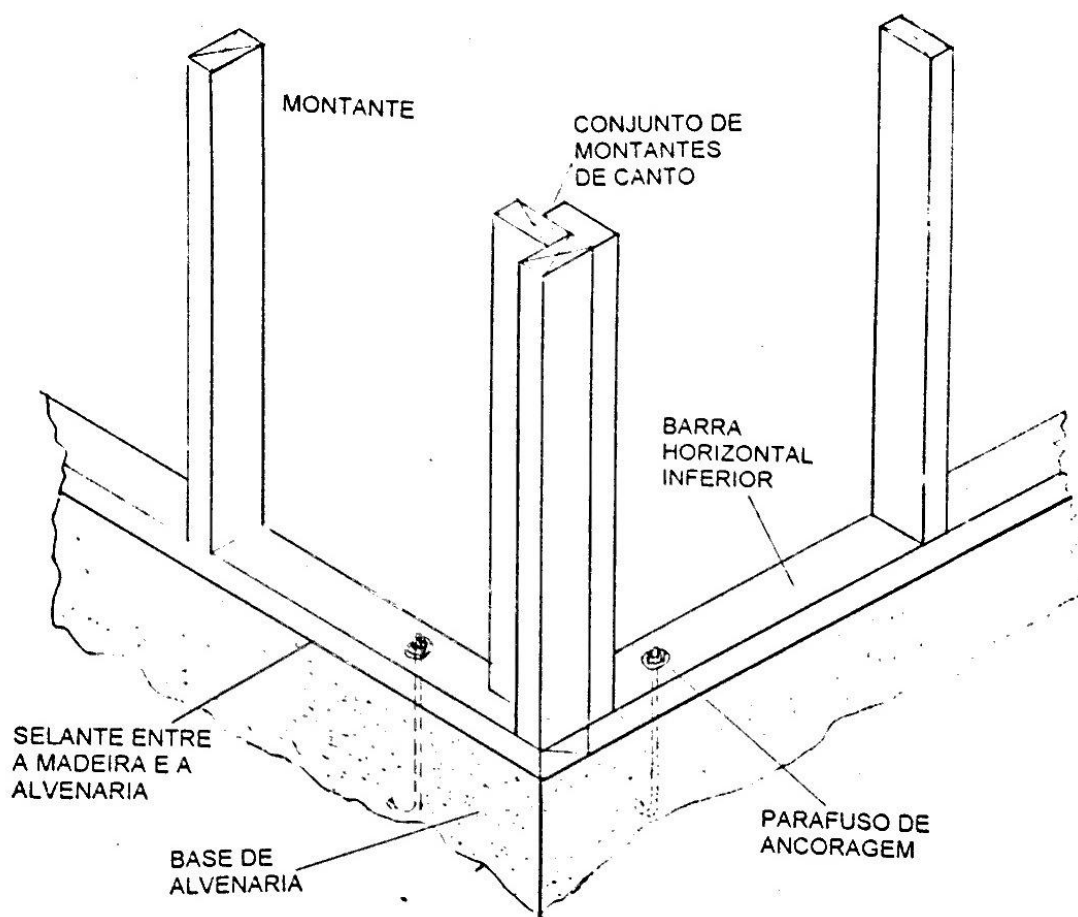


Figura 43 - Detalhe da ligação da estrutura de madeira com a base de alvenaria

Fonte: PONCE, R. H. (1997)

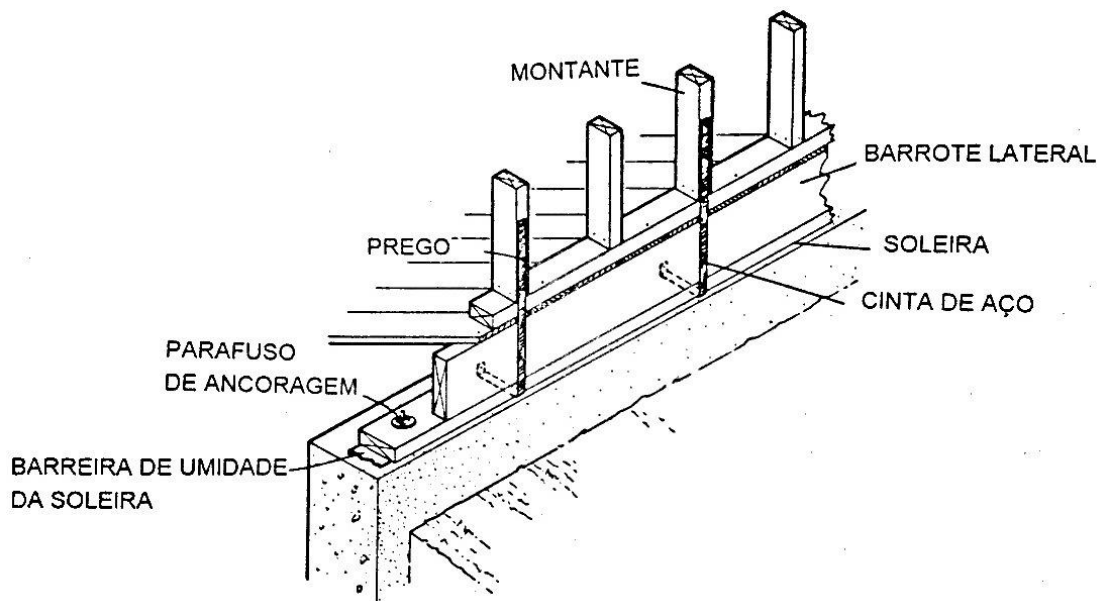


Figura 44 - Detalhe da ligação da estrutura de madeira com a base de concreto  
 Fonte: PONCE, R. H. (1997)

Para a ligação entre os elementos estruturais utiliza-se o prego, ilustrado pelas figura 45 e 46.

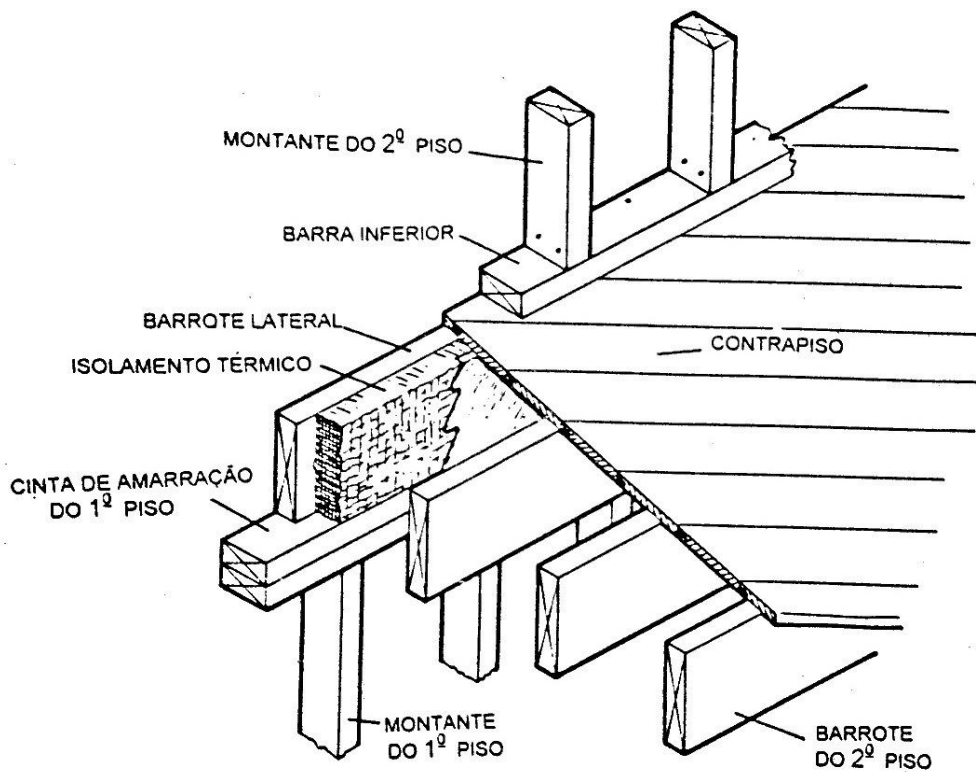


Figura 45 - Detalhe construtivo do segundo pavimento no sistema plataforma  
 Fonte: PONCE, R. H. (1997)

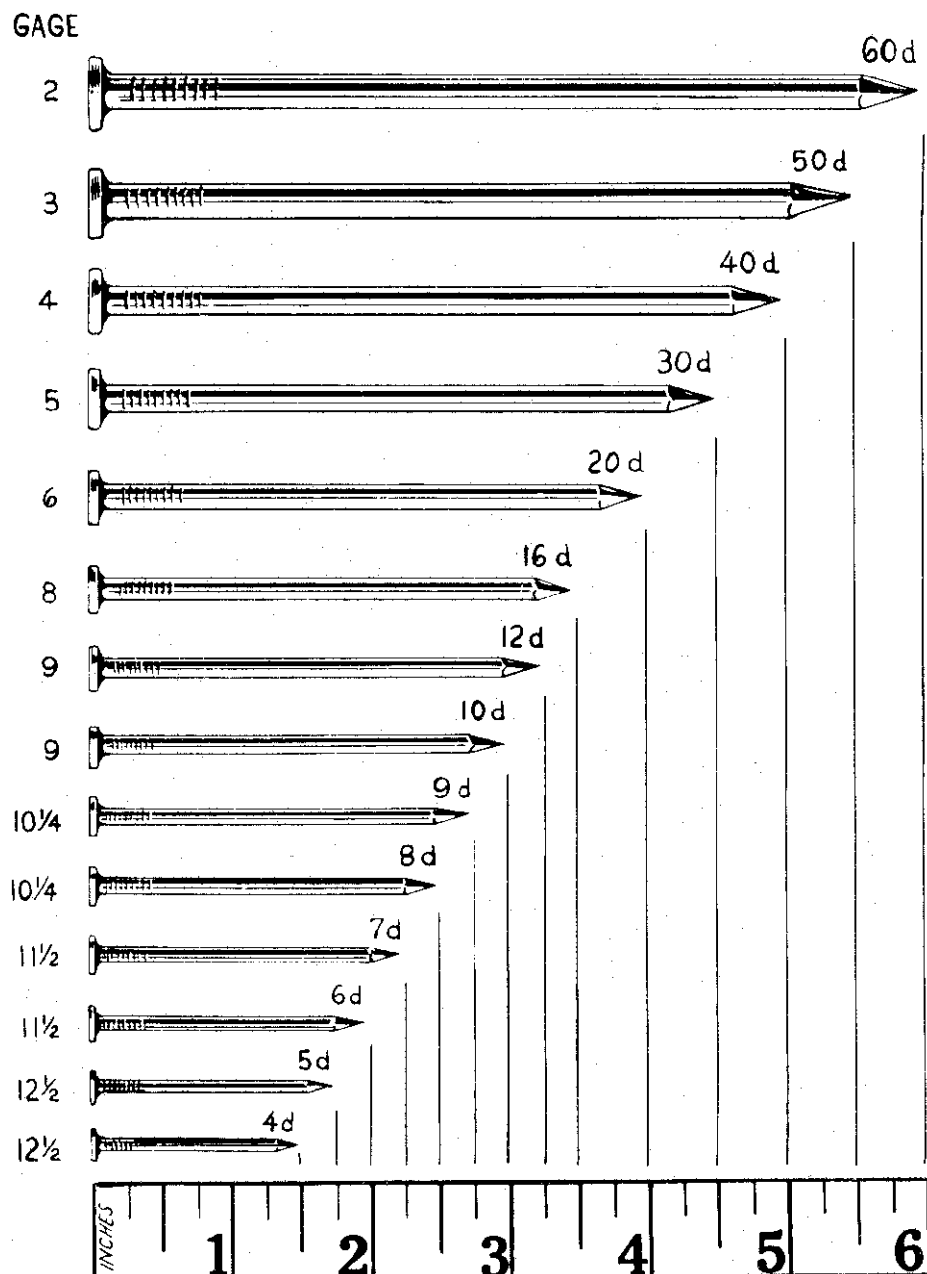


Figura 46 - Exemplo dos tamanhos de prego mais utilizados nos EUA para a construção de edificação no sistema plataforma

Fonte: AMERICAN WOOD COUNCIL (2001)

## RELAÇÃO COM OUTROS SUBSISTEMAS

Por guardar semelhanças com o Sistema Viga-Pilar, o projeto de Sistemas Prediais para a estrutura de Sistema Plataforma não precisa de distinções.

A diferença se dá no tempo de execução na estrutura de madeira, que é menor, se comparado à estrutura de concreto.

Para tanto, pode-se utilizar os seguintes materiais:

- Sistema Predial de Água Fria
  - Prumadas em PVC
  - Ramais em tubo flexível (PEX)
- Sistema Predial de Água Quente
  - Prumadas e ramais em PPR ou CPVC
  - Ramais em tubo multicamada (PEX-AL-PEX)
- Sistema Predial de Gás Combustível
  - Cobre ou Multicamada (PEX-AL-PEX)

Dá-se preferência às tubulações de polietileno reticulado (PEX) flexível ou multicamada, por possuírem menos conectores e menor probabilidade de vazamento, além da rapidez de execução, compatível ao Sistema Plataforma.

Outros sistemas prediais indispensáveis em que não há diferenciação para sistemas estruturais:

- Incêndio;
- Águas Pluviais;
- Esgoto sanitário;
- Elétrica;
- Ar condicionado;
- Telefonia
- CFTV e Segurança Patrimonial;
- Drenagem;
- Para-raios;

Pode-se verificar na figura 47 a execução de um sistema de esgoto para uma edificação feita com sistema plataforma.



Figura 47 - Execução dos sistemas prediais de esgoto antes da execução da estrutura do Sistema Plataforma

Crédito: Faculty of Engineering and Applied Science of Memorial University of Newfoundland, Canadá.

Pensando ainda na sustentabilidade da edificação, podem-se adicionar os seguintes sistemas prediais:

- Sistema Predial de Aquecimento Solar (com ou sem aquecimento auxiliar de gás);
- Sistema Predial de Aproveitamento de Águas Pluviais e Irrigação;
- Sistema Predial de Águas Cinzas;
- Sistema Predial de Águas Negras;
- Sistema Predial de Água de Reuso.

## **7. MÓDULOS ESTRUTURAIS**

### **INOVAÇÃO TECNOLÓGICA POR TRÁS DA MODULAÇÃO**

SABBATINI apud SOUZA et ally (1995) define inovação tecnológica como um novo produto, processo ou sistema construtivo introduzido no mercado que incorpora uma nova ideia e representa um sensível avanço na tecnologia em termos de desempenho, qualidade ou custo.

A modulação, ou padronização de modelos e medidas, consiste num sistema capaz de racionalizar produções desde o projeto até o produto final. Esta racionalização se efetiva através da adoção dos módulos, considerada como base de todos os elementos constituintes da construção.

Desde os primórdios da humanidade, acompanhando o crescimento populacional e o consequente processo de urbanização das cidades, o homem passou a padronizar medidas e utilizar seus múltiplos. As arquiteturas de povos antigos, como Mesopotâmia, Egito e Grécia, já utilizavam medidas com base única (comprimento do antebraço, orientação de estrelas, diâmetro de um pilar, entre outros).

Com a Revolução Industrial no século XVIII, as construções em aço passaram a ser largamente produzidas com peças de dimensões únicas e seus múltiplos, que passaram a ser chamadas de módulos. A modulação, portanto, tornou-se desejável para a produção industrializada baseada em escala e repetição.

A utilização de um sistema modular parte do princípio da necessidade da racionalização e velocidade de construção, possibilitando maior eficiência, economia nos custos e melhor qualidade no produto final.

A inovação tecnológica do sistema industrializado “Módulos Estruturais Pré-Fabricados em Madeira” consiste em amplificar o potencial de desempenho construtivo e habitável do “Sistema Plataforma”, pois simplifica a execução de projetos, permite a padronização de materiais e procedimentos de execução e facilita o controle de produção.



Tal modulação deve:

- a) Auxiliar o trabalho de engenheiros e arquitetos, que passam a contar com elementos compatíveis entre si;
- b) Simplificar a coordenação de projetos, graças à diminuição na variação de medidas;
- c) Simplificar a montagem na obra, diminuindo mão-de-obra necessária e tempo de construção;
- d) Reduzir problemas de interface entre componentes, elementos e sistema;
- e) Facilitar o desenvolvimento de novos produtos, independentemente do tamanho final. Nota-se que tal modulação estrutural em madeira vale tanto para grandes casarões destinados às classes A e B como para pequenos residenciais para as classes C e D, tendo em vista o programa federal “Minha Casa, Minha Vida”.

Este enfoque de caráter global da construção em módulos estruturais permite alcançar patamares mais elevados de qualidade em todo processo e custos mais baixos, alavancados pela inovação, em comparação à construção tradicional.

## **CRIAÇÃO E CONCEPÇÃO DOS MÓDULOS**

Uma vez que a tecnologia apresentada neste trabalho é vastamente conhecida e desenvolvida no mundo, percebeu-se que era preciso criar algo novo, que não existisse no mercado e que adaptaria este tipo de construção rápida, barata e eficiente para países que não dispusessem da mão-de-obra especializada presente nos países nórdicos.

A ideia era simples: seria criado um catálogo de módulos estruturais que permitiriam que as rápidas construções do sistema plataforma ficassem mais rápidas ainda.

A chave não é criar peças padronizadas para facilitar a construção, mas sim fornecer elementos estruturais praticamente prontos para as obras, substituindo os carpinteiros (profissão escassa no Brasil) por montadores.

Com esta ideia em mente, decidiu-se criar módulos para todos os sistemas estruturais de uma casa, sendo eles:

- Parede
- Parede com porta ou janela
- Piso
- Teto (laje superior)
- Escada

Uma vez que este trabalho não tem o intuito de se tornar um catálogo comercial de vendas decidiu-se por apenas apresentar as ideias básicas da criação deste catálogo. Desta forma serão apresentadas todas as peças que comporiam um catálogo, porém sem o detalhamento de peças semelhantes.

## **MÓDULOS DE PAREDE**

Este é o módulo mais importante de todos, uma vez que é o que possui maior número de variações de tamanho e de resistência, além de ser o tipo de módulo mais utilizado em uma construção.

Eles consistem basicamente em montantes verticais unidos por barras horizontais que servem, principalmente, para fazer a ligação destes módulos com os pisos superiores e inferiores, cuja altura básica é de 2,40 m (vide figura 48).

Para se ter uma variação considerável de opções, flexibilizando-se ao máximo o projeto da edificação, foram propostos quatro tamanhos diferentes de módulos: 1,20 m; 1,80 m; 2,40 m; 3,00 m.

Utilizou-se a modulação de 60 cm pelo atual crescimento do uso de revestimento de gesso acartonado no Brasil, uma vez que as placas de gesso acartonado são vendidas com 1,20 m de largura, sendo assim, é possível reduzir ao máximo a geração de resíduos.

Outro ponto importante desta estrutura é que as medidas americanas tradicionais 2"x4" (*two by four*) foram substituídas por medidas aproximadas no sistema métrico de unidades. Utilizou-se então, como base a dimensão 5x10 cm (nas barras superiores e inferiores) e 5x8 cm ou 10x8 cm (nos montantes). Sendo que o montante 10x8 cm nada mais é do que dois montantes 5x8 cm sobrepostos, sobreposição esta comum no sistema plataforma desenvolvido em outros países.

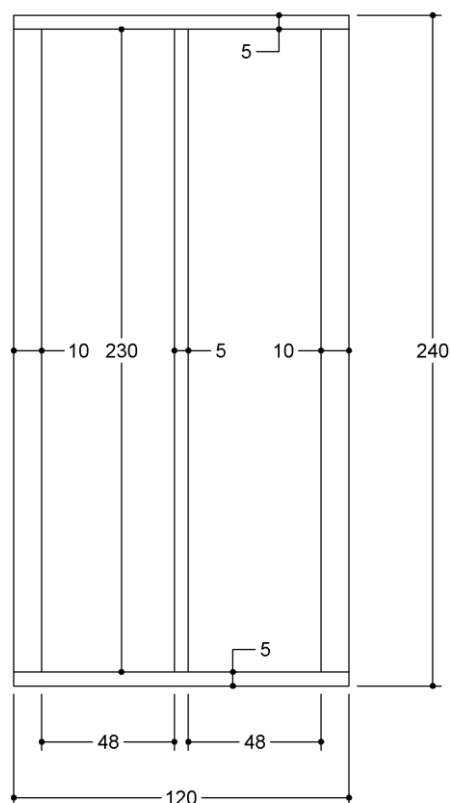


Figura 48 - Dimensões básicas do módulo de parede

Por último, substituiu-se o tradicional travamento cruzado do sistema plataforma por uma chapa de compensado de Pinus com 20 mm de espessura pregada em cada montante de madeira. Esta solução foi considerada a mais adequada por três razões: a primeira é que a utilização de um travamento cruzado tornaria a produção dos módulos mais artesanais e consequentemente menos industrializáveis; a segunda é que com a utilização do compensado melhora-se o desempenho acústico e térmico médio da parede; por último e o mais importante dos motivos, ao utilizar a placa de compensado como travamento têm-se módulos de parede com um dos lados pronto para receber seu revestimento final, aumentando-se ainda mais a velocidade construtiva.

Nota-se que a chapa de madeira Pinus de 20 mm sobreposta aos montantes de 8 cm totalizam os 10 cm de largura das barras inferiores e superiores. Desta forma, os módulos de parede possuem 10 cm de espessura, 2,40 m de altura e comprimento variável. (figura 49)



Figura 49 - Exemplo do módulo de parede

Uma vez que para reduzir os custos do módulo utiliza-se um compensado simples, e este não é resistente à umidade, a face do compensado deve ser posicionada sempre na parte interior das paredes externas da casa e voltadas somente para as áreas secas. Não é aconselhável o uso em áreas úmidas tais como cozinhas e sanitários.

Por sua vez este problema pode ser contornado em último caso utilizando-se um compensado naval (compensado fabricado com resina, distinta da utilizada nos compensados convencionais, mais resistentes à umidade), também de Pinus, no lugar do compensado tradicional. Este compensado naval aumenta o custo do módulo, mas possibilita o uso em áreas úmidas, mesmo que ainda não seja aconselhável utilizá-lo em áreas externas.

Uma vez definidos os tamanhos dos módulos, as dimensões das peças e seu travamento foi preciso criar também uma divisão de classes de resistência para os módulos, uma vez que é possível realizar edificações de até quatro andares com este sistema (recomendação de catálogos internacionais). Sendo assim, criaram-se três classes de resistência, cujas diferenças entre si são o número de montantes em cada módulo e consequentemente o espaçamento entre eles. Para facilitar o entendimento, na figura 50 apresentam-se as diversas classes de resistência do módulo de 1,80 m de largura.

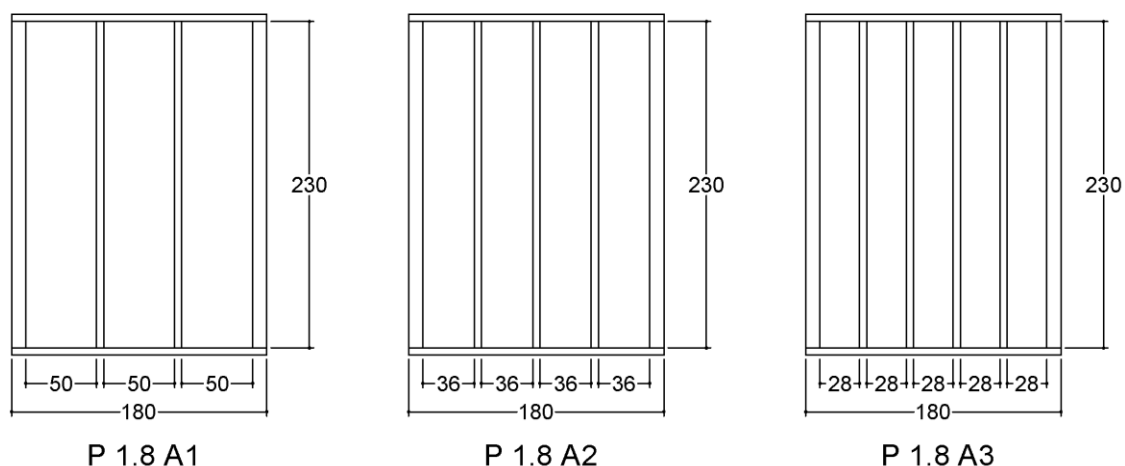


Figura 50 - Exemplo das classes de resistência

Para finalizar foi preciso criar um sistema de ajuste de dimensões dos módulos, para que seja possível fazer o encaixe entre os módulos de forma racional, mantendo-se as dimensões básicas adotadas para a criação dos módulos de piso. Desta forma, cada módulo foi subdividido em três tipos: o básico, cujas dimensões já foram apresentadas anteriormente; o intermediário, com 5 cm a menos do que o básico; e o reduzido, com 10 cm a menos que o básico. Esse ajuste pode ser verificado na figura 51 com os módulos de 2,4 m de resistência 1.

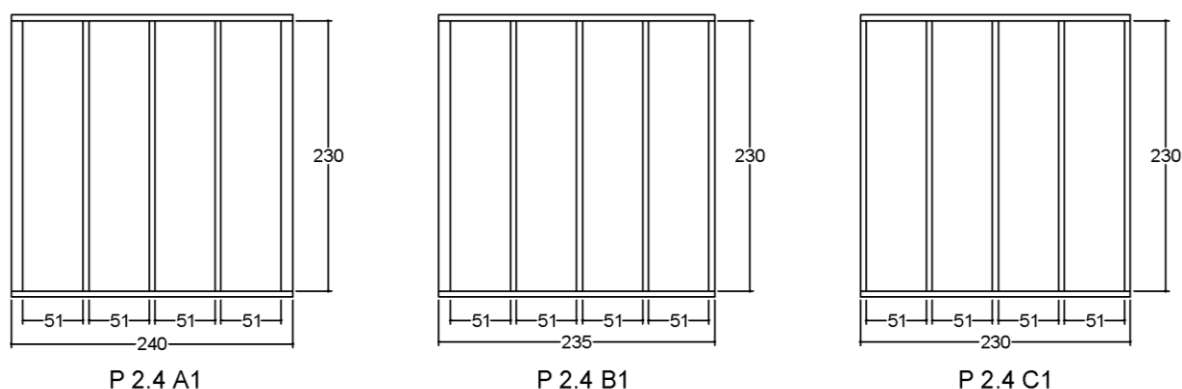


Figura 51 - Exemplo do ajuste de medida dos módulos

Para facilitar a identificação de cada módulo criou-se uma nomenclatura padrão, sendo ela formada por uma letra inicial P (identificando que este é um módulo de parede), seguido de sua dimensão básica (1.2, 1.8, 2.4 ou 3.0), de seu tamanho real identificado pelas letra A, B ou C (sendo A o módulo básico, B o módulo intermediário e C o módulo reduzido) e finalmente de sua classe de

resistência (representada pelos números 1, 2 e 3 onde o menor número corresponde ao módulo menos resistente). A tabela 18 apresenta a lista de módulos idealizados.

Tabela 18 - Lista de todos os módulos de parede e suas denominações

Identificação	Tamanho	Ajuste	Resistência	Nome final do módulo
P	1.2	A	1	P 1.2 A1
			2	P 1.2 A2
			3	P 1.2 A3
		B	1	P 1.2 B1
			2	P 1.2 B2
			3	P 1.2 B3
		C	1	P 1.2 C1
			2	P 1.2 C2
			3	P 1.2 C3
	1.8	A	1	P 1.8 A1
			2	P 1.8 A2
			3	P 1.8 A3
		B	1	P 1.8 B1
			2	P 1.8 B2
			3	P 1.8 B3
		C	1	P 1.8 C1
			2	P 1.8 C2
			3	P 1.8 C3
	2.4	A	1	P 2.4 A1
			2	P 2.4 A2
			3	P 2.4 A3
		B	1	P 2.4 B1
			2	P 2.4 B2
			3	P 2.4 B3
		C	1	P 2.4 C1
			2	P 2.4 C2
			3	P 2.4 C3
	3.0	A	1	P 3.0 A1
			2	P 3.0 A2
			3	P 3.0 A3
		B	1	P 3.0 B1
			2	P 3.0 B2
			3	P 3.0 B3
		C	1	P 3.0 C1
			2	P 3.0 C2
			3	P 3.0 C3

## MÓDULOS DE PAREDE COM ABERTURA

Os módulos com abertura são de extrema importância caso o projeto de um catálogo venha a ser produzido para o mercado, para isso, deve-se pesquisar a fundo as soluções existentes de portas e janelas, assim como suas dimensões médias no mercado.

Uma vez que este não é o foco deste trabalho adotaram-se algumas medidas de porta e janelas básicas para se realizar um estudo estrutural de viabilidade, assim como, para desenvolver o estudo de caso, que será apresentado adiante, de forma realista.

Com este pensamento em mente foram adotadas as seguintes aberturas:

- Porta: 0,90 x 2,10 m
- Janela grande (para salas): 2,00 x 1,00 m a 1,00 m do piso
- Janela média (para quartos): 1,50 x 1,00 m a 1,00 m do piso
- Janela pequena (para sanitários): 0,60 x 0,50 m a 1,65 m do piso

Todas estas aberturas podem ser localizadas dos lados direito, esquerdo e centralizado nos módulos. Para diferenciá-los dos demais utilizou-se uma segunda notação após o nome do módulo, sendo ela posicionada do lado direito após um hífen com as siglas:

- Po (porta)
- Jg (janela grande)
- Jm (janela média)
- Jp (janela pequena)

Seguido da identificação de sua posição utilizando-se o separador "/":

- d (direita)
- c (centro)
- e (esquerda)

Para facilitar segue um exemplo de um módulo de três metros com uma porta em seu lado direito: P 3.0 A1 - Po/d, lembrando que os lados direito e esquerdo referem-se à parede quando vista com o compensado atrás dos montantes.

As figuras 52 a 55 apresentam exemplos das aberturas desenvolvidas.



Figura 52 - Exemplo de módulo de porta



Figura 53 - Exemplo de módulo de janela grande



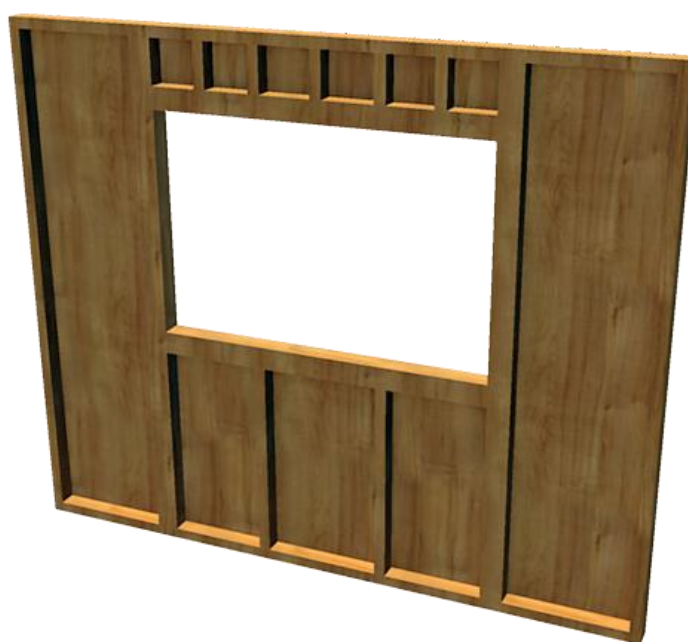


Figura 54 - Exemplo de módulo de janela média



Figura 55 - Exemplo de módulo de janela pequena

Para garantir a resistência dos módulos, utilizam-se montantes com 10 cm de espessura ao invés de 5 cm tanto nos montantes adjacentes ao vão quanto nas vergas e contravergas das janelas e das portas. Além disso dobra-se o número de montantes na parte superior do vão, garantindo uma melhor distribuição dos esforços.

## MÓDULOS DE PISO

Os módulos de piso, que também são utilizados como laje de cobertura onde deve ser apoiado o telhado escolhido pelo arquiteto ou engenheiro responsável pelo projeto, seguem as mesmas dimensões básicas dos módulos de parede, sendo elas: 1,20 m; 1,80 m; 2,40 m; 3,00 m; compondo um total de dezesseis módulos distintos.

Os módulos de piso são compostos da mesma forma que os pisos tradicionais do sistema plataforma, possuindo vigas de bordo, cujas seções são de 10 x 30 cm e barrotes internos de seções 10 x 20 cm, podendo ser verificado nas figuras 56 e 57.

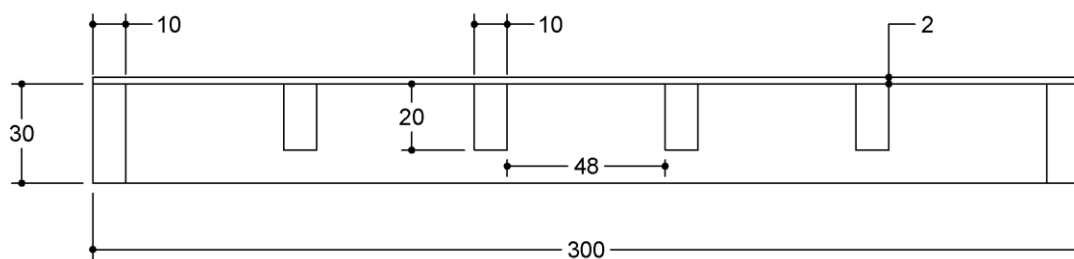


Figura 56 - Dimensões básicas de um módulo de piso



Figura 57 - Perspectiva em raio X do módulo de piso

Como travamento utilizou-se, assim como nos módulos de parede, compensado de Pinus com 20 mm de espessura. Lembrando que ao utilizar em áreas úmidas deve-se realizar uma impermeabilização adequada, sendo indicado também o uso do compensado naval nestes casos, vide figuras 58 e 59.

Para facilitar sua identificação desenvolveu-se um sistema simples de nomenclatura, formado por: a letra L (identificando que este é um módulo de piso, sendo L proveniente de Laje) e um par de dimensões, sendo elas o tamanho dos lados do módulo. Para identificar qual o sentido dos barrotes adotou-se que o primeiro valor definiria o tamanho dos barrotes. Ou seja, no módulo L 1.8x3.0 sabemos que os barrotes estão paralelos ao lado de 1,8 m. A tabela 19 possui um resumo dos módulos de piso desenvolvidos.

Tabela 19 - Tabela com todos os módulos de pisos e suas denominações

<b>Tamanho</b>	<b>1.2 m</b>	<b>1.8 m</b>	<b>2.4 m</b>	<b>3.0 m</b>
<b>1.2 m</b>	L 1.2x1.2	L 1.2x1.8	L 1.2x2.4	L 1.2x3.0
<b>1.8 m</b>	L 1.8x1.2	L 1.8x1.8	L 1.8x2.4	L 1.8x3.0
<b>2.4 m</b>	L 2.4x1.2	L 2.4x1.8	L 2.4x2.4	L 2.4x3.0
<b>3.0 m</b>	L 3.0x1.2	L 3.0x1.8	L 3.0x2.4	L 3.0x3.0



Figura 58 - Perspectiva de um módulo de piso visto por cima

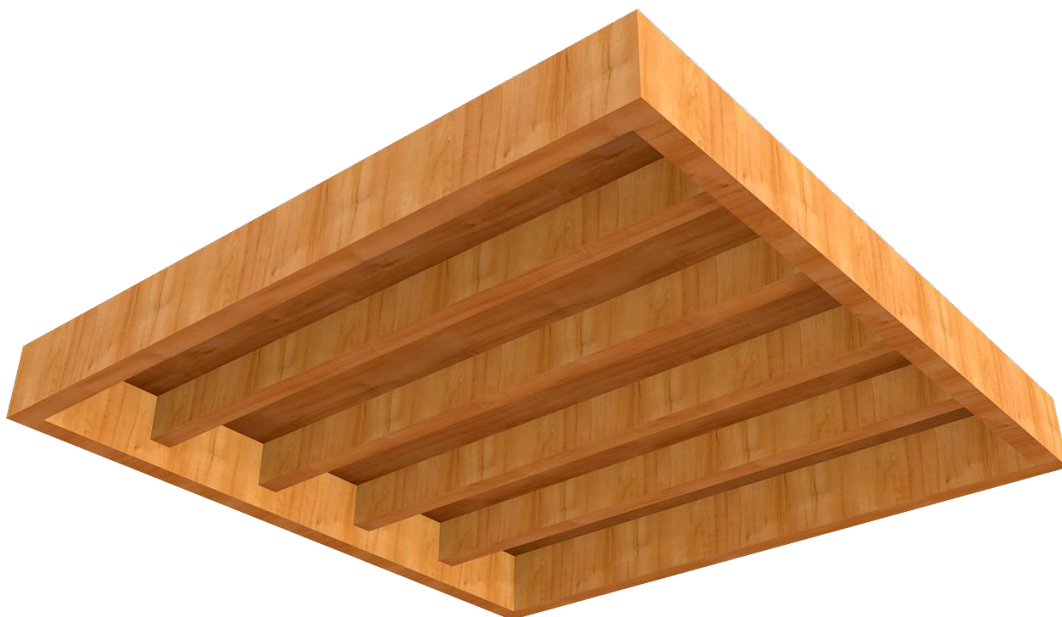


Figura 59 - Perspectiva de um módulo de piso visto por baixo

## MÓDULOS ESPECIAIS

Uma vez que uma edificação não é formada somente pelos três tipos de módulos básicos apresentados anteriormente, foi preciso desenvolver também alguns outros módulos, sendo eles: os módulos de escada e o módulo piso para acesso ao sótão.

A criação do módulo de escada não era algo obrigatório, uma vez que era fácil alegar que cada projetista prefere colocar uma escada específica em seu projeto, sendo assim seria impossível padronizar este módulo. Por outro lado a criação de módulos de escada prontos para serem instalados traria enormes benefícios e praticidade para o projeto, além de aumentar a velocidade construtiva. Sendo assim, este módulo foi considerado crucial para o desenvolvimento tanto do estudo de caso que será apresentado quanto para este projeto como um todo.

O projeto desenvolvido foi baseado nas necessidades do estudo de caso, porém foi considerado como um módulo altamente aplicável em projetos reais, e por isso foi realizado. Este módulo tem as dimensões de 1,2 x 6,0 m sendo um escada linear em um único lance. A relação da altura x tamanho do degrau foi exaustivamente estudada, adotando-se um valor de alto conforto para o usuário final, com espelho de 18 cm e cobertor de 26,5 cm (figuras 60 e 61).

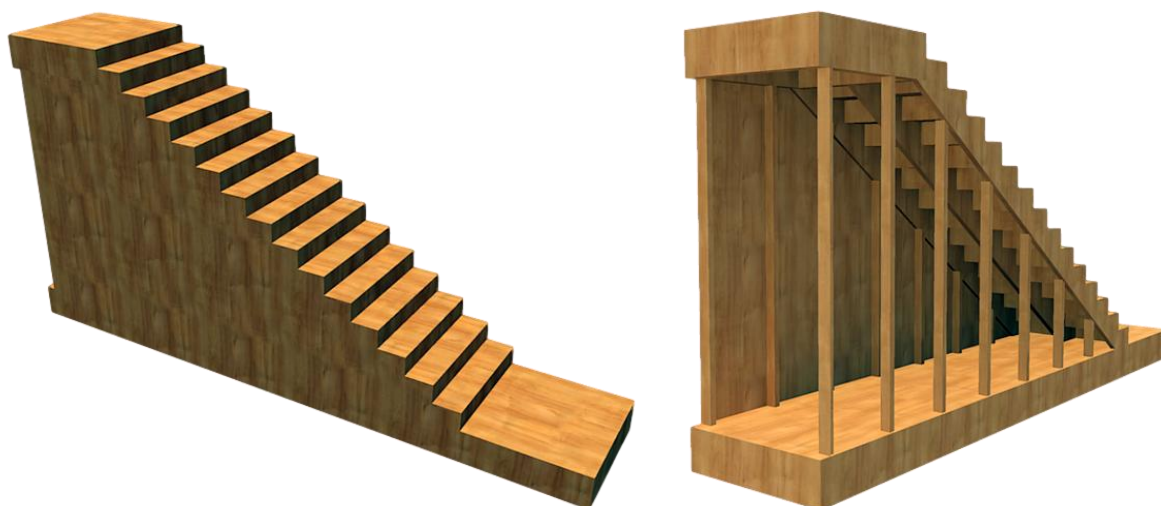


Figura 60 - Perspectiva do módulo de escada e sua estrutura interna

Considerou-se também a possibilidade de se desenvolver módulos de escada com formato em L com 3,0 x 3,0 m ou 4,2 x 4,2 m, assim como uma escada um U com 1,8 x 4,2 m, porém foram considerados ruins para o estudo do caso e não foram desenvolvidos. Acrescenta-se novamente que o desenvolvimento de múltiplas tipologias de escada seria crucial para a realização de um catálogo comercial.

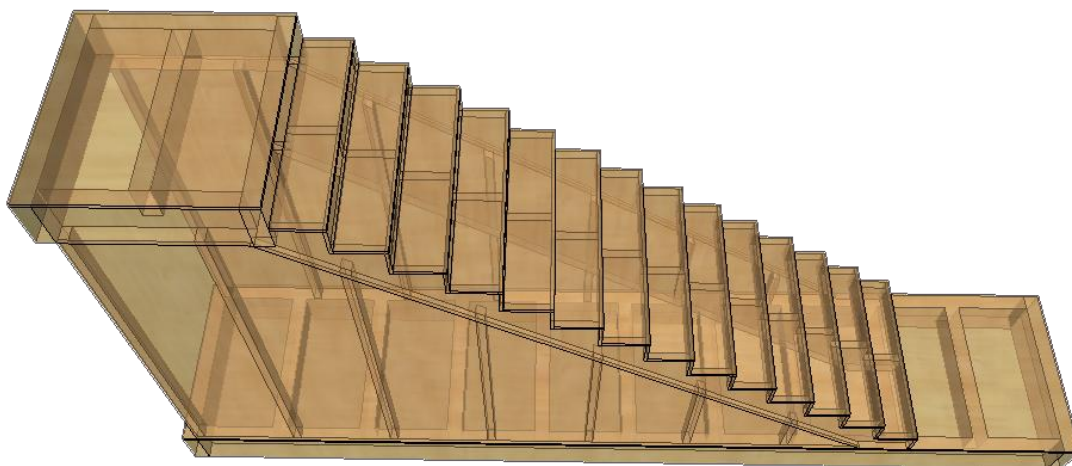


Figura 61 - Perspectiva em raio-x do módulo de escada

O outro módulo especial desenvolvido neste projeto foi o de piso com acesso ao sótão. Este módulo foi criado puramente para suprir uma necessidade do estudo de caso presente neste trabalho, sendo que para a criação de um catálogo comercial é preciso realizar um estudo referente a este tipo de módulo.



O princípio deste módulo foi muito semelhante ao utilizado nas aberturas dos módulos de parede, utilizando-se de barrotes para criar o esquadro necessário do vão (0,86 x 0,86 m), o que pode ser verificado nas figuras 62 e 63.

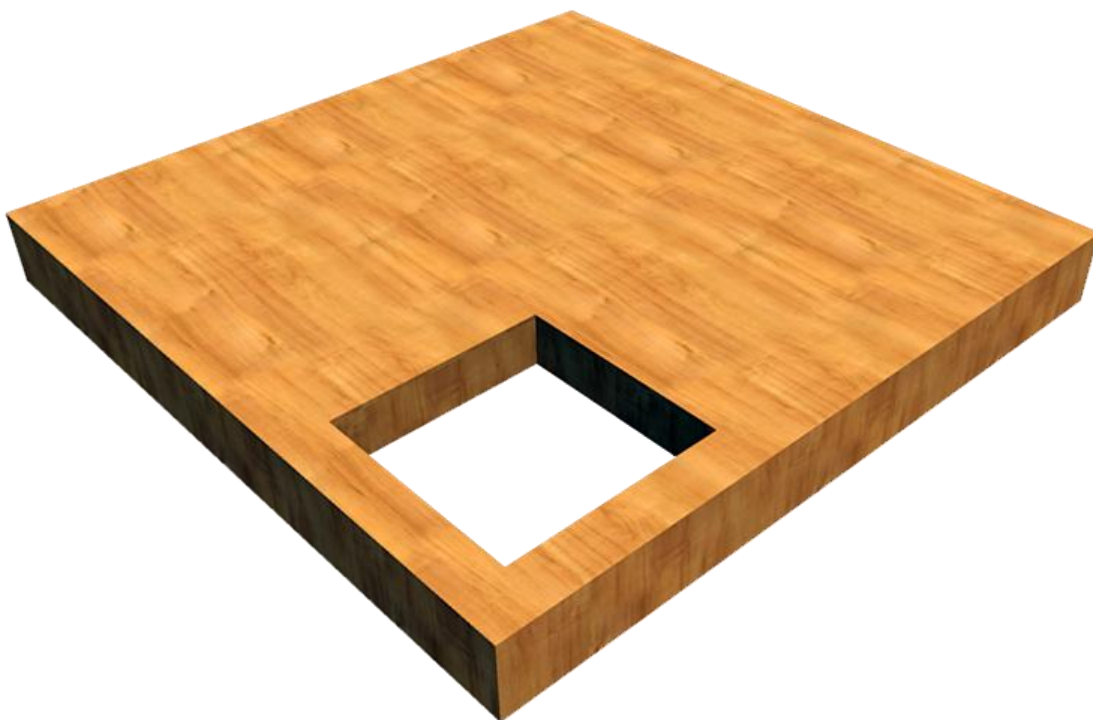


Figura 62 - Perspectiva de um módulo de piso especial visto por cima

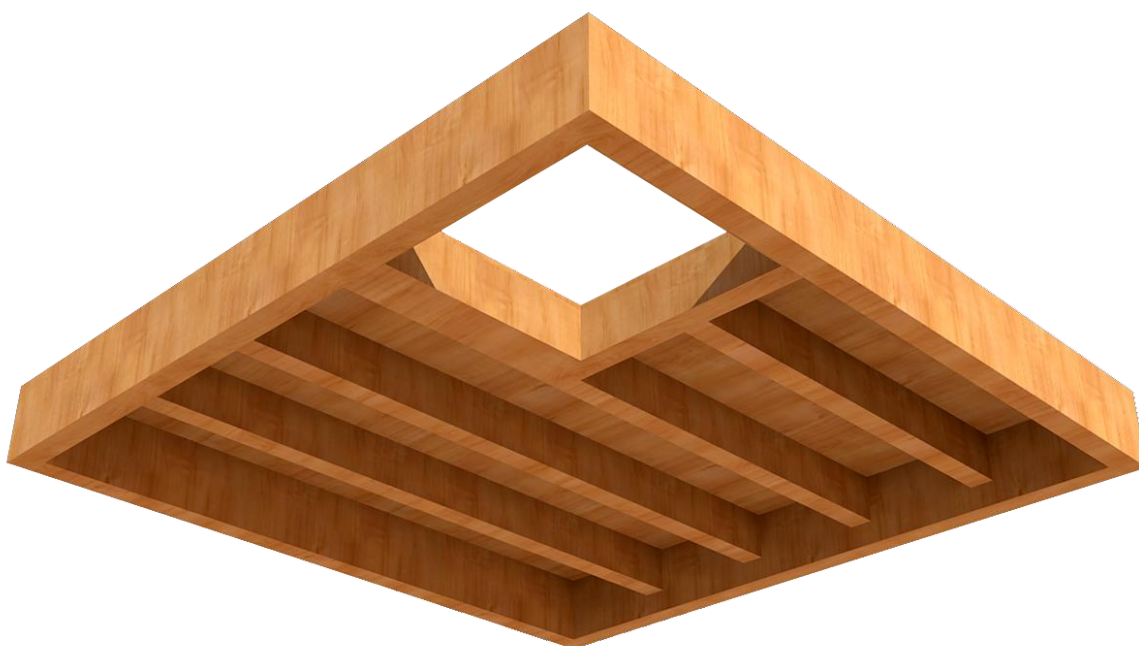


Figura 63 - Perspectiva de um módulo de piso especial visto por baixo

## **LIGAÇÕES**

No sistema plataforma convencional existem dois tipos de ligações:

- A primeira delas é a ligação entre as peças que compõem o sistema, ou seja: as ligações entre as vigas de bordo e os barrotes; entre os barrotes e as tábuas de madeira do piso; entre os montantes e as barras superiores e inferiores das paredes; entre as barras horizontais das paredes e as vigas de bordo do piso superior; dentre outras.

- A segunda é a ligação de elementos do sistema plataforma com os outros subsistemas, tais como fundações ou telhado.

Uma vez que este trabalho é baseado em módulos pré-fabricados encontrou-se um novo tipo de ligação que era preciso ser desenvolvido, a ligação entre módulos.

Uma vez que a ligação entre as peças de madeira que compõem os módulos já foi vastamente estudada e aplicada internacionalmente ela não será especificada e sim recomendada.

Todas as ligações internas de cada módulo podem ser feitas tanto com o uso de pregos como de parafusos. Uma vez que a utilização de pregos é mais simples, rápida e barata ela é a indicada para todos os casos apresentados neste trabalho.

## **PAREDE-PAREDE**

A ligação entre os módulos de parede deve ser realizada utilizando-se três ou quatro conjuntos de parafusos de cabeça sextavada com rosca total de 1/4" com arruela e porca.

O número variável de conjuntos se dá pela furação que deve ser feita junto com a fabricação dos módulos na fábrica. Uma vez que um módulo pode solicitar conexão com dois módulos distintos, um no mesmo sentido e um no sentido perpendicular foi preciso desenvolver uma furação que permitisse este tipo de ligação. A solução encontrada foi a execução de sete furos em cada face do montante externo (de dimensões 10 x 8 cm) ou a execução de sete furos somente nas faces de maior lado dos montantes externos (de dimensões 5 x 8 cm).

As furações se dão de maneira simétrica sendo:

- O centro do primeiro furo a 10 cm da superfície superior do módulo.
- O centro do segundo furo 10 cm abaixo do centro do primeiro furo.
- O terceiro furo centralizado em relação à altura do módulo, ou seja, 1,20 m de qualquer extremidade.
- O centro do quarto furo 10 cm acima do centro do terceiro furo.
- O centro do quinto furo 10 cm abaixo do centro do terceiro furo.
- O centro do sexto furo a 10 cm da superfície inferior do módulo.
- O centro do sétimo furo 10 cm acima do centro do sexto furo.

As figuras 64 a 70 têm por finalidade ilustrar estas conexões.

A vantagem deste sistema de conexão, conforme apresentado anteriormente é que não é preciso mão-de-obra especializada para fazer estas conexões entre módulos.



Figura 64 - Detalhe da ligação superior entre dois módulos de parede





Figura 65 - Detalhe da ligação central entre dois módulos de parede



Figura 66 - Detalhe da ligação inferior entre dois módulos de parede

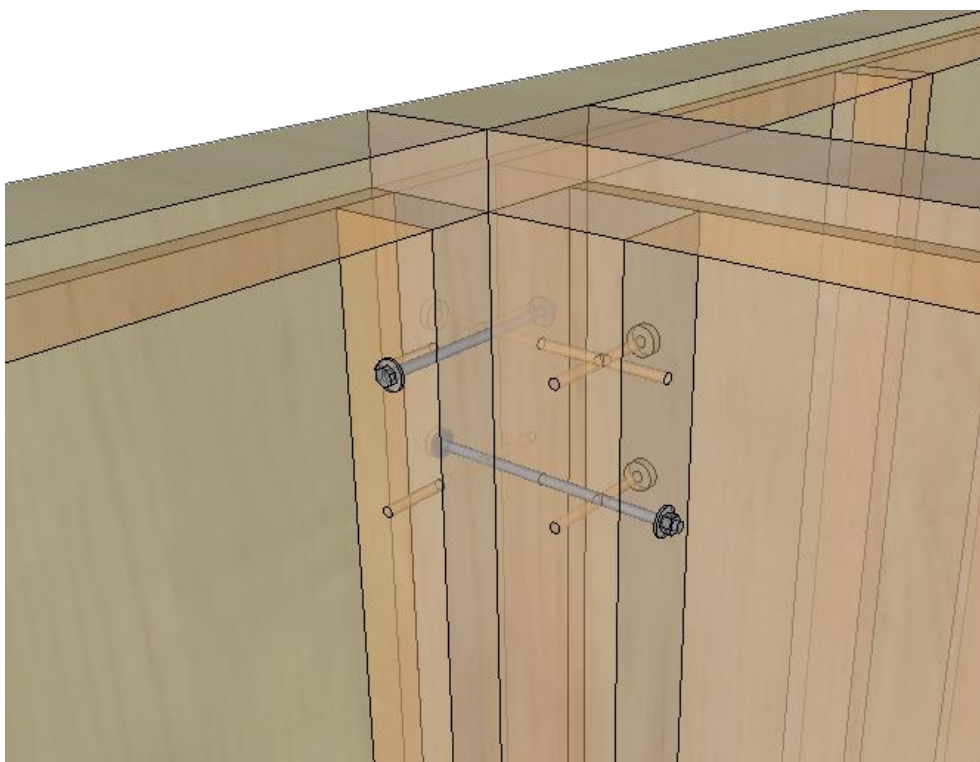


Figura 67 - Detalhe da ligação superior, em raio-x, de três módulos de parede



Figura 68 - Detalhe da ligação central, em raio-x, de três módulos de parede

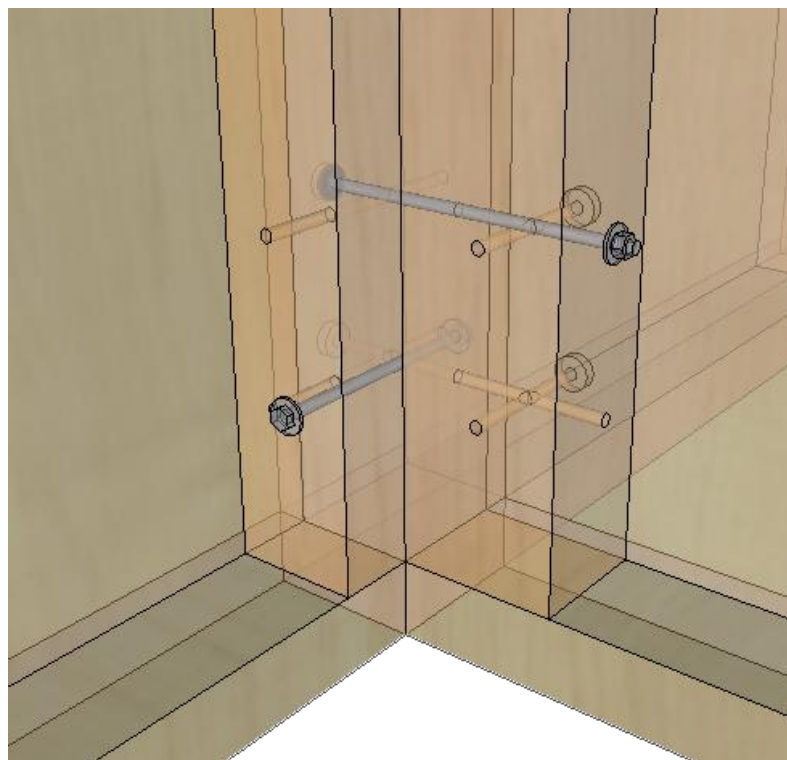


Figura 69 - Detalhe da ligação inferior, em raio-x, de três módulos de parede

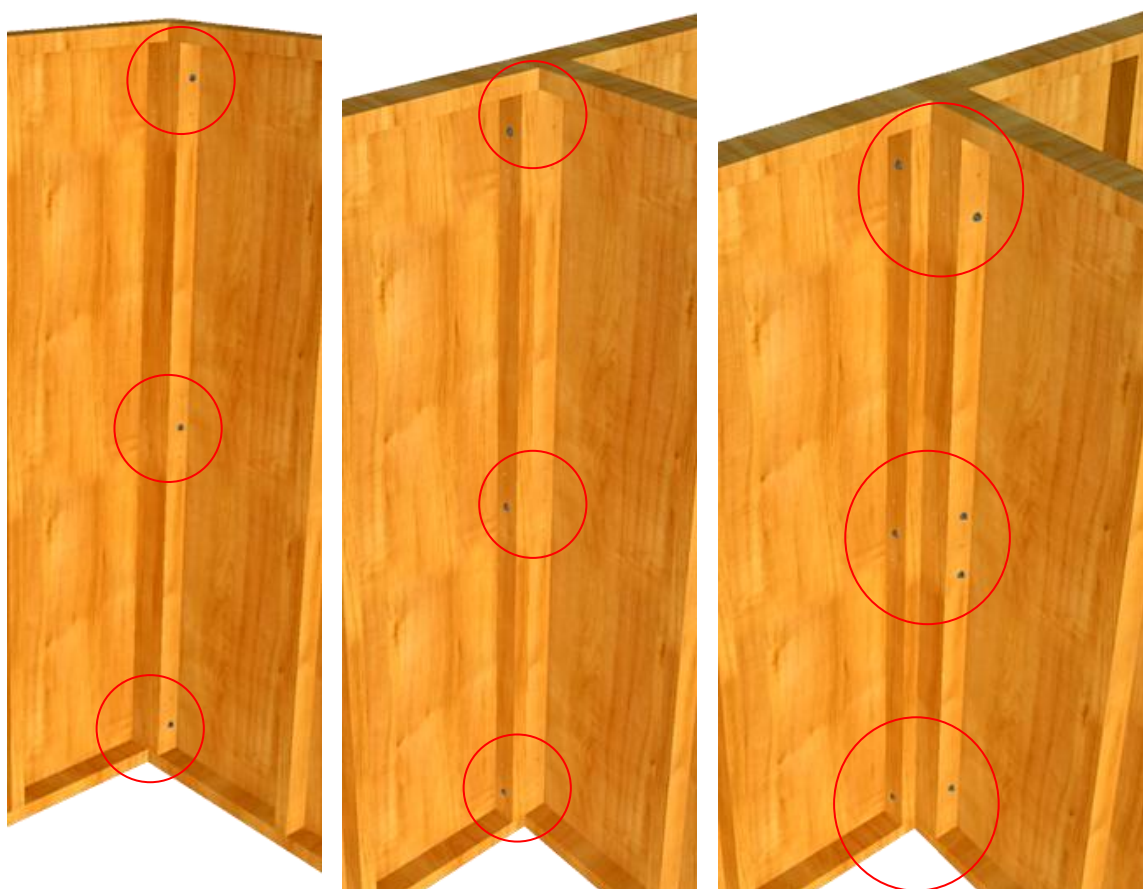


Figura 70 - Exemplos de ligações entre módulos de parede

## PAREDE-PISO

Para a ligação entre parede e piso será utilizada a conexão padrão apresentada em todos os catálogos internacionais de sistema plataforma. O módulo de parede deve ser pregado no módulo de piso, preferencialmente nas vigas de bordo ou nos barrotes, utilizando-se pregos de aço inox com cabeça.

Para padronização deste tipo de ligação adotou-se o seguinte esquema:

- Três pregos entre montantes para as paredes de classe 1, distribuídas com vãos iguais.
- Dois pregos entre montantes para as paredes de classe 2, distribuídas com vãos iguais.
- Um prego entre montantes para as paredes de classe 3, centralizado entre montantes.

## PISO-PISO

Uma vez que o piso possui uma enorme transferência de momentos foi preciso desenvolver um sistema único que permitisse a transferência de esforços no sentido dos barrotes sem prejudicar o desempenho da estrutura.

Para realizar a transferência de cargas e momentos entre dois módulos distintos utilizam-se duas chapas L de aço de 3 mm com 6 conjuntos de parafusos de cabeça sextavada com rosca total de 1/2" com arruela e porca em cada aba. Cada chapa é posicionada no encontro do barrote com a viga de bordo, totalizando um conjunto de 4 chapas de aço e 24 conjuntos de parafusos por barrote (figura 71).

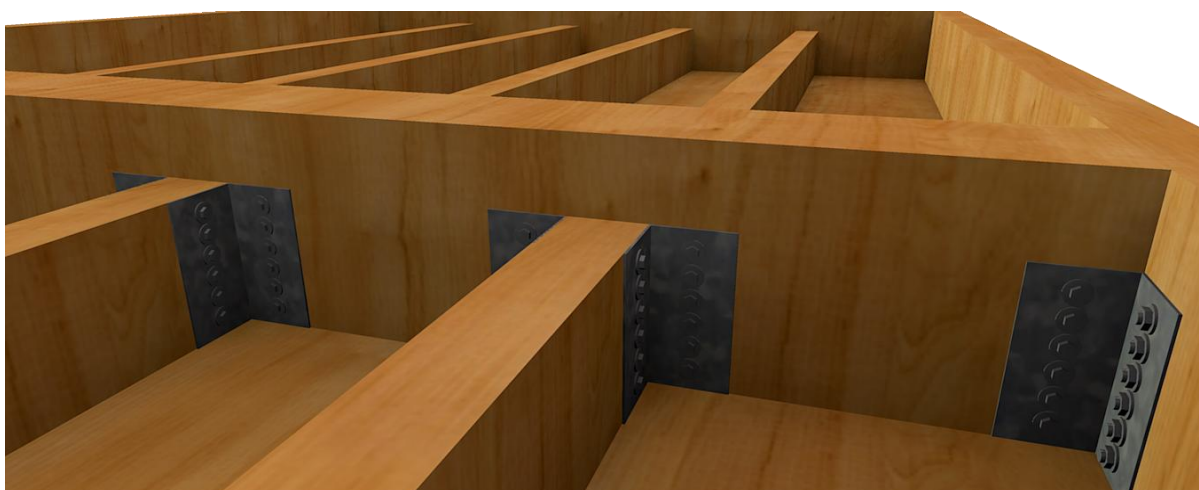


Figura 71 - Detalhe da ligação entre módulos de piso

## PISO-FUNDAÇÃO

Uma vez que existem diversos tipos de fundações indicados para este método construtivo decidiu-se por explicitar somente o tipo de ligação mais adequada para a união entre os módulos de piso e sapatas de concreto (fundação utilizada no estudo de caso).

Uma vez que a fundação de uma edificação pode ser realizada de diversas formas, e cada uma delas exige um tipo distinto de ligação, a furação para a ligação PISO-FUNDAÇÃO dos módulos de piso não será pré fabricada.

A ligação realizada entre sapatas de concreto e os módulos de madeira consiste basicamente em uma barra roscada chumbada na sapata e unida por meio de porca e parafuso com o piso de madeira.

Para realizar o chumbamento recomenda-se a realização de um gancho na ponta da barra que ficará solidária ao concreto, aumentando sua resistência ao arrancamento. Deve-se utilizar entre uma e quatro barras roscadas por sapata, dependendo unicamente do número de módulos de piso que se apoiam na sapata em questão.

A barra utilizada deve ser constituída de aço inox, possuindo um diâmetro de 1/2". Um exemplo simplificado deste tipo de conexão esta apresentado na figura 72.

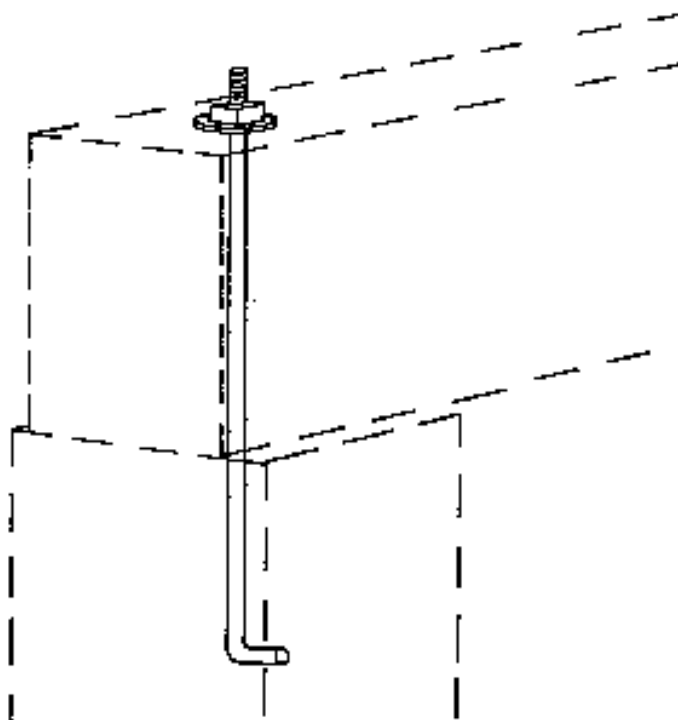


Figura 72 - Exemplo simplificado da ligação entre o módulo de piso e a fundação de concreto

## 8. RELAÇÃO DOS MÓDULOS ESTRUTURAIS COM OUTROS SUBSISTEMAS

### VEDAÇÕES

Como já diz o próprio nome, vedações são um subsistema constituído por elementos destinados a compartimentar e a definir tanto verticalmente quanto horizontalmente os espaços internos, bem como realizar o controle da ação de agentes exteriores indesejáveis. No caso do sistema modular, as vedações também podem possuir função estrutural de travamento ou contraventamento.

### VEDAÇÕES EXTERNAS

As vedações externas podem ser subdivididas em três grupos:

- Acabamento externo
- Impermeabilização
- Fechamento externo

O acabamento externo é realizado de diversas maneiras, sendo alguns deles:

- *Sidings*: Constituído por uma diversa gama de produtos fabricados em aço, alumínio, madeira ou PVC. Pode-se utilizar madeira bruta, desde que tratada para uso externo.
- Placas cimentícias com argamassa.
- Placas de madeira (Compensado ou OSB de uso externo) com argamassa.
- Blocos, tijolos ou pedras decorativas, verificando-se a carga atuante nos módulos e sua devida ligação com os módulos.

Outro componente importante, responsável pela integridade do sistema, é a impermeabilização, e esta será tratada adiante com a devida atenção. As impermeabilizações possíveis de se fazer no sistema construtivo proposto não diferem das usuais. Um diferencial deste sistema são as mantas conhecidas como *Housewrap*.

O fechamento realizado por placas de madeira possui dupla função, pois, além de vedar os módulos, faz a função de contraventamento da estrutura. Os materiais indicados para esse fim são as placas de OSB ou compensado. Estas placas podem ter propriedades impermeabilizantes para serem colocadas na fachada.

Podem ser utilizados também isolamentos térmicos rígidos, como é o caso do poliestireno expandido, poliestireno extrudado e do poliisocianurato. Os mesmos devem ser colocados dentro dos módulos de parede, o que é uma prática extremamente simples, uma vez que os módulos estruturais são entregues ao canteiro com fechamento em apenas um dos lados (figuras 73 a 75).



Figura 73 - EPS – Poliestireno Expandido  
Crédito: Polyiso®



Figura 74 - XPS – Poliestireno Extrudado  
Crédito: Polyiso®



ISO - POLIISOCIANURATO



Figura 75 - ISO – Poliisocianurato

Crédito: Polyiso®

Portanto, há a necessidade de utilizar corretamente o conjunto de componentes externos a atender o desempenho da habitação e fornecer conforto aos seus ocupantes.

## VEDAÇÕES INTERNAS E HORIZONTAIS

As vedações internas e horizontais, assim como as externas, podem ser subdivididas em três grupos de componentes:

- Acabamento interno
- Fechamento interno
- Isolante térmico e acústico

Um detalhe quanto ao isolante térmico e acústico, dependendo do desempenho térmico e acústico que a habitação deva ter, pode-se excluir o isolante tanto do piso (vedação horizontal) e quanto das paredes internas (vedação interna).

Nesta situação, o acabamento interno possui opções já conhecidas para os sistemas reticulados (*steel frame*, por exemplo). São elas:

- Placas de gesso com pintura, cerâmica ou pedras decorativas;
- Painéis de madeira tratados com pintura, cerâmica ou pedras decorativas;
- Placas cimentícias com pintura, cerâmica ou pedras decorativas.



O fechamento interno é semelhante ao fechamento externo, com a exceção de que há regiões que exigem um material impermeabilizante, e outras que não exigem esse desempenho. Nesses casos, deve-se optar com placas convencionais ou placas resistentes a intempéries ou umidade. Essas características das placas podem-se aplicar tanto às placas cimentícias quanto aos painéis de madeira.

## RELAÇÃO ENTRE: VEDAÇÕES, MÓDULOS E ABERTURAS

A necessidade de se ter uma habitação estanque e resistente a intempéries exige detalhes quanto à construção, à definição e à união dos materiais.

Com isso em mente, um ponto a ser lembrado são as aberturas externas (vãos, janelas e portas), que necessitam de cuidados e detalhes construtivos, normalmente se provendo de perfis metálicos. A figura 76 apresenta o detalhe de um perfil metálico de alumínio, obtido no catálogo do fornecedor WERZALIT®, de uma de suas tecnologias para siding. Além disso, tal fornecedor possui mais tecnologias para siding e outros produtos utilizando painéis de madeira.

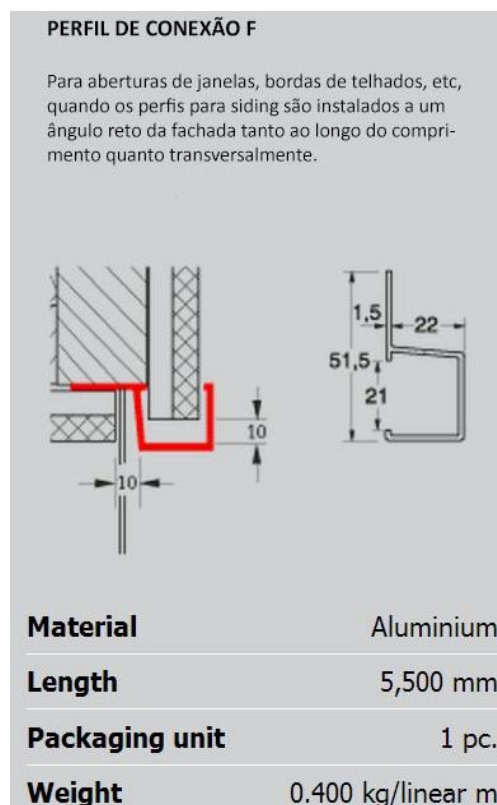


Figura 76 - Perfil de conexão F

Crédito: Werzalit®

Portanto, deve-se observar os detalhes de junção de fechamentos e acabamentos, ligação entre módulos, ligação entre módulos e telhados, e aberturas.

As figuras 77 a 80 apresentam detalhes de algumas das possíveis vedações externas a serem utilizadas.

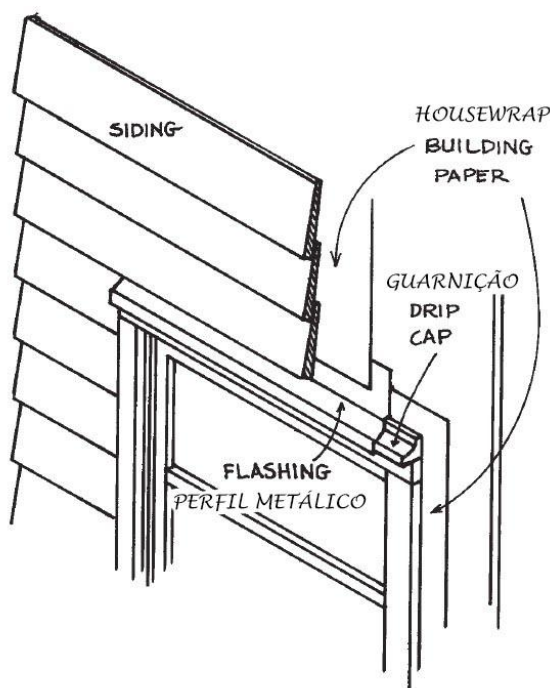


Figura 77 - Detalhe para siding e janela  
Fonte: AMERICAN WOOD COUNCIL (2001)

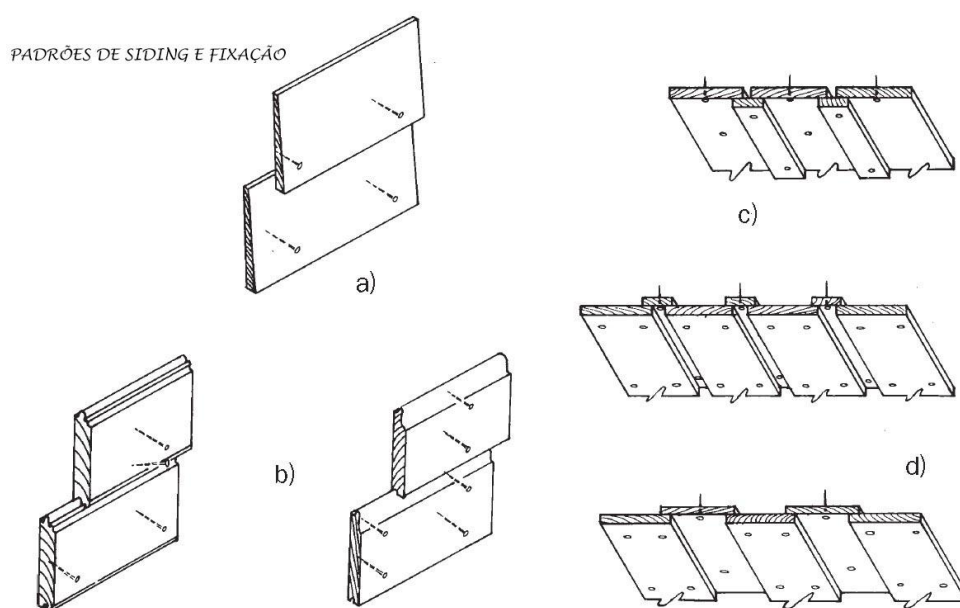


Figura 78 - Padrões de *siding* e fixação  
Fonte: AMERICAN WOOD COUNCIL (2001)

# DETALHE DE LIGAÇÕES EM CANTOS

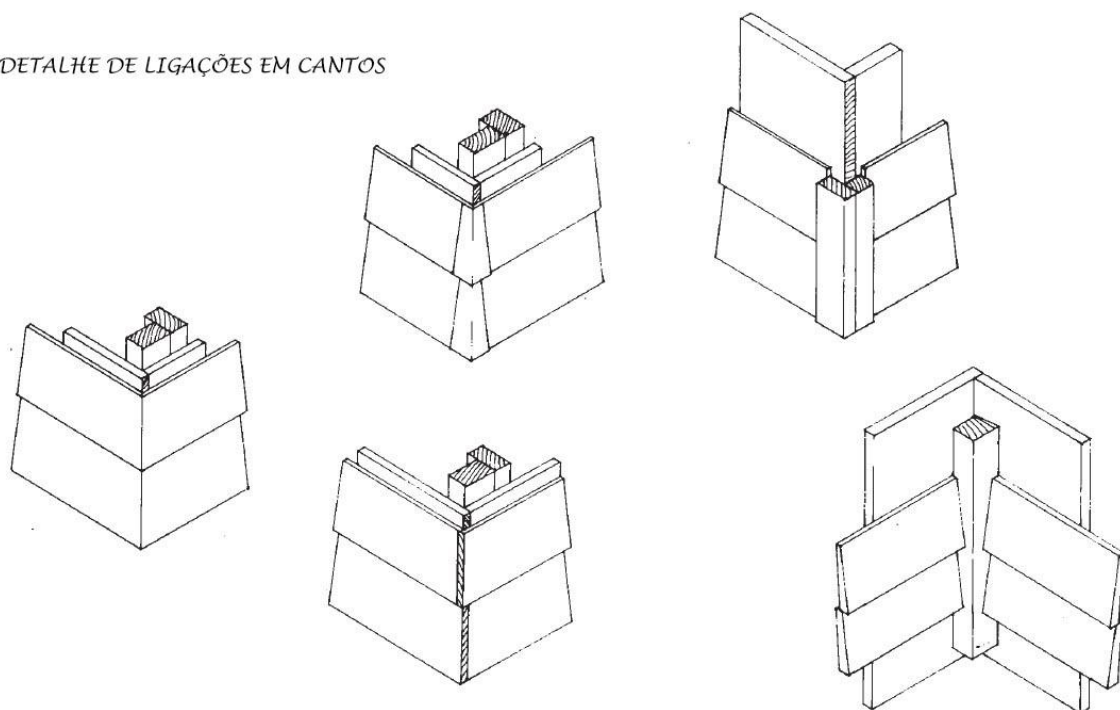


Figura 79 - Detalhe de ligações em cantos  
Fonte: AMERICAN WOOD COUNCIL (2001)

# UTILIZAÇÃO COM ALVENARIA

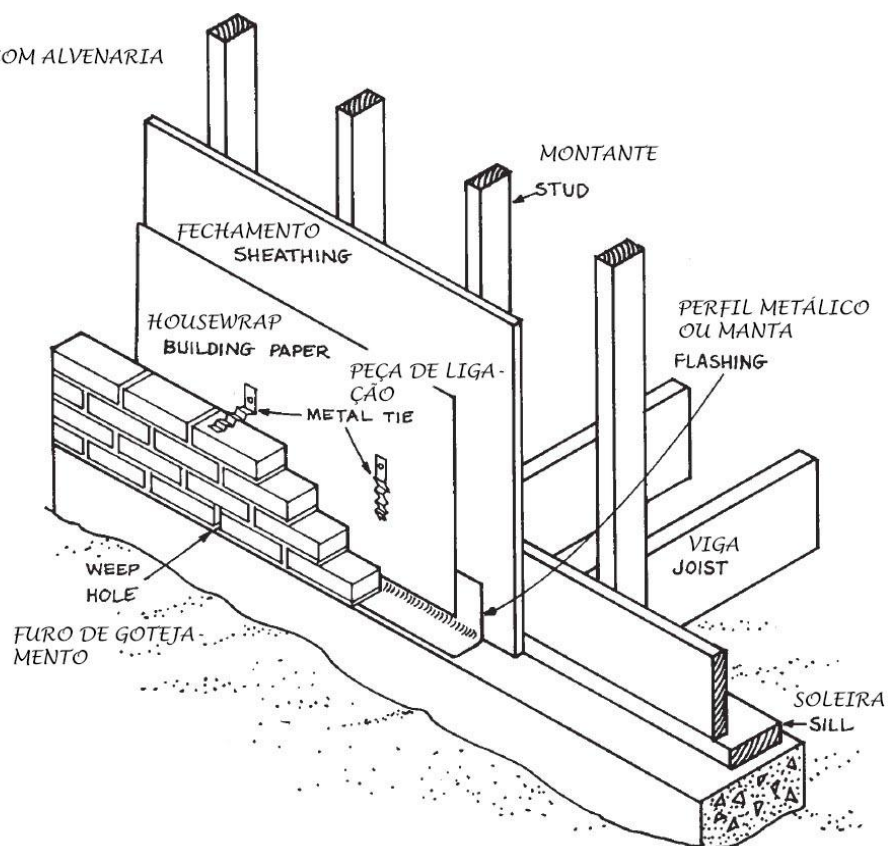


Figura 80 - Fechamento externo com alvenaria  
Fonte: AMERICAN WOOD COUNCIL (2001)

A figura 81 mostra o sistema de vedação em um empreendimento do Minha Casa Minha Vida erguido em Pelotas – RS, novamente, lembrando que a escolha dos materiais dependerá de desempenho, logística e custos.



Figura 81 - Sistema de vedação

Fonte: PINI®

A figura 82 apresenta uma casa pronta em sistema wood frame.



Figura 82 - Casa em sistema *wood frame*

Crédito: Baufriz®

## **IMPERMEABILIZAÇÃO**

### **NBR 9575 – IMPERMEABILIZAÇÃO – SELEÇÃO E PROJETO**

A utilização dessa norma como diretriz ao projeto de impermeabilização é imprescindível para qualquer sistema construtivo, sabendo aplicar corretamente as técnicas e materiais de impermeabilização.

A NBR 9575 estabelece as exigências e recomendações relativas à seleção e projeto de impermeabilização, desde que sejam atendidas as condições mínimas de estanqueidade, salubridade, segurança e conforto do usuário. Ela se aplica a edificações e construções em geral, em execução ou em reforma. A norma ainda diz que a impermeabilização podem ou não estar integrada a outros sistemas construtivos, devendo ser verificadas normas específicas para esta finalidade

Além disso, classifica os tipos de impermeabilização em dois: rígido e flexível. Contudo, necessita-se de um substrato a ser protegido, pois o sistema de impermeabilização é um sistema complementar ao sistema construtivo. Alguns substratos que podem ser citados são alvenaria, concreto, fibrocimento, gesso acartonado, madeira e solo.

A NBR 9575 cita mais de 20 tipos de impermeabilizantes, das quais podemos citar argamassa polimérica e membrana epoxídica entre os rígidos e membranas asfálticas e acrílicas entre os flexíveis.

Outro fato presente na norma são os serviços auxiliares e complementares relacionados (tratamento de juntas, camada-berço, camada de amortecimento, camada drenante, camada separadora, camada de proteção mecânica e camada de proteção térmica), que devem ser parte do projeto executivo e detalhados para o funcionamento da impermeabilização. A norma traz quais são estes serviços e suas técnicas e materiais de execução.

A adequada seleção do tipo de impermeabilização depende do tipo de solicitação do fluido nas partes construtivas da construção, e a norma especifica quatro formas distintas:

- Imposta pela água de percolação;
- Imposta pela água de condensação;
- Imposta pela umidade do solo
- Imposta pelo fluido sob pressão unilateral ou bilateral;

Portanto, para cada tipo de solicitação do fluido na construção deve-se escolher os tipos de impermeabilização descritos acima. Contudo, pode-se consultar a norma aonde para cada tipo de solicitação há as possibilidades de tipo de impermeabilização a ser escolhida.

## **HOUSEWRAP®**

Este é um produto disponibilizado no mercado e desenvolvido para maior proteção aos sistemas reticulados. Consiste em uma manta de polietileno de alta densidade ou polipropileno, encontrado em dois fornecedores no Brasil, a BRASILIT® e a LP BRASIL®.

A manta Housewrap® atua como barreira contra intempéries, pois reduz a infiltração de ar externo, aumentando a eficiência do isolamento térmico e assegura a estanqueidade das paredes, perfis e isolamentos internos.

## **TELHADOS**

Toda construção necessita de cobertura. Para edifícios, tem-se normalmente telhado plano ou laje impermeabilizada, enquanto para casas tem-se telhado convencional (telhado com inclinação feito com telhas de cerâmica, fibrocimento, alumínio e outros) ou telhados planos, constituído por uma estrutura de madeira, metálica ou de outro material, promovendo o suporte às telhas e sistema de isolamento térmico e acústico, quando especificado, e a ligação entre o telhado e a estrutura da construção. Em casas ainda é possível a utilização de lajes impermeabilizadas, porém esta solução é menos usual.

### **LAJE IMPERMEABILIZADA**

Essa solução permite o uso total da edificação, através da possibilidade de tornar a cobertura um espaço ocupável, além de facilitar a integração da cobertura com sistemas de isolamento térmico e acústico.

Infelizmente a manutenção exigida neste tipo de cobertura é superior à existente nas soluções tradicionais de telhados

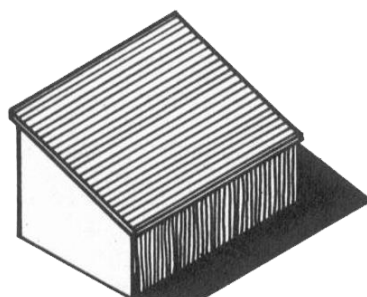


## TELHADO PLANO

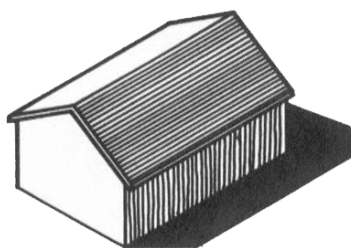
O telhado plano consiste em telhas de maior comprimento que possibilitam uma menor altura do telhado, facilitando a limpeza, porém neste tipo de solução, há a maior possibilidade de gotejamento, normalmente devido a algum ferimento na impermeabilização permitindo a entrada de fluido.

## TELHADO CONVENCIONAL

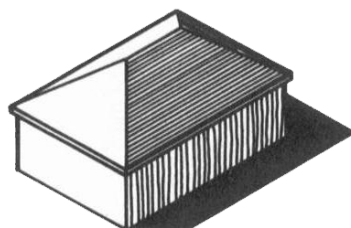
É o sistema construtivo de cobertura mais comum em residências devido a sua eficiência em escoar a água da chuva. Pode ser construído de forma a obter uma, duas ou mais águas (vide figura 83).



*Uma água*



*Doas águas*



*Quatro águas*

Figura 83 - Tipos de telhado convencional

Crédito: Reinaldo H. Ponce

Além disso, o telhado convencional promove a cobertura total da habitação, como para a caixa d'água, eletrodutos e outros equipamentos que podem ser instalados. Há, também, a possibilidade de se formar mais um cômodo na habitação ao se utilizar um telhado de grande inclinação de forma a se obter altura e espaço suficiente. Entretanto, as inclinações dos telhados são realmente importantes para condicionar a estanqueidade da construção e proteção dos seus habitantes.

Como alertado por PIRONDI (1988), nas grandes coberturas com telhado convencional, “os fortes ventos e água de chuva passam através das sobreposições ou deformações das telhas, espargindo uma névoa de água por todo interior da edificação”. Portanto, há necessidade de um bom sistema de impermeabilização.

Finalmente, assim como os telhados planos, há a possibilidade de integração aos sistemas de isolamento térmico e acústico. Além disso, promovem uma boa circulação de ar pela construção e, quanto maior a inclinação, melhor desempenho será alcançado pelo telhado convencional. Um número mínimo aconselhável de projeto para essa inclinação é de 25%, mas inclinações inferiores não são descartáveis, dependendo, principalmente, da região climática aonde a habitação se encontra.

A figura 84 mostra um exemplo de ligação entre estrutura e telhado.



Figura 84 - Detalhe de ligação do telhado com a estrutura

Crédito: Reinaldo H. Ponce



## SISTEMAS PREDIAIS

Para os sistemas de água fria, quente e gás, as tubulações de polietileno reticulado flexível (PEX) ou multicamada (PEX-Al-PEX), por possuírem menos conectores e menor probabilidade de vazamento, são uma alternativa interessante para o sistema *wood frame*, portanto também para o sistema modulado. Deve-se atentar também a rapidez de execução compatível com a velocidade de execução da estrutura, além das perdas menores na sua execução. As tubulações rígidas, como de PVC ou PPR não são descartáveis, valendo-se de uma pesquisa de custo e logística para o uso de um sistema ou de outro.

Não existem tubulações em PEX para sistemas prediais de esgoto e águas pluviais. Deve-se, então, utilizar o tradicional PVC. Como os dois sistemas não trabalham sob pressão, diferentemente dos sistemas de abastecimento citados acima, há uma preocupação menor com vazamentos. A principal preocupação, no caso dos módulos, é a adaptação das tubulações de esgoto no piso. Será necessário o rebaixamento do teto das áreas úmidas (banheiro, cozinha, área de serviço) como já ocorre em construções tradicionais, no caso de haver mais de um pavimento.

## UNIÃO DOS MÓDULOS AOS SEUS SUBSISTEMAS

Neste momento, um ponto importante deste trabalho é ligar os diversos sistemas vistos com os módulos estruturais. Entretanto, não se contempla o detalhamento para o estudo de caso, algo a ser analisado posteriormente ou na elaboração de um projeto executivo completo com os módulos.

Outro ponto a ser notado são áreas úmidas, que não possuem qualquer diferenciação quanto aos outros sistemas construtivos, mas preferencialmente, fazem o uso de mantas elastoméricas. Além disso, a utilização de cerâmica para o revestimento das paredes e pisos é bem vinda e se espera melhor desempenho.

Notadamente, a distância entre o barrote e o fechamento do teto do piso inferior para o superior, este com banheiro, é insuficiente para a passagem de tubulação de esgoto, portanto faz-se necessária a boa disposição de banheiros para evitar forros rebaixados em áreas nobres da habitação ou aonde o projetista não deseja.

Concluindo, a fim de evitar a degradação pelos principais agentes da madeira e alcançar o desempenho necessário, os critérios de projeto devem ser seguidos em sua construção, como a distância do fundo do piso da habitação ao solo, execução de impermeabilização, especificação de materiais e técnicas e ligações entre os módulos.

## 9. ANÁLISE ESTRUTURAL DOS MÓDULOS

### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento dos módulos estruturais, foi utilizada como referência a norma "NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira". Já para a elaboração dos modelos de cálculo, foi utilizado o software STRAP® (*Structural Analysis Program*), desenvolvido pela empresa SAE®.

### MATERIAIS EMPREGADOS

As propriedades do material dos elementos de barra (função de transferência de carga da estrutura) foram obtidas na norma NBR 7190 para o material adotado, o Pinus Elliotti. A norma apresenta as seguintes propriedades: densidade aparente ( $\gamma_{ap}$ ), resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ ), resistência à tração paralela às fibras ( $f_{t0}$ ), resistência à tração perpendicular às fibras ( $f_{t90}$ ), resistência ao cisalhamento ( $f_v$ ) e módulo de elasticidade ( $E_{c0}$ ) (vide tabela 20). A letra n refere-se ao número de corpos de prova ensaiados para obter os resultados.

Tabela 20- Propriedades dos materiais

Nome comum	Nome científico	$\gamma_{ap}$	$f_{c0}$	$f_{t0}$	$f_{t90}$	$f_v$	$E_{c0}$	n
		kg/m <sup>3</sup>	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	
Pinho do Paraná	Araucaria angustifolia	580	40,9	93,1	1,6	8,80	15 225	15
Pinus caribea	Pinus caribea var. caribea	579	35,4	64,8	3,2	7,80	8 431	28
Pinus bahamensis	Pinus caribea var. bahamensis	537	32,6	52,7	2,4	6,80	7 110	32
Pinus hondurensis	Pinus caribea var. hondurensis	535	42,3	50,3	2,6	7,80	9 868	99
Pinus elliottii	Pinus elliottii var. elliottii	560	40,4	66,0	2,5	7,40	11 889	21
Pinus oocarpa	Pinus oocarpa shiede	538	43,6	60,9	2,5	8,00	10 904	71
Pinus taeda	Pinus taeda L.	645	44,4	82,8	2,8	7,70	13 304	15

Fonte: NBR 7190

Já para os elementos de placa, as propriedades do compensado de Pinus Elliotti foram obtidas experimentalmente (PALMA, 1997). No estudo das paredes, o efeito dos elementos de placa foi excluído dos modelos, uma vez que entende-se que o compensado tem apenas a função de travar os painéis, efeito esse que foi

simulado por vinculações nas barras. É uma simplificação a favor da segurança, pois dessa forma toda a carga das paredes está sendo resistida pelas barras.

Na análise dos módulos de piso, foram empregados elementos de placa, uma vez que, além de travamento, o compensado tem função de resistir aos momentos fletores devido à ação dos carregamentos perpendiculares à laje.

A tabela 21 apresenta um resumo dos materiais utilizados no modelo e suas propriedades relevantes para a análise estrutural dos mesmos.

Tabela 21 - Tabela de materiais utilizados no modelo

TABELA DE MATERIAIS (unidades - kN m)						
N.º	Nome	Módulo de Elasticidade	Coefic. Poisson	Densidade	Dilatação Térmica	Módulo Transv.(G)
1	C-40	0.1189E+08	0.200	0.5600E+01	0.00000000	0.4954E+07
2	COMPENSADO	0.6400E+07	0.200	0.5600E+01	0.00000000	0.2667E+07

Fonte: NBR 7190

## CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Os critérios de resistência adotados foram obtidos na norma NBR 7190. As resistências podem ser obtidas a partir da equação3.

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_w} \quad (3)$$

O  $k_{mod}$  pode ser obtido a partir do item 6.4.4 da norma NBR 7190, onde são especificados os valores de  $k_{mod1}$ ,  $k_{mod2}$  e  $k_{mod3}$ , onde  $k_{mod} = k_{mod1} * k_{mod2} * k_{mod3}$ . Mais detalhes sobre esses coeficientes podem ser encontrados na revisão bibliográfica deste trabalho.

Para o projeto dos módulos foram adotados os seguintes valores a favor da segurança, uma vez que os módulos podem ser aplicados em locais e condições genéricas:

- $k_{mod1} = 0,6$
- $k_{mod2} = 0,8$
- $k_{mod3} = 0,8$
- $k_{mod} = 0,384$

Para minoração das resistências, serão utilizados os seguintes valores obtidos no item 6.4.5 da NBR 7190:

- $\gamma_c = 1,4$
- $\gamma_v = \gamma_t = 1,8$

Onde  $\gamma_c$  é o coeficiente de minoração da resistência à compressão,  $\gamma_v$  é o coeficiente de minoração de resistência ao cisalhamento e  $\gamma_t$  é o coeficiente de minoração da resistência à tração.

A metodologia adotada para realizar a análise do desempenho estrutural dos módulos baseia-se em comparar as ações de projeto com as resistências de projeto. Ou seja, obter-se-ão os carregamentos tais que geram esforços que atingem o Estado Limite Último dos módulos.

Foi adotado este critério pois os coeficientes de majoração das ações variam conforme a situação do carregamento. Caso se deseje obter o carregamento característico que leva ao Estado Limite Último da peça, deve-se dividir os resultados de carregamentos obtidos por um dos coeficientes de majoração das cargas obtidos no item 5.6.4 da NBR 7190 e reproduzidos nas tabelas 22 e 23.

Tabela 22 - Coeficientes de majoração das cargas - ações permanentes de pequena variabilidade

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 1,0$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,1$	$\gamma_g = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 1,0$

Fonte: NBR 7190

Tabela 23 - Coeficientes de majoração das cargas - ações permanentes de grande variabilidade

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,4$	$\gamma_g = 0,9$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 0,9$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0,9$

Fonte: NBR 7190

Utilizando os seguintes parâmetros, podemos calcular as seguintes resistências de projeto:

- $f_{ck} = 40,4 \text{ MPa} \rightarrow f_{cd} = 11,08 \text{ MPa} = 11081 \text{ kN/m}^2$
- $f_{vk} = 7,4 \text{ MPa} \rightarrow f_{vd} = 1,58 \text{ MPa} = 1578 \text{ kN/m}^2$
- $f_{tk} = 66 \text{ MPa} \rightarrow f_{td} = 14,1 \text{ MPa} = 14080 \text{ kN/m}^2$

## RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

A expressão para atender o critério de resistência à tração é dada pela equação 4.

$$\sigma_{td} \leq f_{td} \quad (4)$$

Como nenhuma barra, tanto de parede quanto de piso, está submetida à tração pura, este critério não será verificado.

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O critério de resistência à compressão é dada pela equação 5.

$$\sigma_{cd} \leq f_{cd} \quad (5)$$

As barras submetidas à compressão pura são os montantes, cuja menor dimensão é de 5x8 cm. Apesar de não haver o efeito de flexo-compressão devido à vinculação entre barras, deverá ser verificado o efeito de segunda ordem na direção perpendicular às paredes (direção não travada). Portanto, a verificação de compressão das barras será feita como consta no item 9.3.5 deste trabalho.

## FLEXÃO SIMPLES NORMAL

As expressões para atender o critério de resistência à flexão simples reta estão apresentadas nas equações 6 e 7.

$$\sigma_{ct,d} \leq f_{cd} \quad (6)$$

$$\sigma_{t2,d} \leq f_{td} \quad (7)$$

Esta verificação deve ser feita nas barras horizontais superiores dos módulos de parede, nos reforços de aberturas e nos barrotes dos módulos de piso. Como todas as peças são simétricas em relação aos eixos de simetria, podemos adotar a menor resistência entre compressão e tração para realizar esta verificação (no caso, tem-se menor resistência à compressão). Portanto, é possível obter o momento máximo admissível nas peças através da equação 8.

$$\sigma_{c1,d} = \frac{M_d}{W_c} \quad (8)$$

A tabela 24 apresenta um resumo das peças que recebem o esforço de flexão simples reta e os momentos máximos admissíveis em cada uma delas:

Tabela 24 - Momentos fletores admissíveis nas barras

ELEMENTO	GEOMETRIA (cm)	M <sub>admissível</sub> (kN*m)
BARRA HORIZONTAL - PAREDE	10x5	0,46
BARRA REFORÇO - PAREDE	8x10	1,48
BARROTE 10X30	10x30	16,6
BARROTE 10X20	10x20	7,4
BARROTE 20X30	20x30	33,2

## FLEXOCOMPRESSÃO

Como todas as ligações entre barras são articuladas, não será necessário verificar a flexocompressão nos montantes das paredes, sendo necessárias apenas as verificações de compressão e de flambagem na direção não travada das paredes.

## ESTABILIDADE

Para verificar a estabilidade das peças comprimidas, inicialmente calcula-se o índice de esbeltez das peças. Para este cálculo será considerada a seção crítica (5x8 cm) apresentada na equação 9.

$$\lambda = \frac{L_o}{i_{min}} = \frac{2,35}{0,02309} = 101,76 \quad (9)$$

Como  $\lambda > 80$ , a peça pode ser considerada esbelta. Portanto, deve-se realizar a verificação dada pelas equações 10 e 11.

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (10)$$

$$M_d = N_d \cdot e_{1,ef} \cdot \left( \frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \quad (11)$$

Onde  $F_E$  é a carga crítica e  $e_{1,ef}$  é a excentricidade efetiva de 1ª ordem (equações 12 e 13).

$$F_E = \frac{\pi^2 EI}{L_0^2} = 45,33 \text{ kN} \quad (12)$$

$$e_{1,ef} = e_1 + e_c = e_i + e_a + e_c \quad (13)$$

A excentricidade  $e_i$  é a excentricidade de primeira ordem decorrente da situação de projeto, que pode ser obtida através da equação 14.

$$e_i = \frac{M_{1d}}{N_d} = \frac{M_{1gd} + M_{1qd}}{N_d} \quad (14)$$

Como não existe momento fletor de primeira ordem nas peças comprimidas, esta parcela de excentricidade é nula.

A excentricidade  $e_a$  é a excentricidade accidental mínima (equação 15).

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \frac{2,35}{300} = 7,83 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (15)$$

A excentricidade construtiva  $e_c$  pode ser obtida pela equação 16.

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \left\{ \exp \left[ \frac{\Phi [N_{gk} + (\Psi_1 + \Psi_2) N_{qk}]}{F_E - [N_{gk} + (\Psi_1 + \Psi_2) N_{qk}]} \right] - 1 \right\} \quad (16)$$

Onde  $e_{ig}$  é a excentricidade de primeira ordem devido às cargas permanentes, que no caso dos módulos é zero.  $N_{gk}$  e  $N_{qk}$  são, respectivamente, os esforços normais devido às cargas permanentes e variáveis. Tratando-se de um estudo do comportamento estrutural dos módulos, e não uma verificação de um



projeto específico, adotaremos  $\psi_1 + \psi_2 = 1$ , que é o caso onde obtém-se a excentricidade construtiva máxima. O fator  $\phi$  é um coeficiente de fluência, obtido através da tabela 25.

Tabela 25 - Coeficiente de fluência

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

Fonte: NBR 7190

Para o estudo do caso crítico será adotado  $\phi = 2$ . A expressão de  $e_c$  pode ser aproximada pela equação 17.

$$e_c = e_a \times \exp\left(\frac{\Phi \times N_k}{F_E - N_k} - 1\right) = 0,00783 \times \exp\left(\frac{2 \times N_k}{45,33 - N_k} - 1\right) \quad (17)$$

Tomando todas as parcelas, de excentricidade, obtemos a equação 18.

$$e_{1,ef} = e_a + e_c = 0,00783 \times \left[1 + \exp\left(\frac{2 \times N_k}{45,33 - N_k} - 1\right)\right] \quad (18)$$

A partir dos resultados gerados pelos modelos, é possível portanto verificar o efeito de segunda ordem, seguindo a dedução realizada nas equações 19 a 24.

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{co,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{co,d}} \leq 1 \quad (19)$$

$$M_d = N_d \cdot e_{1,ef} \cdot \left(\frac{F_E}{F_E - N_d}\right) \quad (20)$$

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{cod}} + \frac{1}{f_{cod}} \times \frac{M_d}{I} \times \frac{z}{2} \leq 1 \quad (21)$$

$$\frac{N_d}{A \times f_{cod}} + \frac{\left(\frac{h}{2}\right)}{I \times f_{cod}} \times N_d \times e_{1,ef} \times \frac{F_E}{F_E - N_d} \leq 1 \quad (22)$$

$$F(N_d, N_k) = \frac{N_d}{A \times f_{cod}} + \frac{z \times F_E}{I \times f_{cod} \times (F_E - N_d)} \times N_d \times 0,00783 \left[1 + \exp\left(\frac{2 \times N_k}{45,33 - N_k} - 1\right)\right] \leq 1 \quad (23)$$

$$F(N_d, N_k) = 2,256 \times 10^{-2} \times N_d + 0,6 \times \frac{N_d}{45,33 - N_d} \times \left[1 + \exp\left(\frac{2 \times N_k}{45,33 - N_k} - 1\right)\right] \leq 1 \quad (24)$$

Portanto, levando-se em conta o efeito de segunda ordem na direção perpendicular às paredes, obtemos o esforço de normal máximo admissível pelos elementos de barra comprimidos apresentados na tabela 26.

Tabela 26 - Esforços Normais Admissíveis para elementos de barra comprimidos

Nk	Nd	F(Nd, Nk)
11,980	16,772	0,999

A força normal máxima de projeto admissível nos modelos será, portanto, de 16,7 kN.

## CISALHAMENTO

A expressão para atender o critério de resistência ao cisalhamento é dada pela equação 25.

$$\tau_d \leq f_{v0,d} \quad (25)$$

Sendo a tensão de cisalhamento obtida pela equação 26.

$$\tau_d = \frac{3}{2} \frac{V_d}{bh} \quad (26)$$

As peças submetidas a este esforço são as barras horizontais dos módulos de paredes e os barrotes dos módulos de laje. A tabela 27 apresenta os valores de forças cortantes admissíveis nos elementos:

Tabela 27: Forças cortantes admissíveis nas barras

ELEMENTO	GEOMETRIA (cm)	V <sub>admissível</sub> (kN)
BARRA HORIZONTAL - PAREDE	10x5	5,26
BARRA HORIZONTAL - REFORÇO	8x10	8,42
BARROTE 10X30	10x30	31,6
BARROTE 10X20	10x20	21

### 8.1.1 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

O Estado Limite de Serviço deverá ser verificado nos módulos de piso, onde a flexão dos barrotes provoca deslocamentos que devem ser verificados. A deflexão máxima admissível nos barrotes é dada pela equação 27.

$$f_{max} = \frac{L}{200} \quad (27)$$

## DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS DE PAREDE

Foram desenvolvidos um total de 36 módulos de parede, havendo 4 variações de dimensão da parede, 3 variações de espessura dos montantes das bordas para compatibilizar os encaixes entre módulos, e 3 variações de espaçamento, de forma que as paredes possam receber mais cargas, ou menos cargas sem estarem super dimensionadas. Mais informações a respeito das características dos módulos de parede podem ser encontradas no capítulo 9 deste trabalho. Para o estudo do comportamento estrutural das paredes, foram feitos modelos apenas dos módulos de categoria C, na qual todos os montantes possuem dimensão de 5x8 cm, que é a menor dimensão utilizada nos módulos. A seguir será verificada detalhadamente a capacidade de carga de um dos módulos desenvolvidos (o P 3.0 C1), e em seguida será apresentada uma tabela com a capacidade de carga dos outros módulos da categoria C.

MODELO ESTRUTURAL DO MÓDULO P 3.0 C1

A figura 85 apresenta o modelo estrutural do módulo P 3.0 C1 feito no software STRAP:

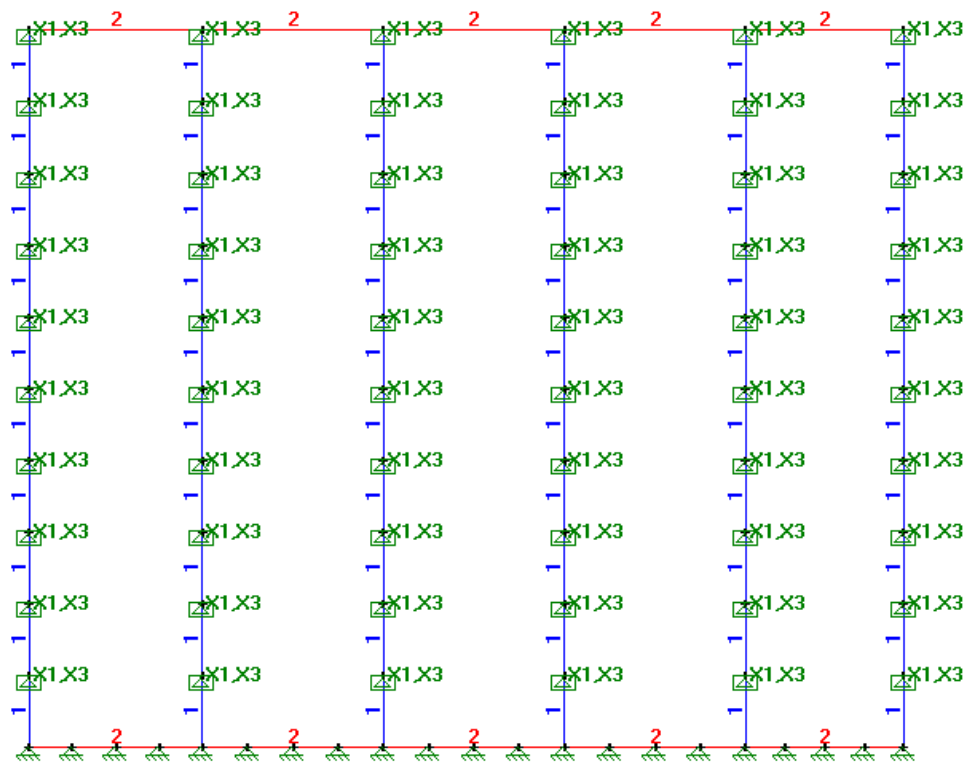


Figura 85: Modelo estrutural do módulo P 3.0 C1

Sendo as propriedades 1 e 2 apresentadas na tabela 28.

Tabela 28: Saída das propriedades dos materiais do software STRAP - Módulo P 3.0 C1

PROPRIEDADE N. 1					
A=0.4000E+02	I2=0.2133E+03	I3=0.8333E+02	J=0.2038E+03	SF2=0.850	
Material = 1 - C-40	Perimetro=26.000			SF3=0.850	
h2=5.000	h3=8.000	e2=2.500	e3=4.000		
PROPRIEDADE N. 2					
A=0.5000E+02	I2=0.4167E+03	I3=0.1042E+03	J=0.2861E+03	SF2=0.850	
Material = 1 - C-40	Perimetro=30.000			SF3=0.850	
h2=5.000	h3=10.000	e2=2.500	e3=5.000		

Apesar de a estrutura dos módulos se comportar como um conjunto de barras articuladas, no modelo essas articulações foram omitidas para simular o efeito do travamento do painel compensado. Outro artifício utilizado na modelagem foi inserir vínculos nos montantes que restringem o movimento na direção horizontal, de forma também a simular o travamento da estrutura na direção paralela à parede devido ao painel. Como consequência, é possível desconsiderar o efeito de flambagem nessa direção.

Nos módulos de parede, as verificações que devem ser feitas são:

- Esforço normal nos montantes levando em consideração o efeito de flambagem na direção perpendicular às paredes ( $N_{d,adm} = 16,7 \text{ kN}$ )
- Esforço de momentos fletores nas barras horizontais superiores dos módulos ( $M_{d,adm} = 0,46 \text{ kNm}$ )
- Esforço de forças cortantes nas barras horizontais superiores dos módulos ( $V_{d,adm} = 5,26 \text{ kN}$ )

Para analisarmos a carga linear máxima admissível pelo módulo para atender o Estado Limite Último, será analisada cada carga que atinge a capacidade de cada esforço solicitante, e então será adotada a carga crítica como o limite de carregamento do módulo. O Estado Limite de Serviço dos módulos de parede não precisará ser verificado, uma vez que os deslocamentos nessas peças podem ser considerados desprezíveis. Já nos módulos de piso, esta verificação deverá ser feita.

CARREGAMENTOS CONSIDERADOS

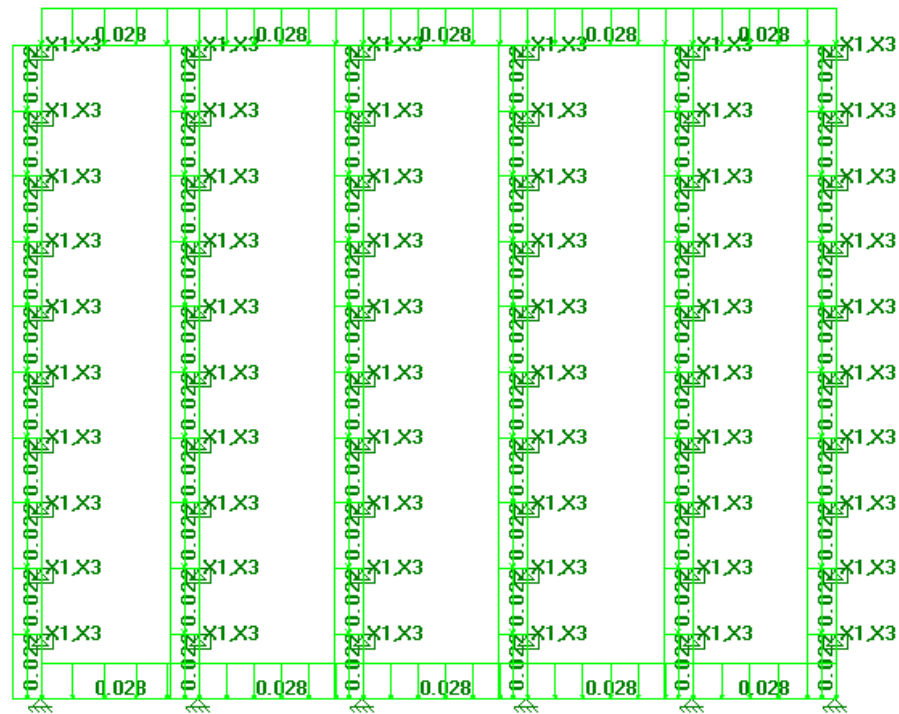


Figura 86: Peso próprio dos módulos

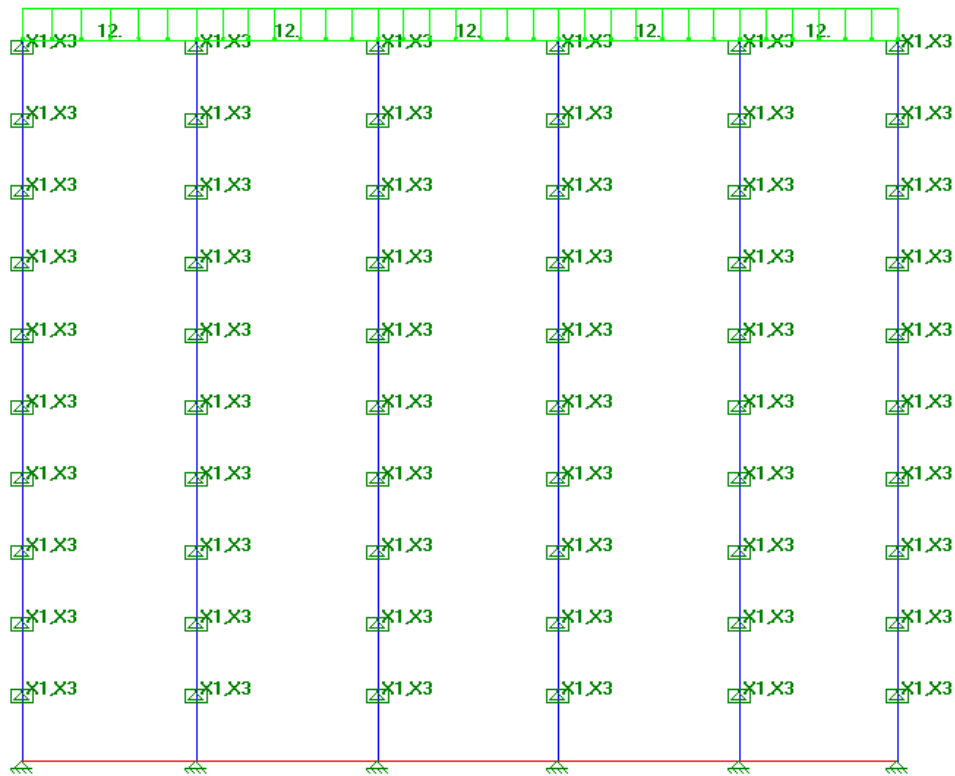


Figura 87: Carga variável superior  $q$  (em kN/m)

## RESULTADOS OBTIDOS

Todos os carregamentos inseridos no modelo são os carregamentos de projeto ( $F_d$ ), e os esforços gerados por esses carregamentos serão comparados com os critérios de Estado Limite Último, cujas resistências estão minoradas ( $f_d$ ). Os resultados estão apresentados nas figuras 88 a 90.

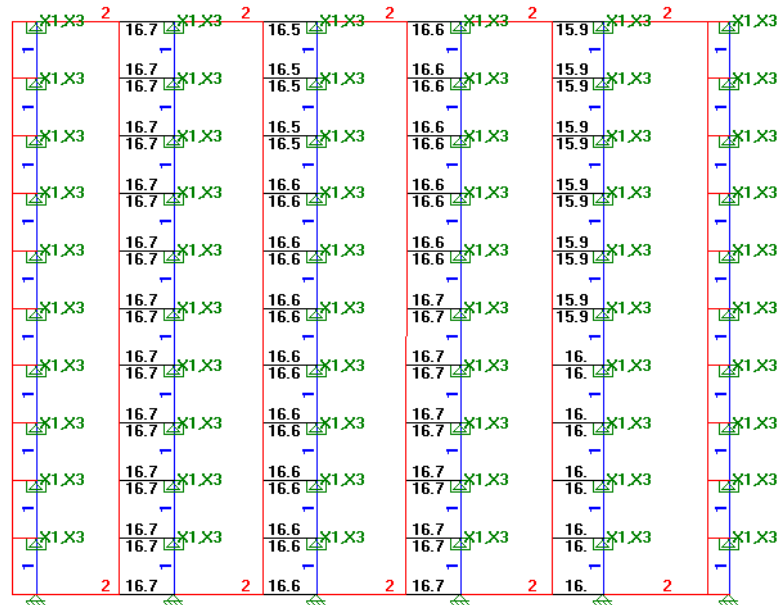


Figura 88: Diagrama de esforços normais para  $q_d = -28 \text{ kN/m}$

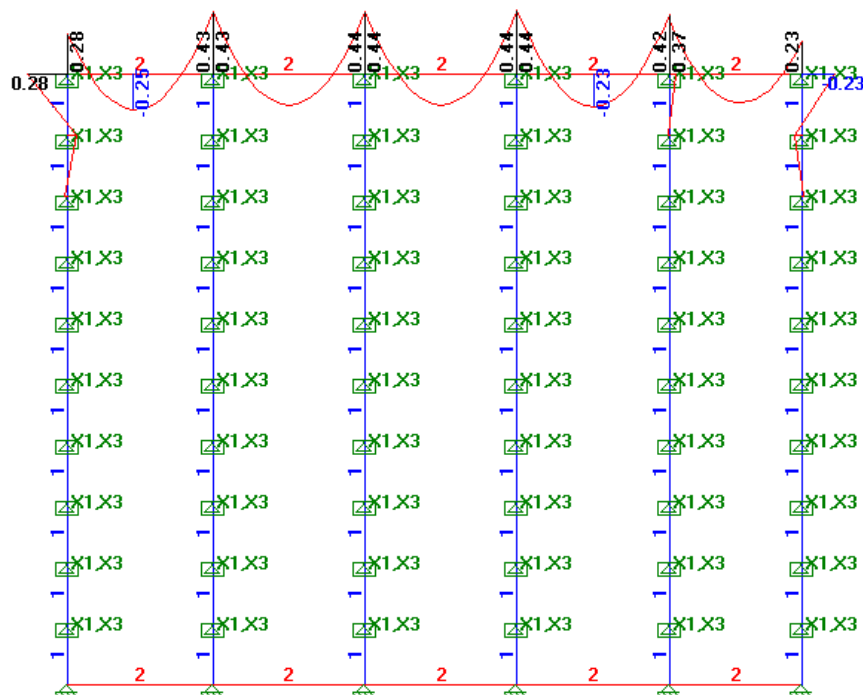


Figura 89: Diagrama de momentos fletores para  $q_d = -15 \text{ kN/m}$

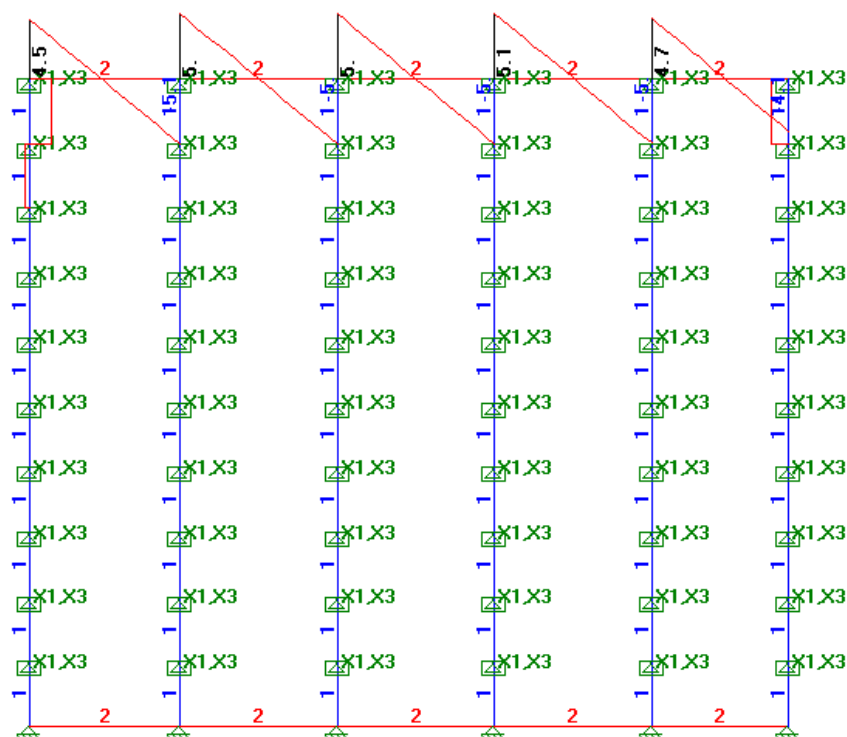


Figura 90: Diagrama de forças cortantes para  $q_d = -17 \text{ kN/m}$

Realizando as 3 verificações necessárias, pode-se concluir que a carga linear máxima admissível do módulo P 3.0 C1 é de 15 kN/m. Para os resultados deste módulo, cabem 3 observações:

Utilizando a mesma metodologia para os outros módulos, pode-se obter as seguintes cargas máximas de projeto admissíveis para cada modo de ruptura de cada módulo. Os valores presentes nas tabelas 29 a 31 mostram as cargas lineares máximas para esgotar as capacidades de resistência respectivas de cada coluna:

Tabela 29: Resultado dos módulos de parede C 1

Módulos C 1	lim N (kN/m)	lim V (kN/m)	lim M (kN/m)	Adotado (kN/m)
1,2	30	18	19	18
1,8	28	17	16	16
2,4	28	17	15	15
3,0	28	17	15	15



Tabela 30: Resultados dos módulos de parede C 2

<b>Módulos C 2</b>	<b>lim N (kN/m)</b>	<b>lim V (kN/m)</b>	<b>lim M (kN/m)</b>	<b>Adotado (kN/m)</b>
<b>1,2</b>	47	29	47	29
<b>1,8</b>	39	24	32	24
<b>2,4</b>	34	22	27	22
<b>3,0</b>	34	20	24	20

Tabela 31: Resultados dos módulos de parede C 3

<b>Módulos C 3</b>	<b>lim N (kN/m)</b>	<b>lim V (kN/m)</b>	<b>lim M (kN/m)</b>	<b>Adotado (kN/m)</b>
<b>1,2</b>	62	38	76	38
<b>1,8</b>	50	31	50	31
<b>2,4</b>	44	27	39	27
<b>3,0</b>	40	24	33	24

Como cada classe de espaçamento de módulo de parede (1, 2 e 3) é indicada pelo catálogo para ser utilizada em conjunto num mesmo pavimento, indica-se utilizar como carregamento crítico de projeto o menor valor de carregamento obtido em cada classe, como consta na tabela 32.

Tabela 32 - Carregamento de projeto máximo por classe de espaçamento

<b>Classe de Espaçamento</b>	<b>Carregamento de Projeto Máximo (kN/m)</b>
1	15
2	20
3	24

## **DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS DE PISO**

Foram desenvolvidos um total de 16 módulos de piso, considerando a direção dos barrotes em ambas as direções nos módulos de lados diferentes. Como não existe nenhuma restrição de uso nas combinações desses módulos, ou seja, eles podem ser combinados da forma que o projetista quiser, será dimensionado apenas o caso do módulo crítico (L 3.0x3.0) e o caso onde há a união de 2 módulos do tipo L 3.0x3.0 por meio de uma ligação resistente ao momento fletor. Este momento será utilizado para ser dimensionada essa ligação.

MODELO ESTRUTURAL DO MÓDULO L 3.0X3.0

A figura 91 apresenta o modelo estrutural do módulo L 3.0x3.0 feito no software STRAP:

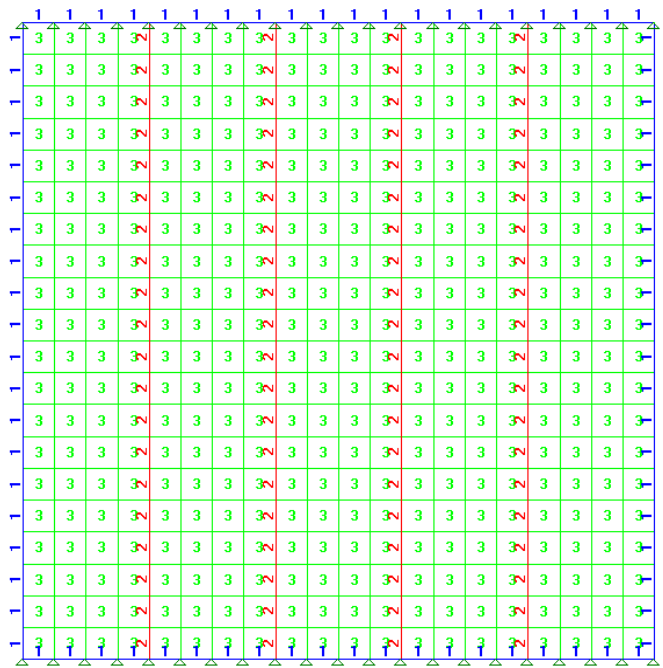


Figura 91: Modelo estrutural do módulo L 3.0x3.0

Onde as propriedades 1, 2 e 3 estão descritas na tabela 33.

Tabela 33 - Saída da lista de propriedades do STRAP - Módulo L 3.0x3.0

PROPRIEDADE N. 1					
A=0.3000E+03	I2=0.2250E+05	I3=0.2500E+04	J=0.7902E+04	SF2=0.850	
Material = 1 - C-40	Perimetro=80.000	e2=5.000	e3=15.000	SF3=0.850	
h2=10.000	h3=30.000				
PROPRIEDADE N. 2					
A=0.2000E+03	I2=0.6667E+04	I3=0.1667E+04	J=0.4578E+04	SF2=0.850	
Material = 1 - C-40	Perimetro=60.000	e2=5.000	e3=10.000	SF3=0.850	
h2=10.000	h3=20.000				
PROPRIEDADE N. 3					
Espessura =	2.000				
Material = 2 - COMP				SF3=0.000	

O modelo considera que o módulo está apoiado em 2 paredes paralelas, sendo que a vinculação entre o módulo de piso e os módulos de parede é articulada. Os elementos de propriedade 3 simulam o efeito do compensado de Pinus Elliotti. A carga variável superficial é aplicada na direção perpendicular ao módulo de piso, ao longo dos elementos do modelo.

As verificações que devem ser feitas para analisar o módulo estruturalmente são:

- Esforços de momentos fletores nos barrotes, cujo momento fletor máximo admissível de projeto é  $M_{d,adm,10x30} = 16,6$  kNm para os barrotes de geometria 10x30 cm, e  $M_{d,adm,10x20} = 7,4$  kNm para os barrotes de geometria 10x20 cm.
- Esforços de forças cortantes nos barrotes, cuja cortante máxima admissível de projeto é  $V_{d,adm,10x30} = 31,6$  kN para os barrotes de geometria 10x30 cm, e  $V_{d,adm,10x20} = 21$  kN para os barrotes de geometria 20x30 cm.
- Estado Limite de Serviço, onde a flecha máxima admissível nos barrotes de 3 m de comprimento é de 15 mm.

Para analisarmos a carga linear máxima admissível pelo módulo para atender o Estado Limite Último, será analisada cada carga que atinge a capacidade de cada esforço solicitante, e então será adotada a carga crítica como o limite de carregamento do módulo. Para verificação do Estado Limite de Serviço, serão comparados os deslocamentos decorrentes das cargas características aplicadas com o deslocamento máximo admissível.

## CARREGAMENTOS CONSIDERADOS

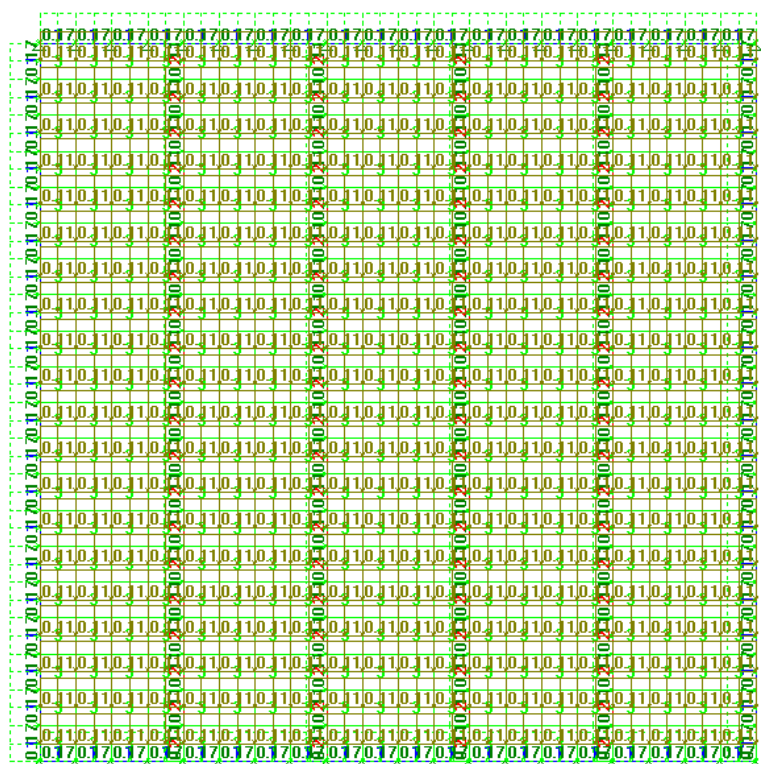


Figura 92: Peso próprio da estrutura

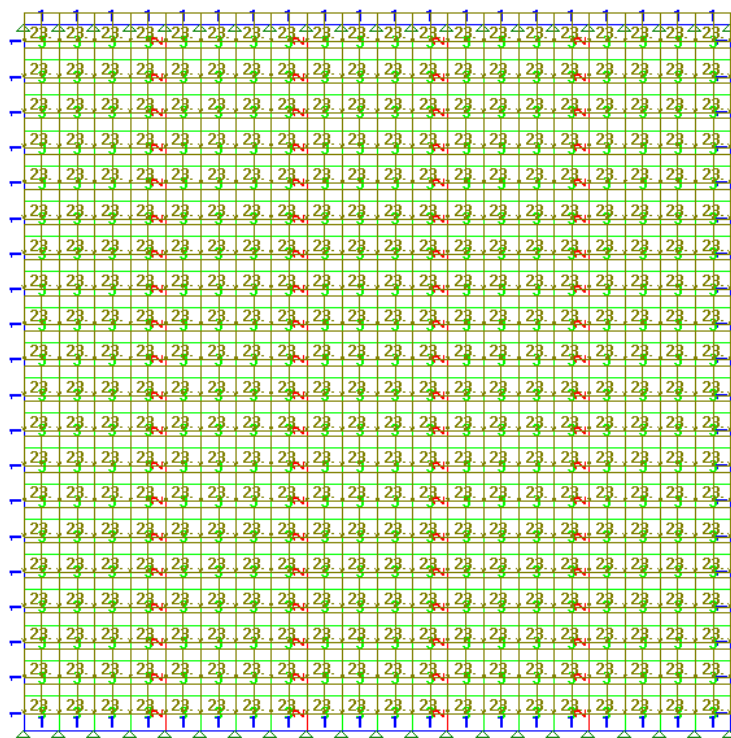


Figura 93: Carga variável ao longo dos elementos (em  $\text{kN/m}^2$ )

## RESULTADOS OBTIDOS

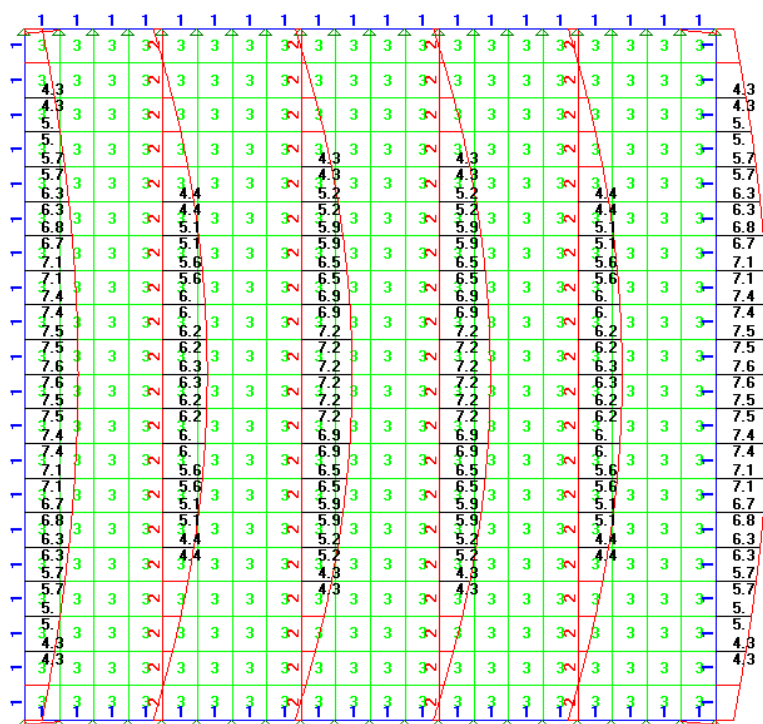


Figura 94: Diagrama de momentos fletores para  $q_d = 14 \text{ kN/m}^2$

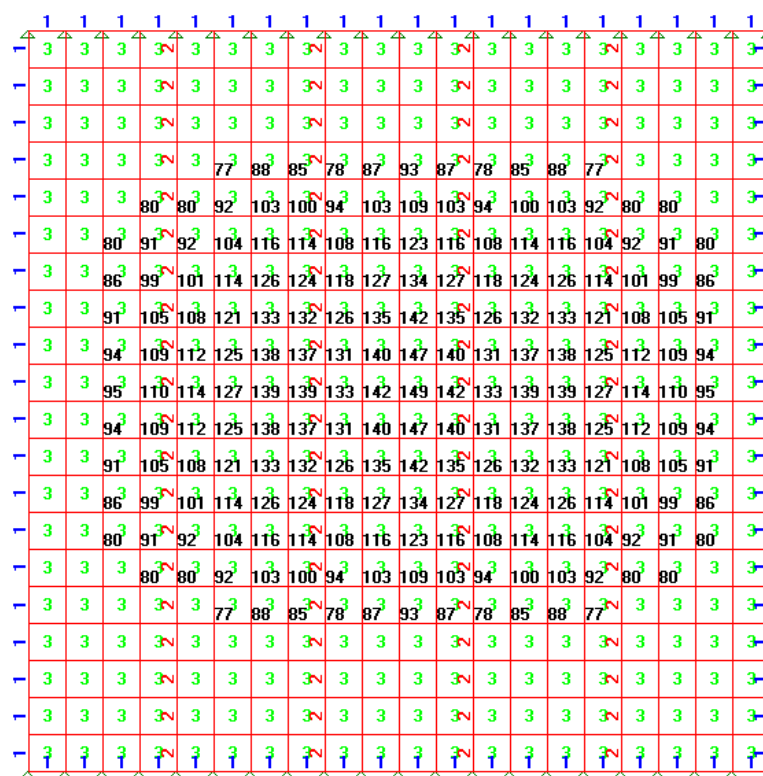
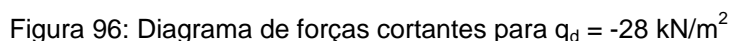


Figura 95: Deslocamentos para  $q_d = 32 \text{ kN/m}^2$  (valores em  $\times 10^1 \text{ mm}$ )



## DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS DE PISO COMBINADOS

138

## MODELO ESTRUTURAL DE DOIS MÓDULOS P 3.0x3.0 COMBINADOS

O modelo estrutural dos módulos P 3.0x3.0 combinado feito no STRAP esta representado na figura 97.

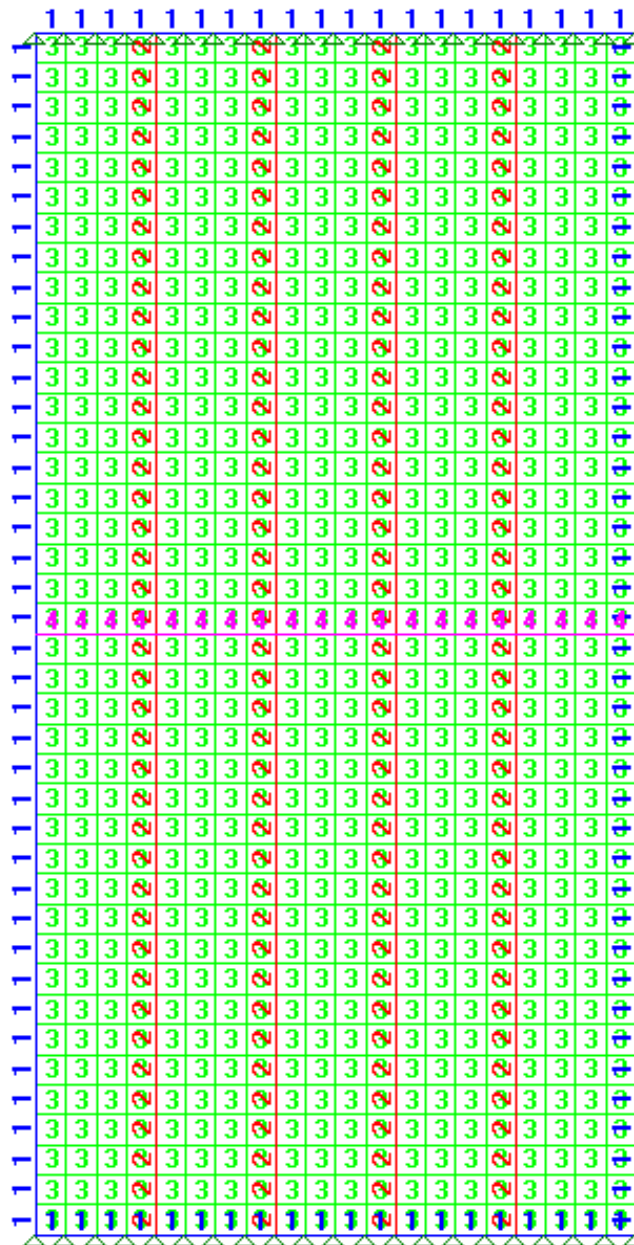


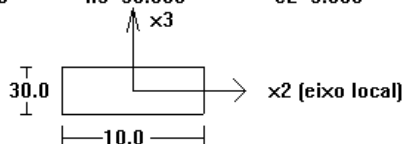
Figura 97: Modelo de dois módulos P 3.0x3.0 combinados

Sendo as propriedades 1, 2, 3 e 4 descritas na tabela: 34.

Tabela 34 - Saída das propriedades do STRAP – Módulo P 3.0x3.0

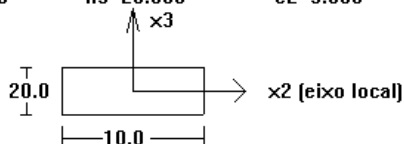
**PROPRIEDADE N. 1**

A=0.3000E+03    I2=0.2250E+05    I3=0.2500E+04    J=0.7902E+04    SF2=0.850  
Material = 1 - C-40    Perimetro=80.000    SF3=0.850  
h2=10.000    h3=30.000    e2=5.000    e3=15.000



**PROPRIEDADE N. 2**

A=0.2000E+03    I2=0.6667E+04    I3=0.1667E+04    J=0.4578E+04    SF2=0.850  
Material = 1 - C-40    Perimetro=60.000    SF3=0.850  
h2=10.000    h3=20.000    e2=5.000    e3=10.000

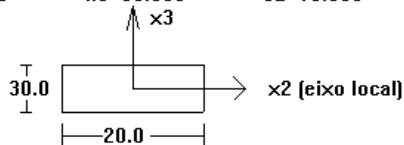


**PROPRIEDADE N. 3**

Espessura = 2.000    SF3=0.000  
Material = 2 - COMP

**PROPRIEDADE N. 4**

A=0.6000E+03    I2=0.4500E+05    I3=0.2000E+05    J=0.4695E+05    SF2=0.850  
Material = 1 - C-40    Perimetro=100.000    SF3=0.850  
h2=20.000    h3=30.000    e2=10.000    e3=15.000



A propriedade 4 representa 2 barrotes de seção 10x30cm unidas lateralmente pelas ligações entre módulos de piso. Por se tratar de 2 barras ligadas, no modelo será considerado como uma barra única. As verificações que devem ser feitas neste caso são as mesmas verificações estabelecidas no item 9.5.1, com exceção da flecha máxima admissível que, para um comprimento de 6 m, é de 30 mm.



## CARREGAMENTOS CONSIDERADOS

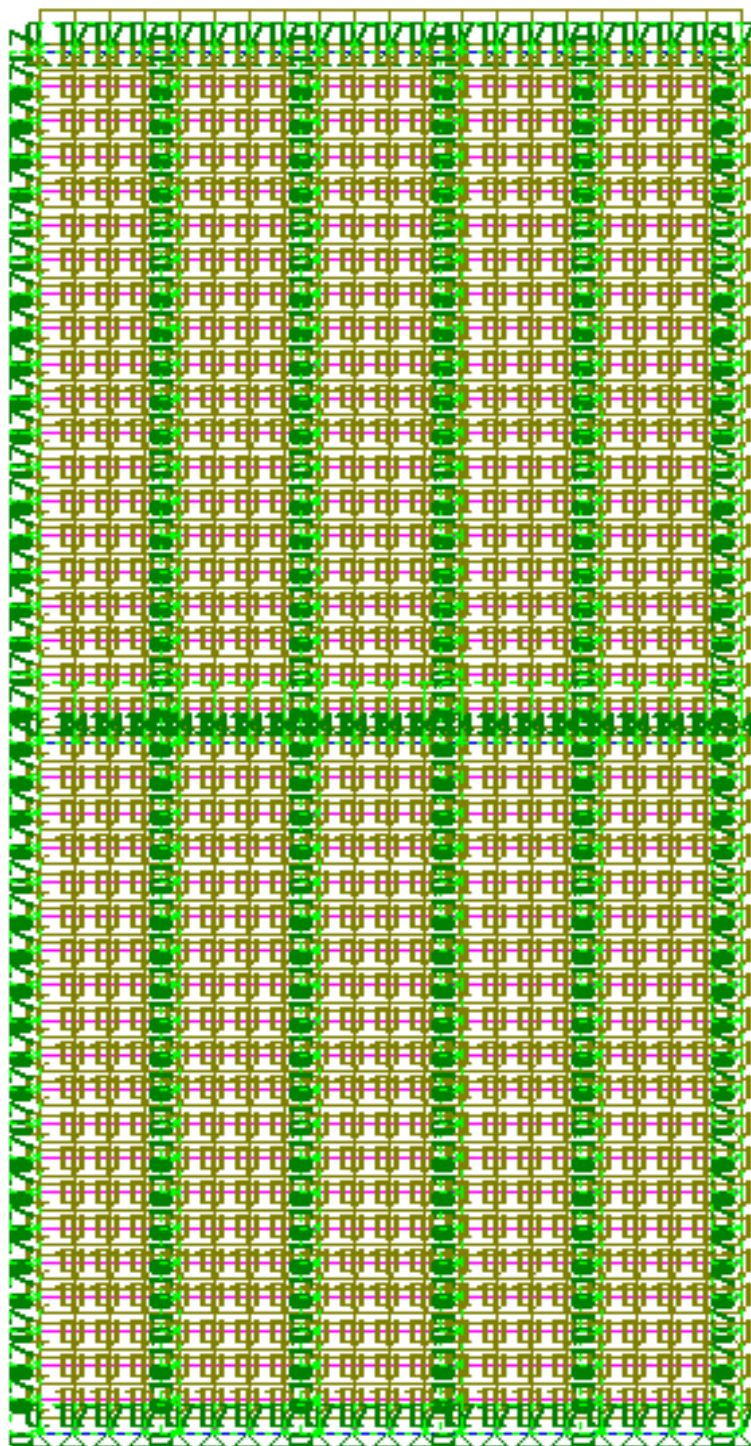


Figura 98: Peso próprio da estrutura

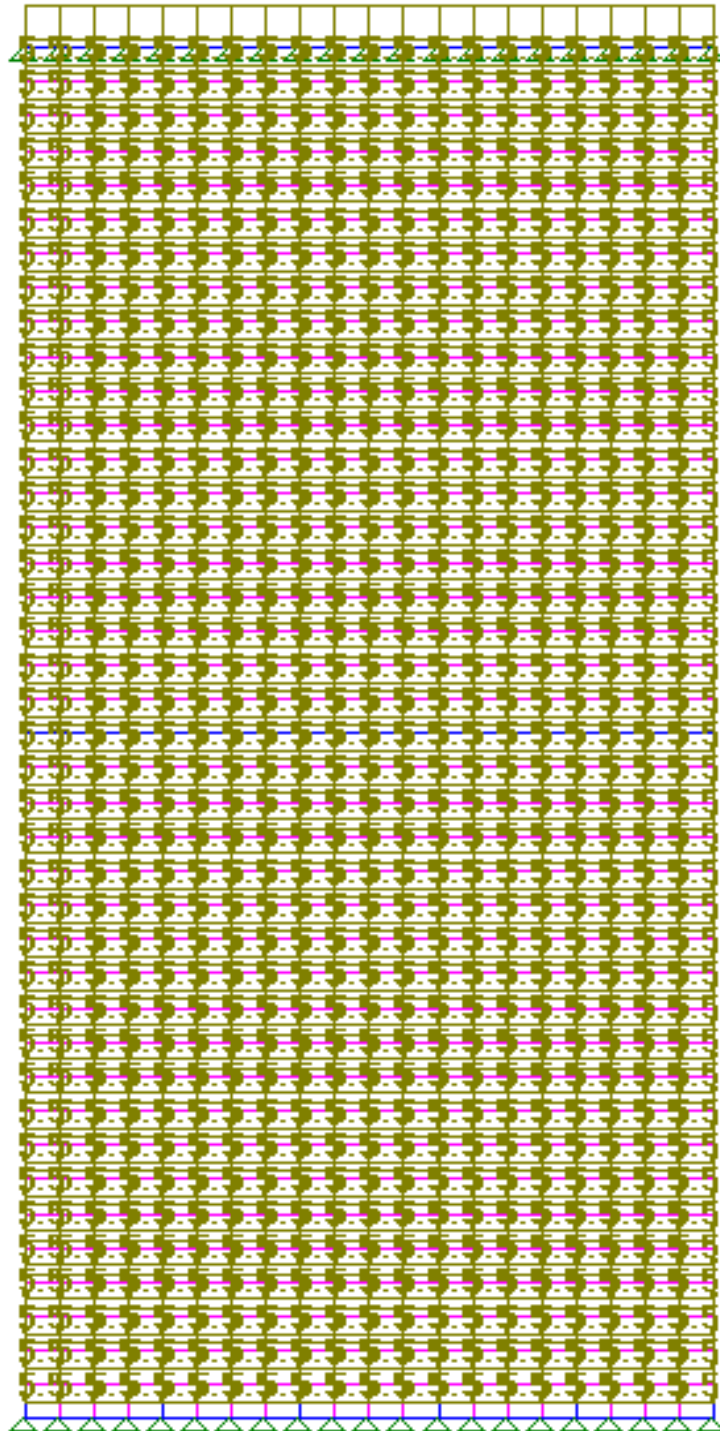


Figura 99: Carga variável ao longo da estrutura (em  $\text{kN/m}^2$ )

RESULTADOS OBTIDOS

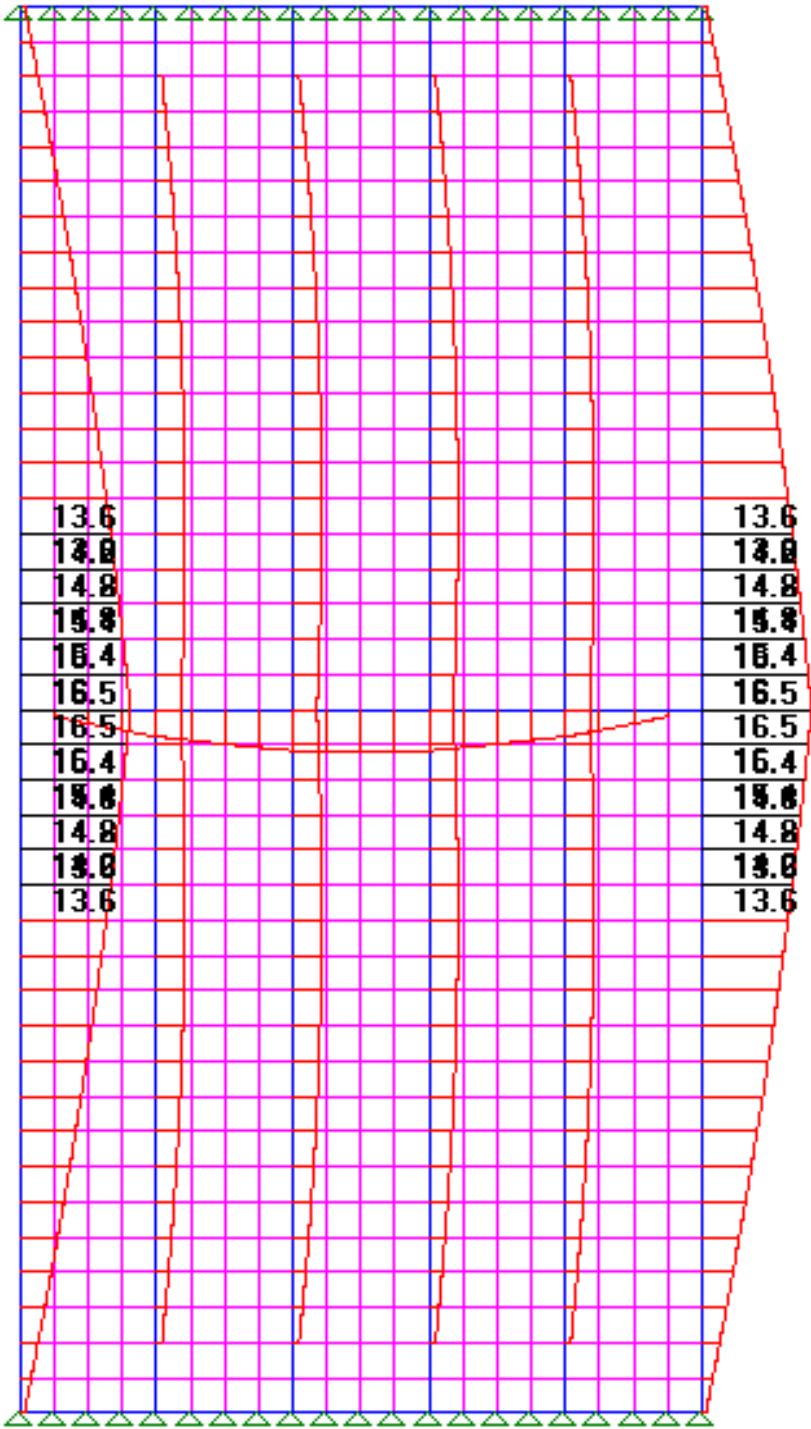


Figura 100: Diagrama de momentos fletores para  $q_d = -4 \text{ kN/m}^2$

197	202	208	211	212	215	219	218	217	219	221	219	217	218	219	215	212	211	208	202	197
212	217	223	226	227	231	234	234	232	235	236	235	232	234	234	231	227	226	223	217	212
225	231	237	240	241	244	247	247	246	248	250	248	246	247	247	244	241	240	237	231	225
238	243	249	252	253	256	259	259	258	260	262	260	258	259	259	256	253	252	249	243	238
249	254	260	262	263	267	270	270	268	271	273	271	268	270	270	267	263	262	260	254	249
258	263	269	271	271	275	278	278	277	280	281	280	277	278	278	275	271	271	269	263	258
266	271	276	278	278	282	285	285	284	287	288	287	284	285	285	282	278	278	276	271	266
273	277	282	283	284	287	290	290	289	292	293	292	289	290	290	287	284	283	282	277	273
277	281	285	287	288	291	293	294	293	295	296	295	293	294	293	291	288	287	285	281	277
280	283	286	288	290	292	294	295	295	297	297	297	295	295	294	292	290	288	286	283	280
281	284	286	288	290	292	294	295	296	297	297	297	296	295	294	292	290	288	286	284	281
280	283	286	288	290	292	294	295	295	297	297	297	295	295	294	292	290	288	286	283	280
277	281	285	287	288	291	293	294	293	295	296	295	293	294	293	291	288	287	285	281	277
273	277	282	283	284	287	290	290	289	292	293	292	289	290	290	287	284	283	282	277	273
266	271	276	278	278	282	285	285	284	287	288	287	284	285	285	282	278	278	276	271	266
258	263	269	271	271	275	278	278	277	280	281	280	277	278	278	275	271	271	269	263	258
249	254	260	262	263	267	270	270	268	271	273	271	268	270	270	267	263	262	260	254	249
238	243	249	252	253	256	259	259	258	260	262	260	258	259	259	256	253	252	249	243	238
225	231	237	240	241	244	247	247	246	248	250	248	246	247	247	244	241	240	237	231	225
212	217	223	226	227	231	234	234	232	235	236	235	232	234	234	231	227	226	223	217	212
197	202	208	211	212	215	219	218	217	219	221	219	217	218	219	215	212	211	208	202	197

Figura 101: Deslocamento na região central da estrutura para  $q_d = -6 \text{ kN/m}^2$  (valores em  $\times 10^1 \text{ mm}$ )

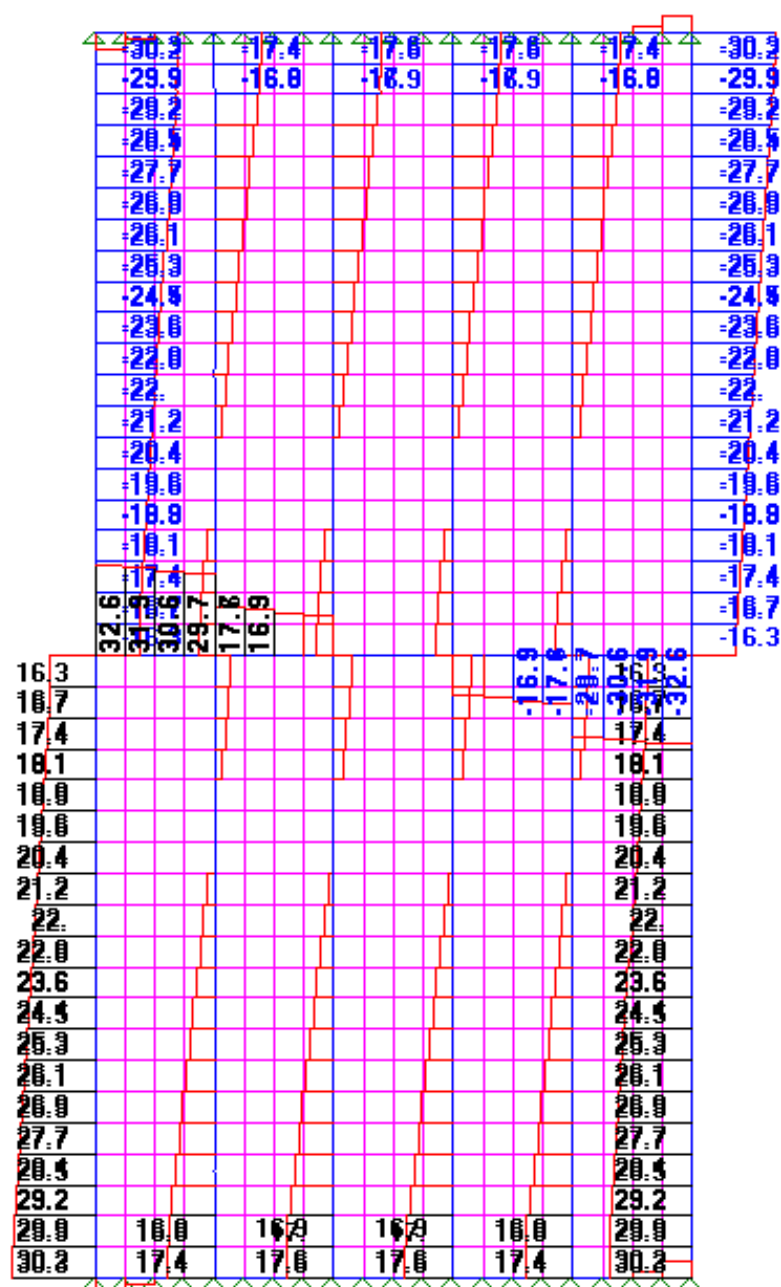


Figura 102: Diagrama de forças cortantes para  $q_d = -16 \text{ kN/m}^2$

Tomando-se as cargas máximas obtidas para levar aos diferentes modos de ruptura da estrutura, pode-se concluir que a carga máxima admissível de projeto que atende ao Estado Limite Último e o Estado Limite de Serviço é de  $q_d = -4 \text{ kN/m}^2$ .

Para dimensionar a ligação entre os módulos, será considerado o momento máximo no barrote lateral, obtendo a força necessária para garantir que a ligação garanta o funcionamento dos 2 barrotes como uma peça única, segundo as equações 28 e 29.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M}{I} z = \frac{16,5}{\frac{0,1 \times 0,3^3}{12}} \times 0,15 = 11000 \text{ kN/m}^2 \quad (28)$$

$$F_{resist} = \sigma_{m\acute{a}x} \times A_{tra\grave{c}ao} = 11000 \times 0,1 \times 0,15 = 165 \text{ kN} \quad (29)$$

Portanto dever\~ao ser inseridos parafusos de porca e arruela de forma a garantir que a for\~ca gerada pelo momento entre os m\~odulos seja resistida. Ser\~ao utilizados parafusos de a\~co do tipo A307, cuja tens\~ao de escoamento \~e de  $f_{yd} = 310$  MPa e cujo di\~ametro \~e de 12,5mm ( $\phi$  12.5 ou 1/2") (PFEIL, 2003). (equa\~c\~ao 31)

$$310000 \times A = 165 \rightarrow A = 5,32 \text{ cm}^2 \quad (31)$$

Sendo 'A' a \~area de parafusos necess\~aria na metade inferior da se\~c\~ao para resistir os esfor\~cos de tra\~c\~ao que surgem ao conectar os 2 barrotes por meio da liga\~c\~ao devido ao momento fletor.

O n\~umero de parafusos necess\~arios em metade da se\~c\~ao \~e dado pela equa\~c\~ao 32.

$$n = \frac{5,32}{\frac{\pi \times 1,25^2}{4}} = 4,34 \quad (32)$$

Ser\~ao adotados um total de 12 parafusos na liga\~c\~ao, conforme a figura 103.

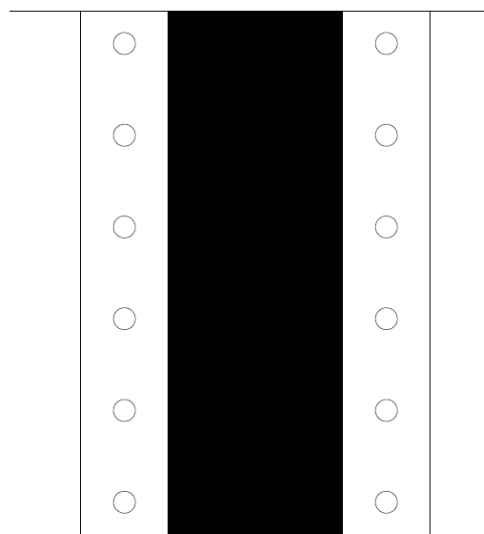


Figura 103: Detalhe da liga\~c\~ao entre barrotes

## DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS DE PAREDE COM ABERTURA

Existem 2 variações de aberturas que podem existir nos módulos de parede: aberturas de portas e aberturas de janelas. Onde há aberturas, serão utilizadas as barras de reforço, de dimensões 8x10 cm, que ficam localizadas em torno da abertura do módulo. Além disso, a quantidade de montantes em cima das aberturas aumentará, de forma a reduzir os momentos nas barras superiores dos reforços. Para exemplificar esta concepção, será analisado estruturalmente o módulo P 3.0 C1 com uma abertura de janela.

### MODELO ESTRUTURAL DO MÓDULO P 3.0 C1 COM JANELA

A figura 104 representa o modelo estrutural do módulo P 3.0 C1:

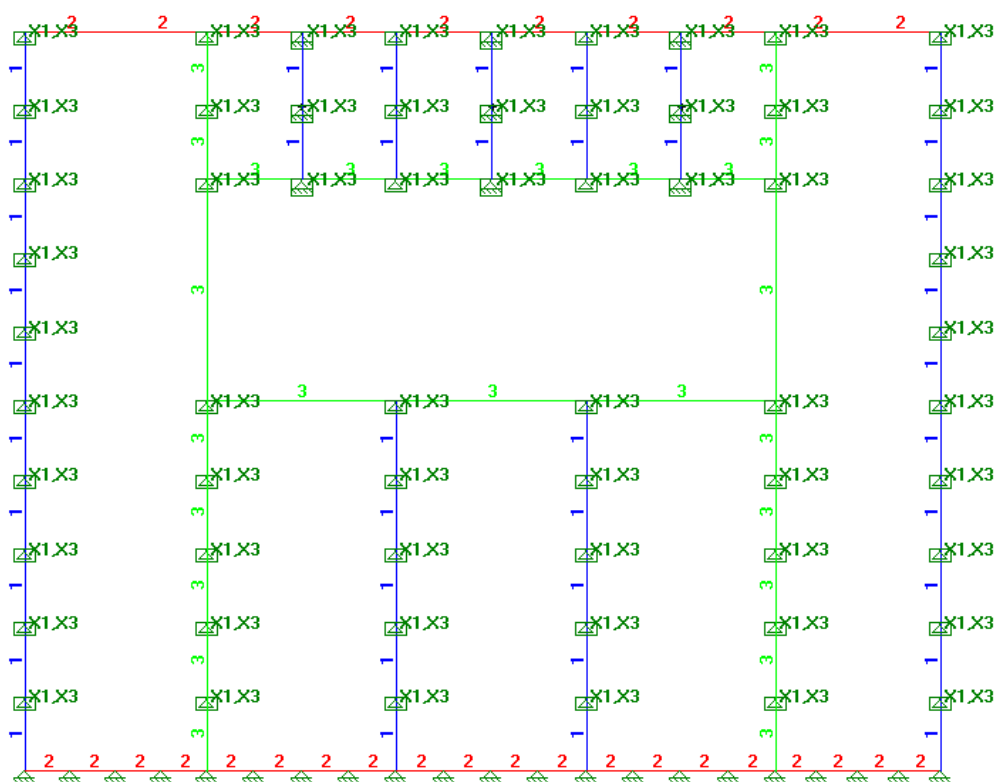


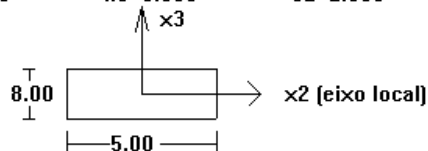
Figura 104: Modelo estrutural do módulo P 3.0 C1 com abertura de janela

Onde as propriedades 1, 2 e 3 são dadas na tabela 35.

Tabela 35 - Saída da propriedades dos materiais do STRAP – Modulo P 3.0 C1

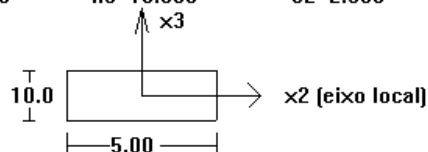
PROPRIEDADE N. 1

A=0.4000E+02 I2=0.2133E+03 I3=0.8333E+02 J=0.2038E+03 SF2=0.850  
Material = 1 - C-40 Perimetro=26.000 SF3=0.850  
h2=5.000 h3=8.000 e2=2.500 e3=4.000



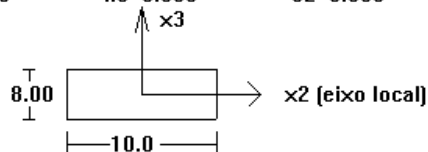
PROPRIEDADE N. 2

A=0.5000E+02 I2=0.4167E+03 I3=0.1042E+03 J=0.2861E+03 SF2=0.850  
Material = 1 - C-40 Perimetro=30.000 SF3=0.850  
h2=5.000 h3=10.000 e2=2.500 e3=5.000



PROPRIEDADE N. 3

A=0.8000E+02 I2=0.4267E+03 I3=0.6667E+03 J=0.8759E+03 SF2=0.850  
Material = 1 - C-40 Perimetro=36.000 SF3=0.850  
h2=10.000 h3=8.000 e2=5.000 e3=4.000



As barras de reforço possuem uma dimensão maior de forma a resistir os esforços de momento fletor que surgem em função da transferência da carga dos montantes para esta barra. Esta prática já é usual no sistema plataforma tradicional. Pode-se observar também que o número de montantes superior dobrou de tamanho, com o objetivo de aliviar os picos de momento fletor na barra de reforço superior. Para o cálculo da força de compressão máxima no montante de reforço de dimensões 10x8 cm considerando-se os efeitos de estabilidade, foi feito um procedimento análogo ao descrito no item 9.3.5, obtendo-se os resultados presentes na tabela 36.

Tabela 36 – Esforços Normais Admissíveis

Nk	Nd	F(Nd, Nk)
23,99	33,586	0,999596



As verificações que devem ser feitas nos módulos de parede com aberturas de janela são:

- Esforço normal nos montantes 5x8 cm levando em consideração o efeito de instabilidade na direção perpendicular às paredes ( $N_{d,adm} = 16,7 \text{ kN}$ )
- Esforço normal nos montantes 10x8 cm levando em consideração o efeito de instabilidade na direção perpendicular às paredes ( $N_{d,adm} = 33,6 \text{ kN}$ )
- Esforço de momentos fletores nas barras horizontais superiores dos módulos ( $M_{d,adm} = 0,46 \text{ kNm}$ )
- Esforço de momentos fletores nas barras horizontais de reforço dos módulos ( $M_{d,adm} = 1,48 \text{ kNm}$ )
- Esforço de forças cortantes nas barras horizontais superiores dos módulos ( $V_{d,adm} = 5,26 \text{ kN}$ )
- Esforço de forças cortantes nas barras horizontais de reforço dos módulos ( $V_{d,adm} = 8,42 \text{ kN}$ )

CARREGAMENTOS CONSIDERADOS

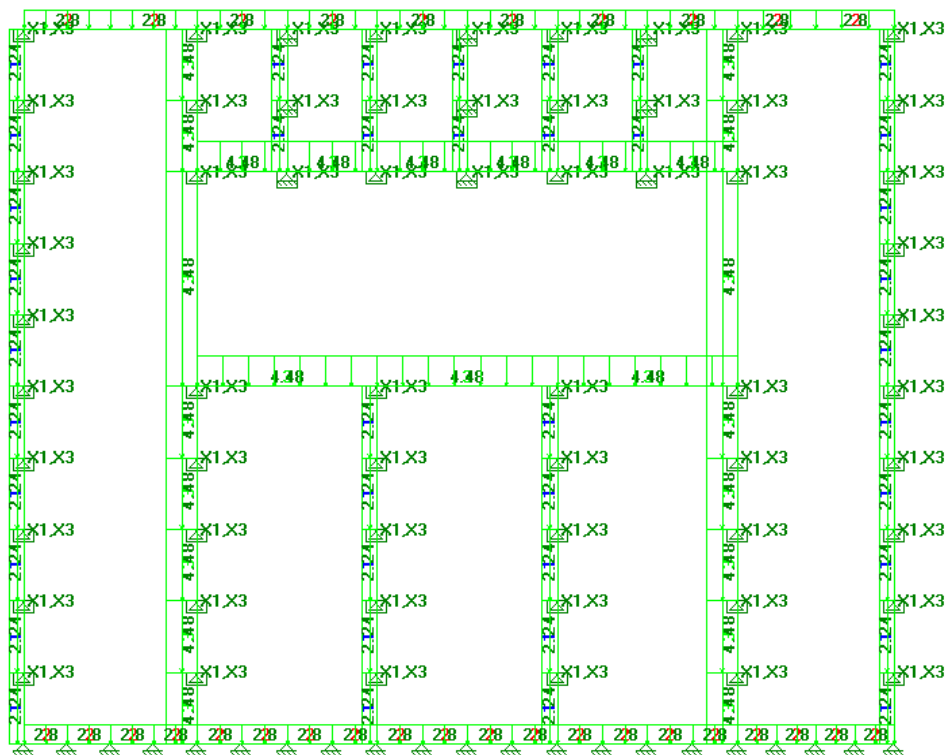


Figura 105: Peso próprio da estrutura

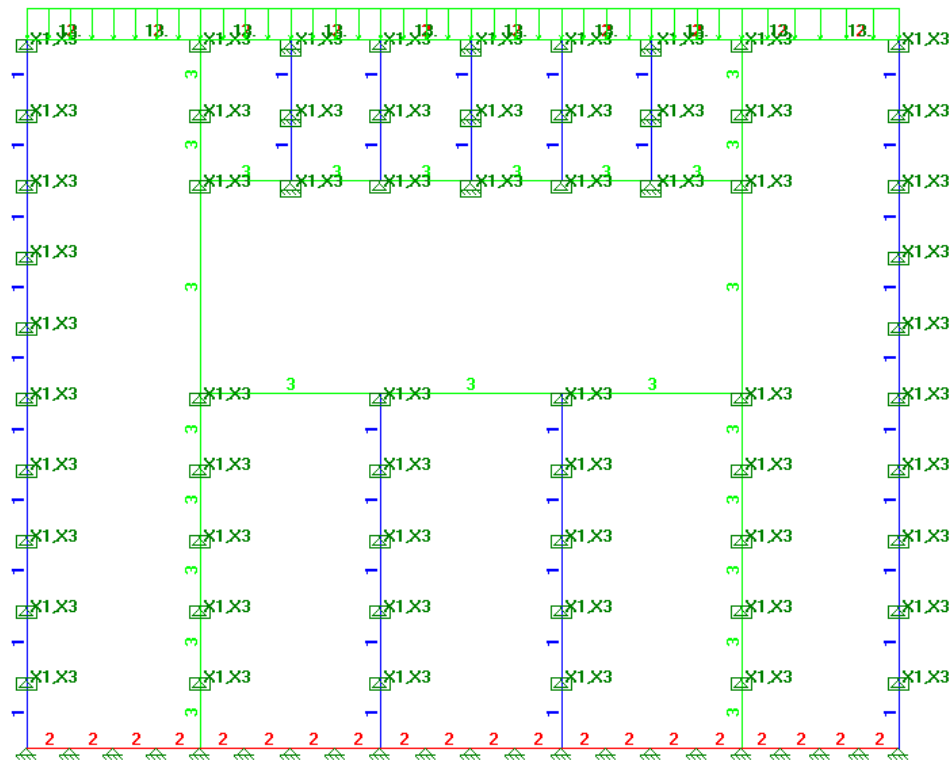


Figura 106: Carga linear variável superior (em kN/m)

RESULTADOS OBTIDOS

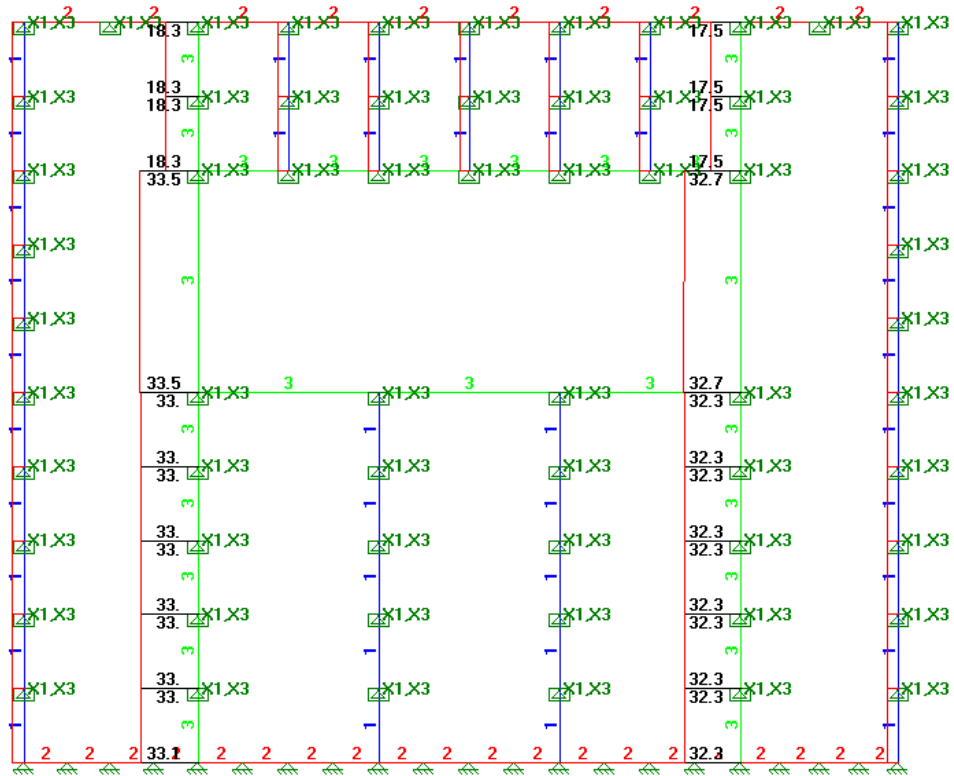


Figura 107: Diagrama de forças normais para  $q_d = -28 \text{ kN/m}$

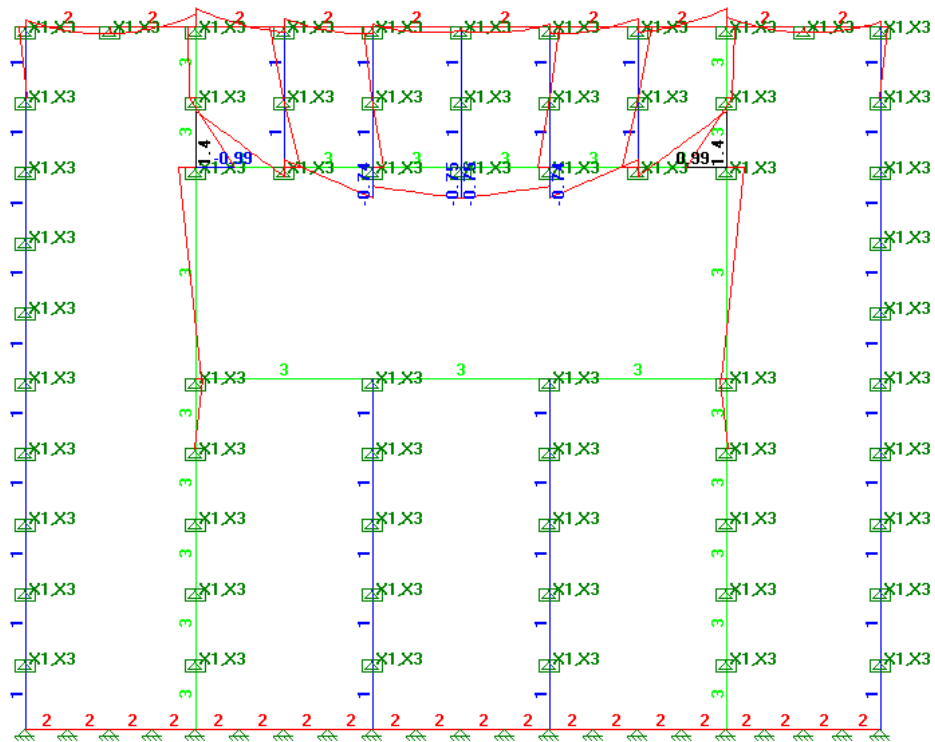


Figura 108: Diagrama de momentos fletores para  $q_d = -12 \text{ kN/m}$

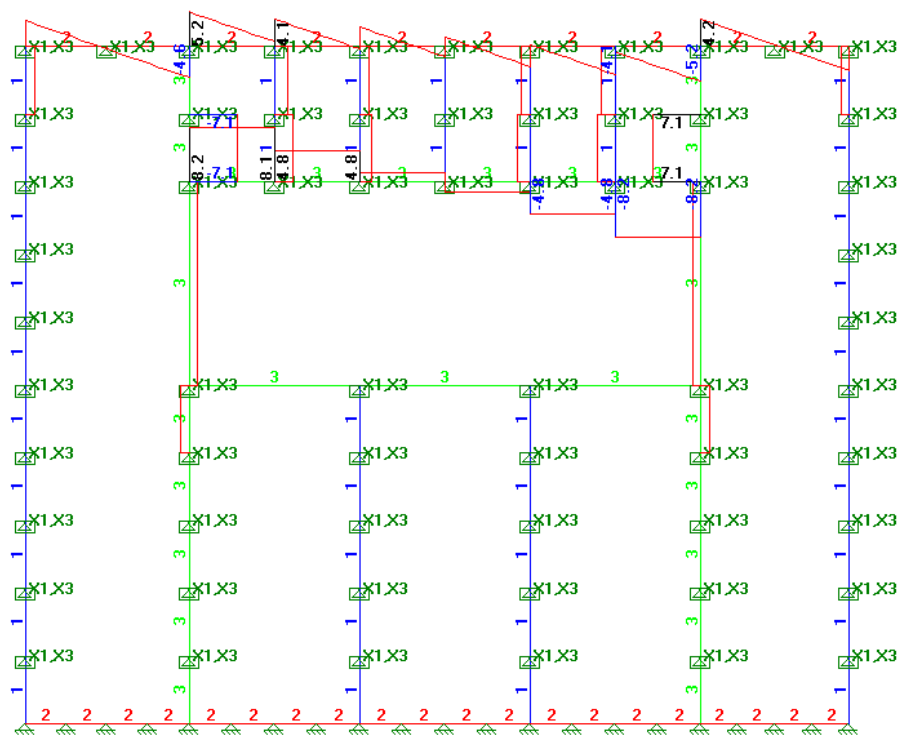


Figura 109: Diagrama de forças cortantes para  $q_d = -15 \text{ kN/m}$

Pode-se concluir, portanto, que a carga linear de projeto que leva o módulo P 3.0 C1 com esta abertura de janela ao Estado Limite Último é de  $q_d = -12 \text{ kN/m}$ . O módulo P 3.0 C1 sem aberturas apresenta uma carga máxima admissível de projeto de  $q_d = -15 \text{ kN/m}$ . A presença desta abertura representou uma perda de 20% de capacidade de carga, o que é um valor significativo. Entretanto, este estudo trata do maior módulo com a maior abertura possível. Para outras aberturas, em outros módulos de parede, ter-se-á uma perda de capacidade de carga menor do que 20%.

## 10. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso proposto neste trabalho tem por finalidade avaliar o maior número possível de situações críticas na estrutura, para que desta forma fique demonstrado que independentemente da estrutura adotada os módulos já possuem seu dimensionamento pré aprovado.

### TERRENO

Para este estudo de caso escolheu-se um terreno localizado no cruzamento das ruas Demóstenes e República do Iraque no bairro do Campo Belo na cidade de São Paulo apresentado na figura 110.

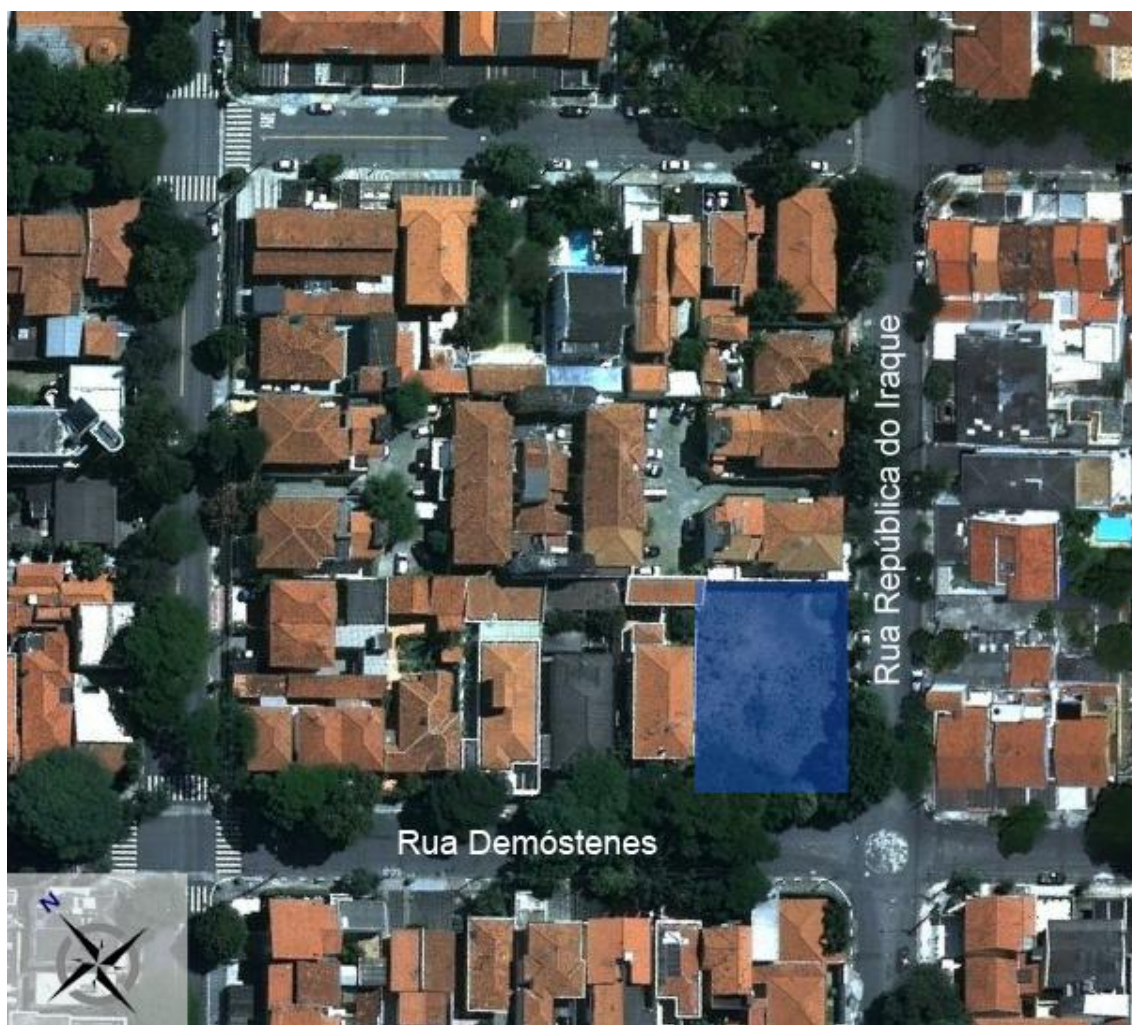


Figura 110: Localização do terreno

Fonte: Google Earth

A escolha deste terreno se deu por diversos fatores, sendo os principais deles:

- A cidade de São Paulo é um grande exemplo de megalópole e com isso é possível verificar que este sistema também pode ser adotado em cidades de grande porte.

- A cidade de São Paulo possui grande variação climática, o que foi utilizado para que os módulos sejam adaptados tanto para climas mais frios quanto para climas quentes.

- A rua em que está localizado o terreno é estritamente residencial, favorável ao uso do sistema plataforma.

- A topografia do terreno é praticamente plana, facilitando a criação de uma estrutura crítica.

- O solo da região é muito bom, simplificando a solução de fundação que não faz parte do escopo deste trabalho.

## **CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA**

O projeto desta edificação se deu com foco a habitação de uma família de classe média alta com dois filhos, onde os requisitos mínimos de projeto seriam:

- 1 Suíte
- 2 Quartos
- 1 Escritório
- 1 Banheiro
- 1 Lavabo
- 1 Sala de jantar
- 1 Sala de estar
- 1 Cozinha
- 1 Área de serviço
- 2 Vagas de garagem cobertas

A partir da listagem apresentada anteriormente desenvolveu-se o projeto apresentado nas figuras 111 a 117.

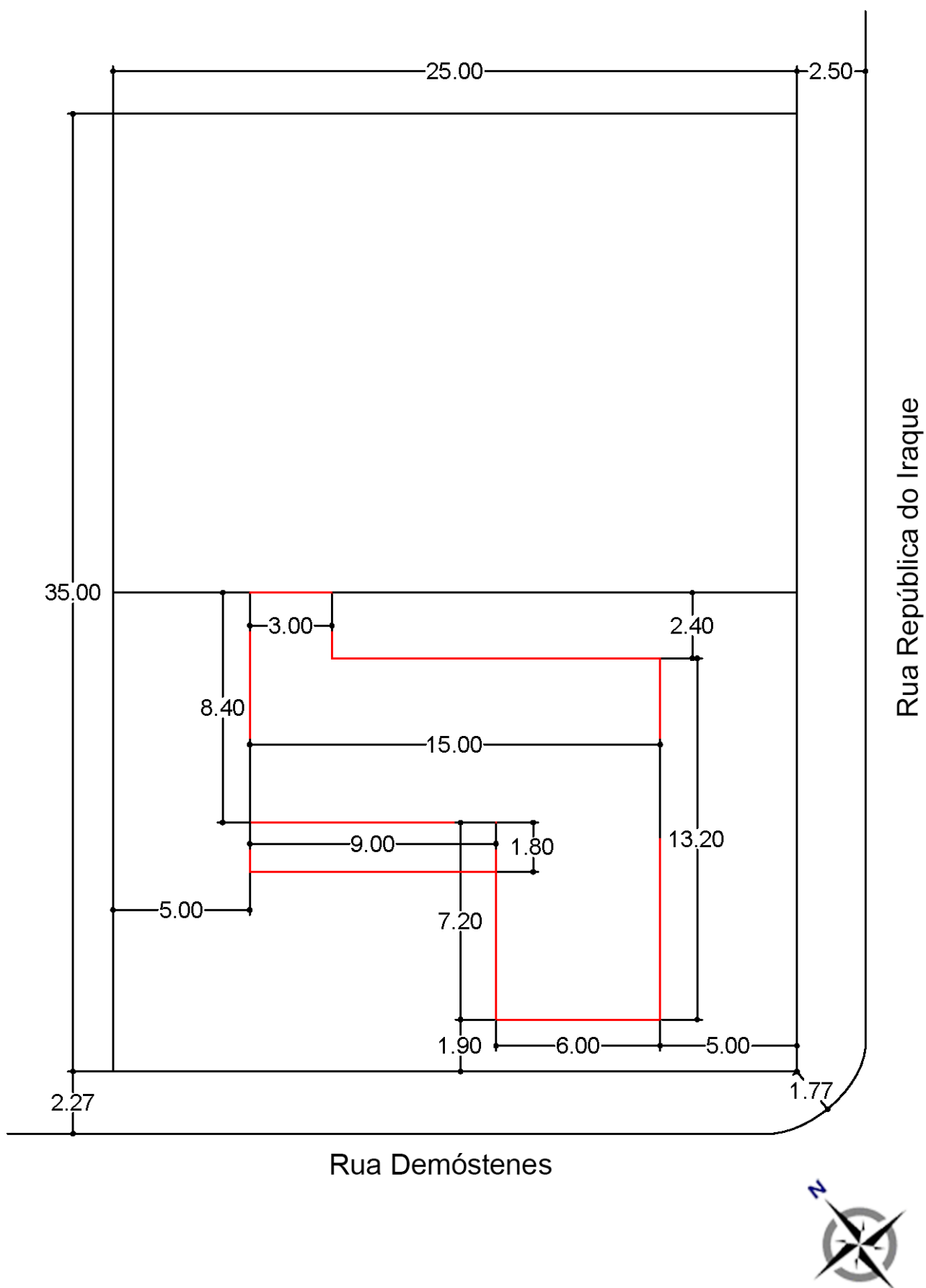


Figura 111: Implantação (1:200)

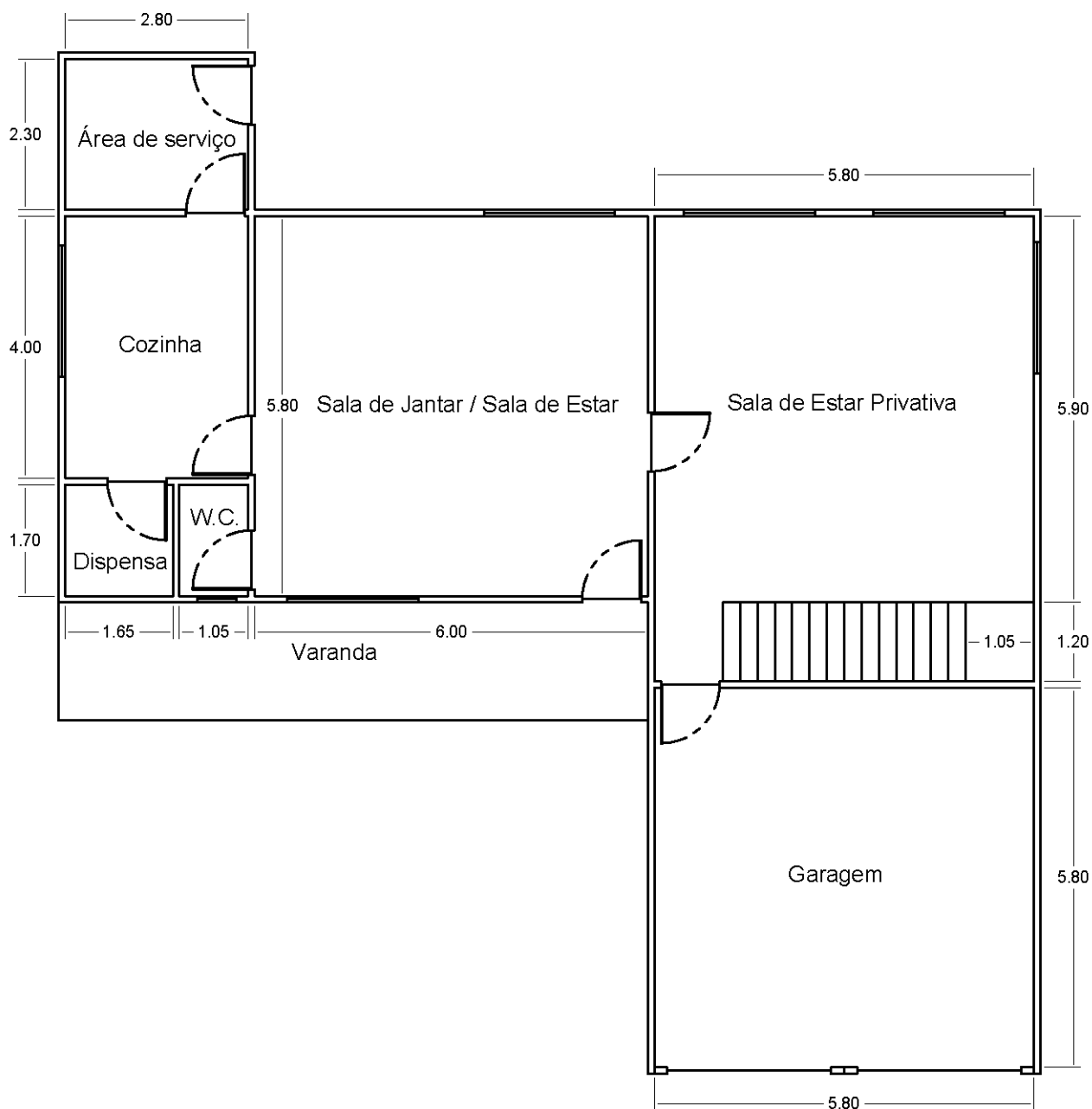


Figura 112: Planta do pavimento térreo (1:100)



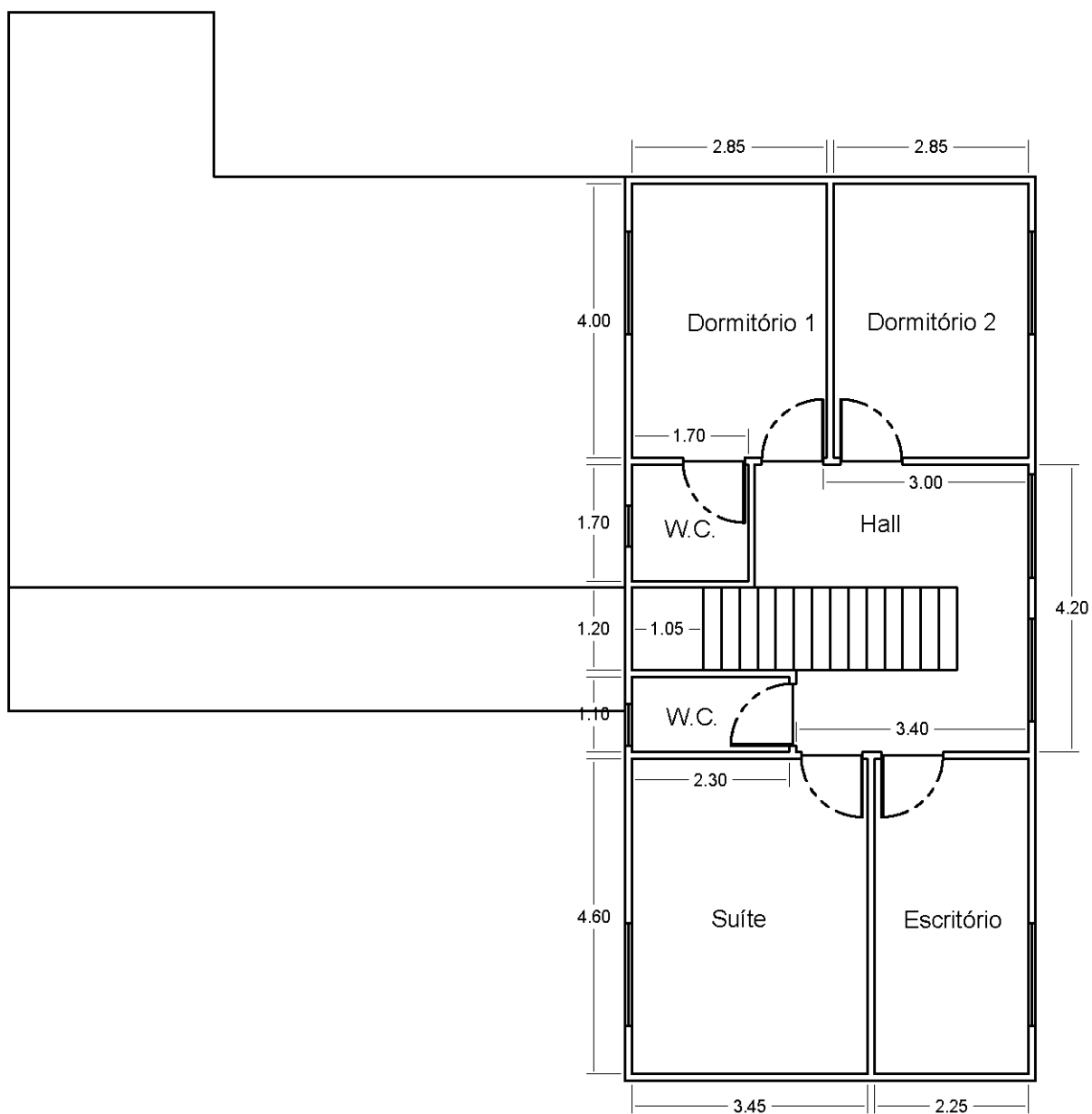


Figura 113: Planta do 1º pavimento (1:100)



Figura 114: Perspectiva da casa



Figura 115: Perspectiva da casa



Figura 116: Perspectiva da casa

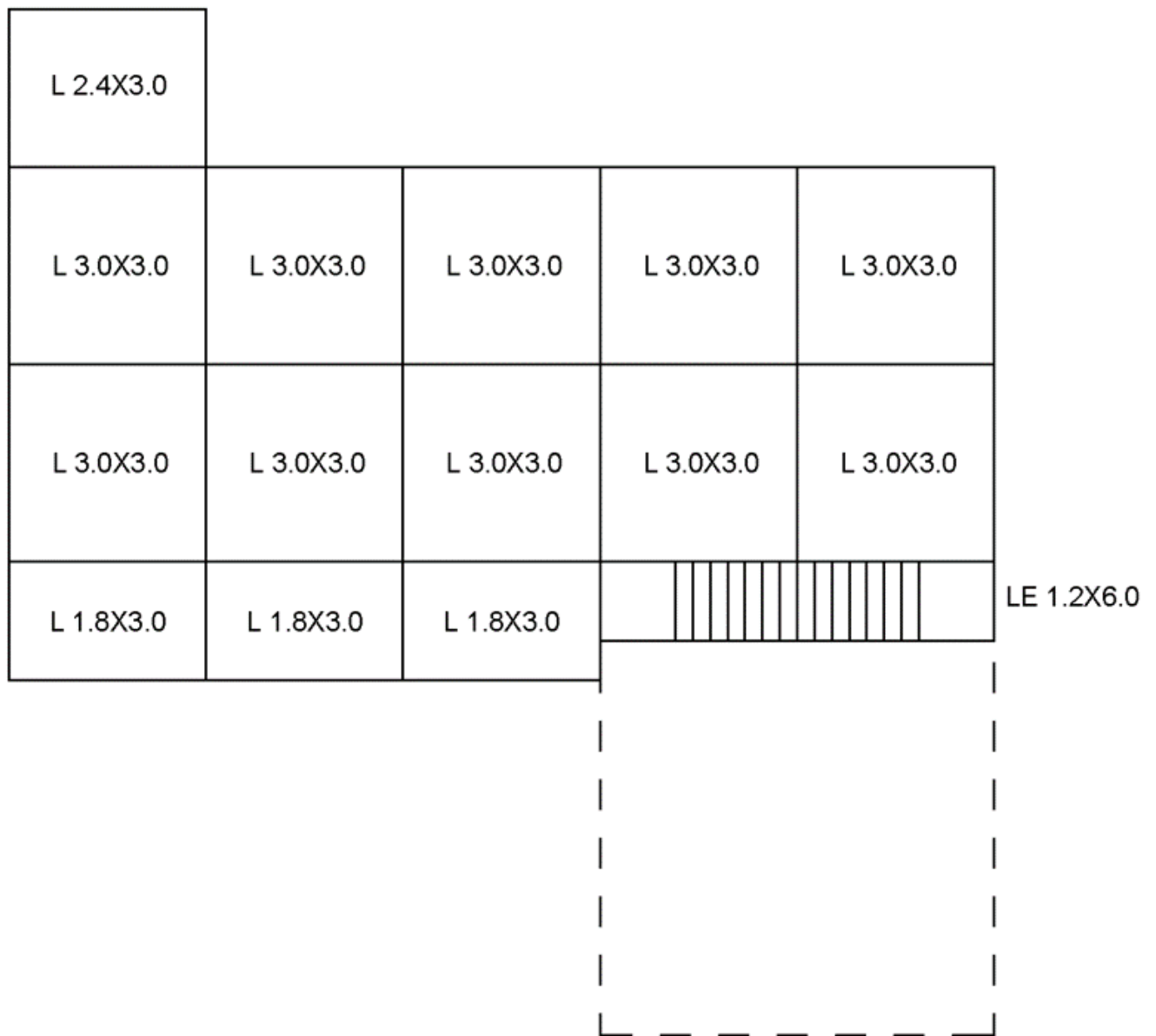


Figura 117: Perspectiva da casa

## **MODULAÇÃO E MONTAGEM**

Uma vez que este trabalho se baseia no desenvolvimento de módulos estruturais, serão apresentados os projetos modulares de piso (figuras 118 e 119), de parede (figuras 120 e 121) e unificados (figuras 122 e 123) de ambos os pavimentos, pois estes seriam os projetos solicitados pelo fabricante para o envio dos módulos.

Não serão apresentados os projetos de sistemas prediais e de cobertura, pois estes fogem do escopo deste projeto.



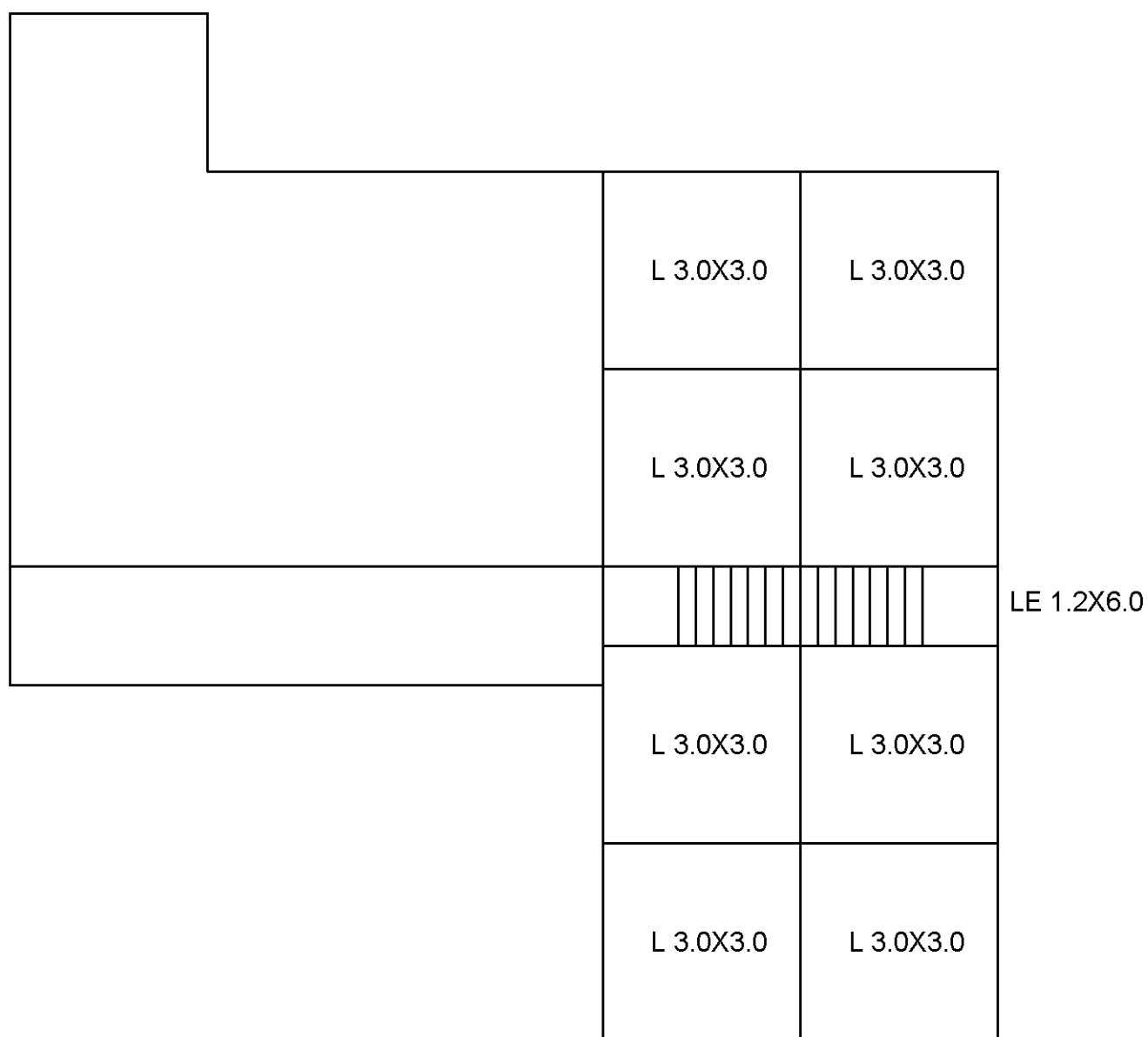


Figura 119: Planta de piso do 1º pavimento (1:100)

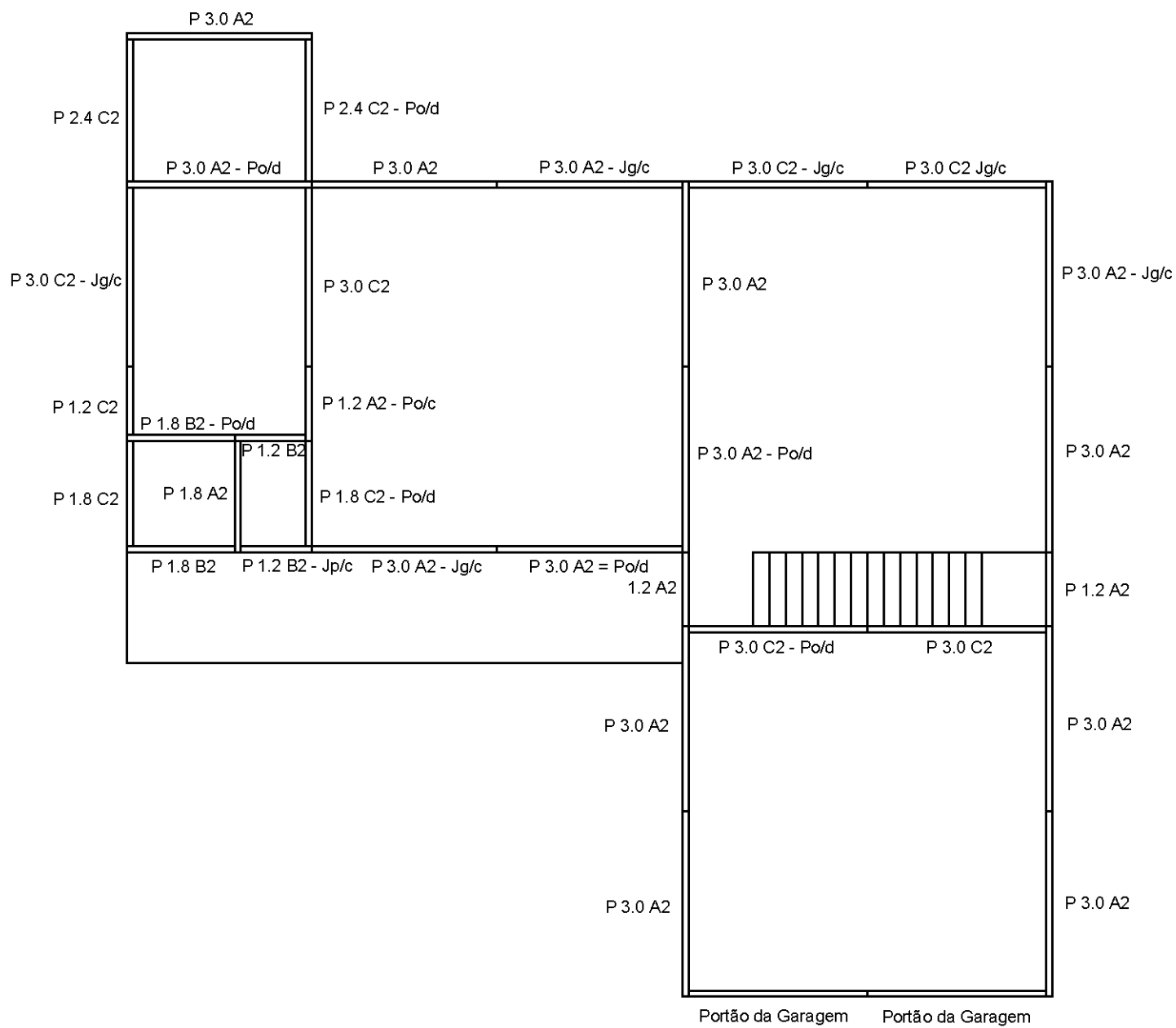


Figura 120: Planta de parede do pavimento térreo (1:100)

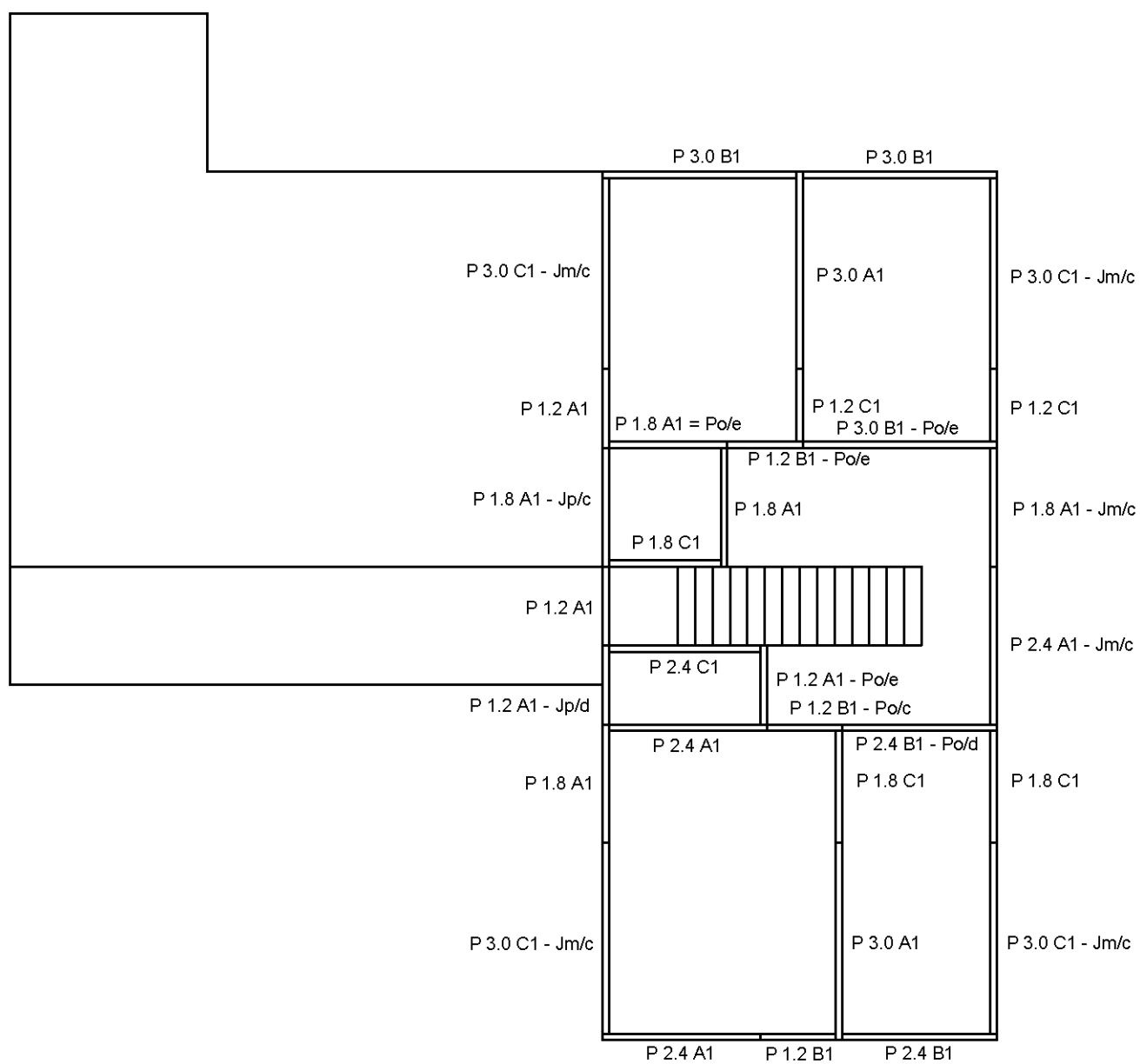


Figura 121: Planta de parede do 1º pavimento (1:100)



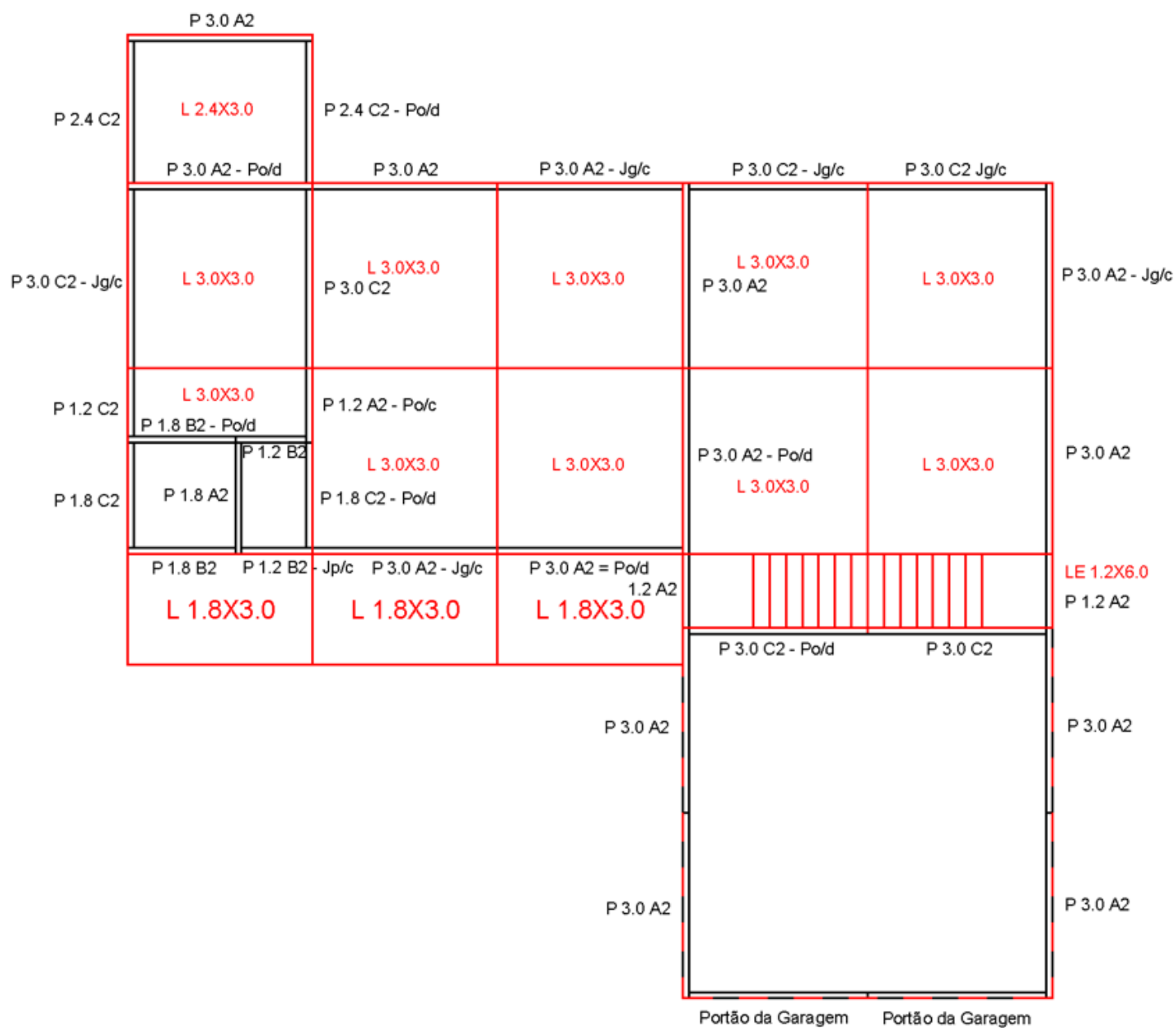


Figura 122: Planta unificada do pavimento térreo (1:100)

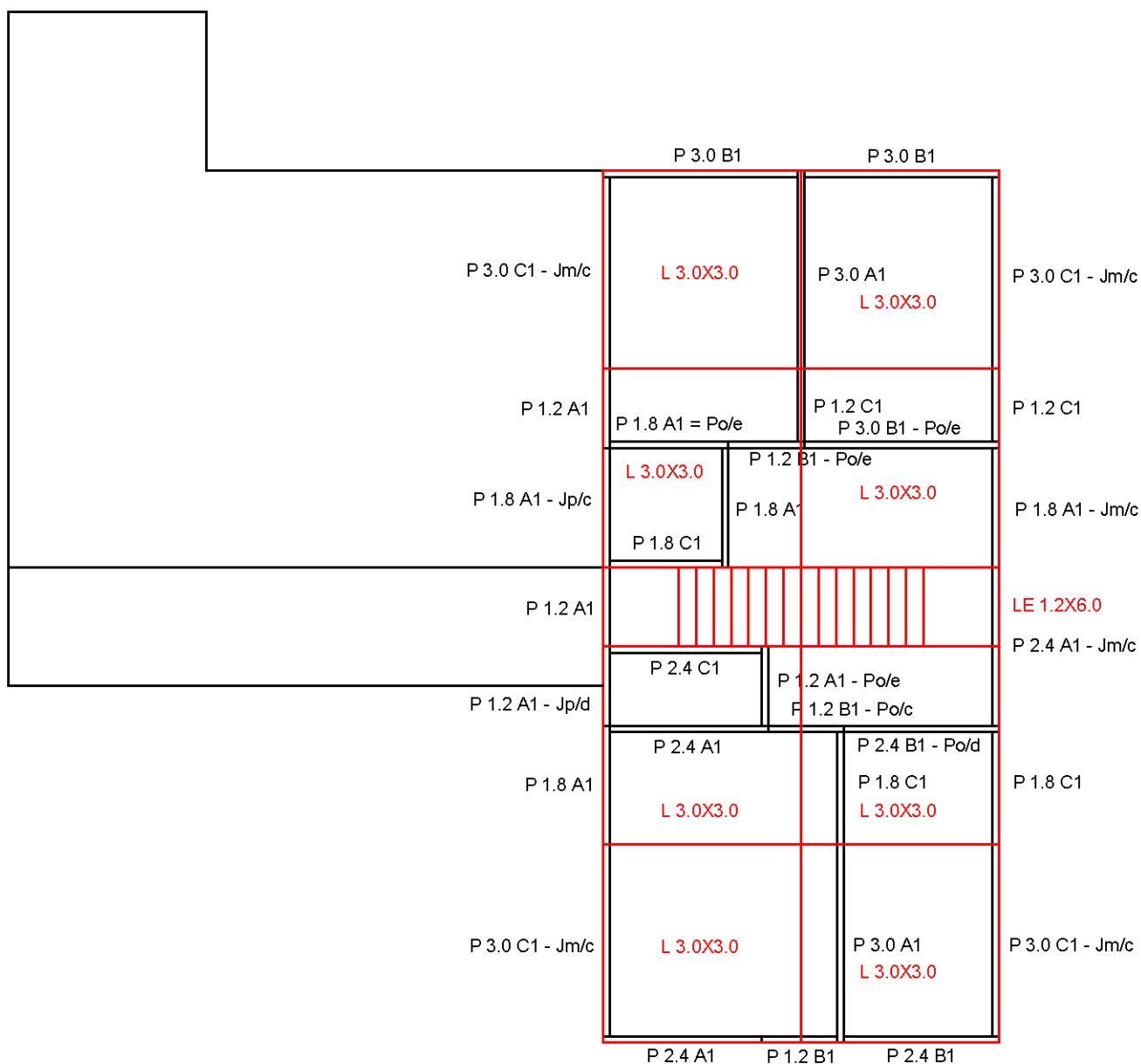


Figura 123: Planta unificada do 1º pavimento (1:100)

Para facilitar a visualização das etapas construtivas do sistema de módulos, será apresentada uma sequência de cinco imagens (figuras 124 a 128) representando as cinco etapas construtivas desta edificação.

Além disso serão apresentadas também duas imagens para facilitar a visualização da distribuição espacial do projeto (figuras 129 e 130).

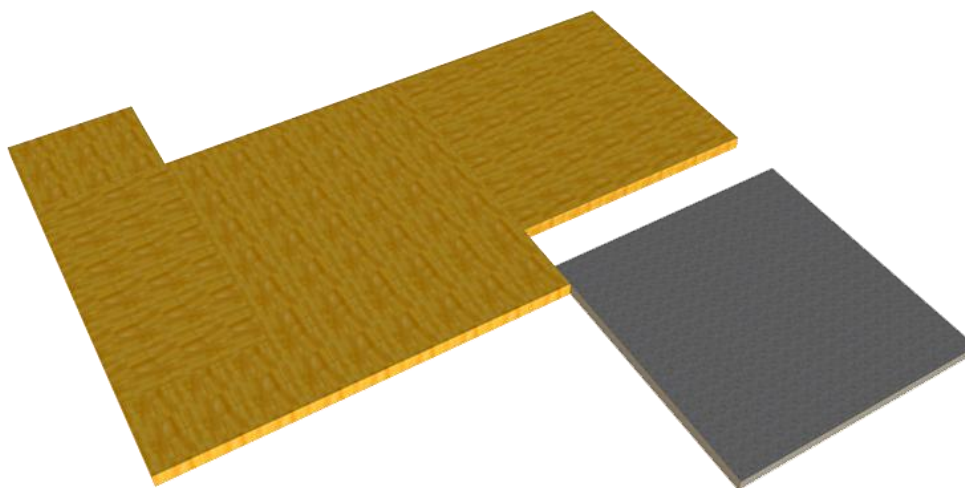


Figura 124: Etapa 1: Pisos do pavimento térreo

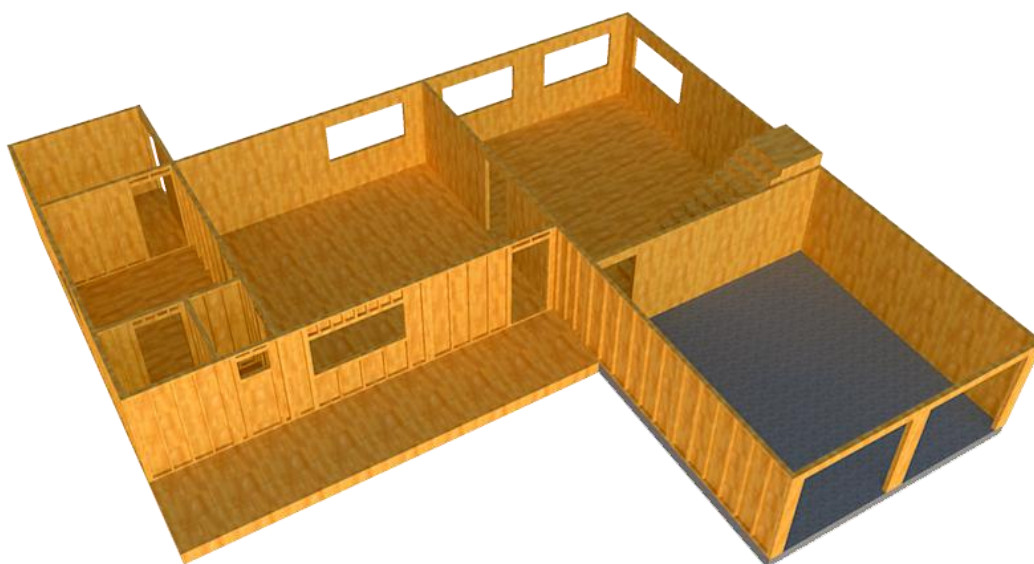


Figura 125: Etapa 2: Paredes do pavimento térreo

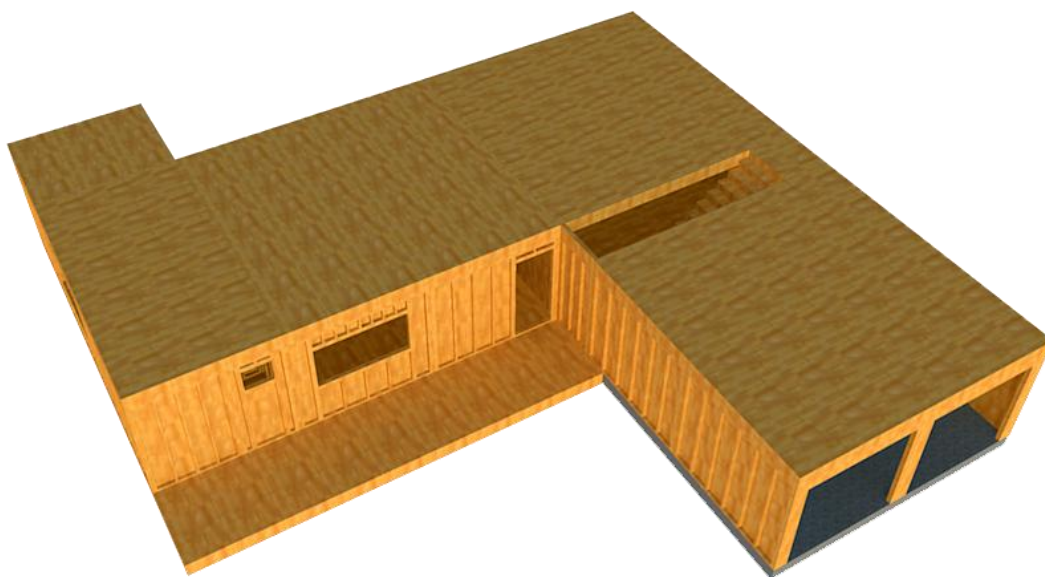


Figura 126: Etapa 3: Piso superior do pavimento térreo e pisos do 1º pavimento

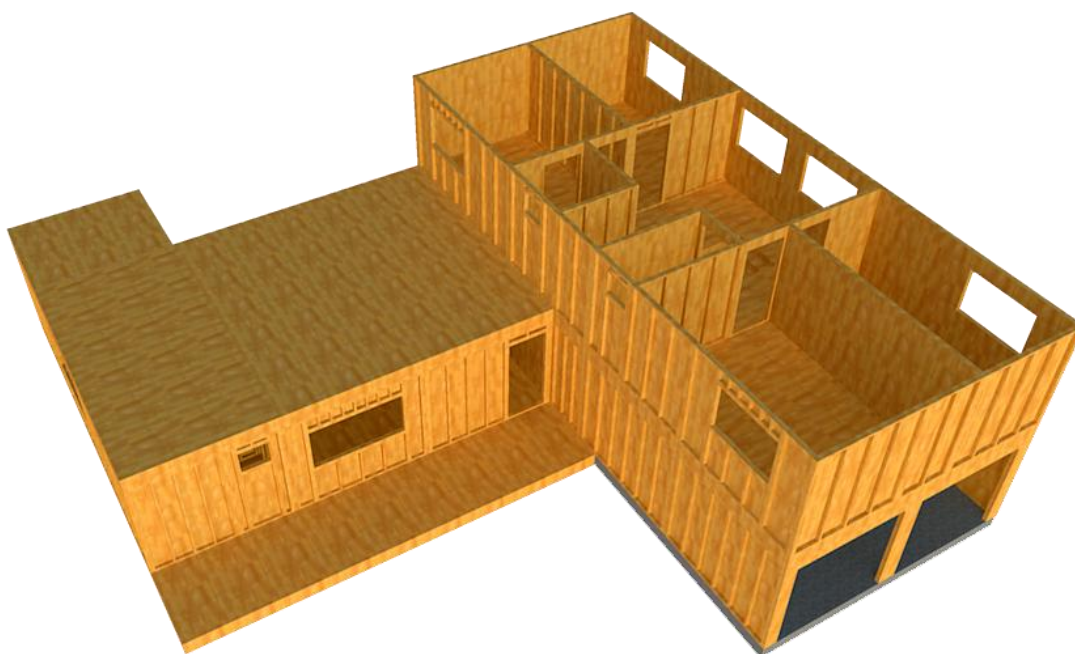


Figura 127: Etapa 4: Paredes do 1º pavimento

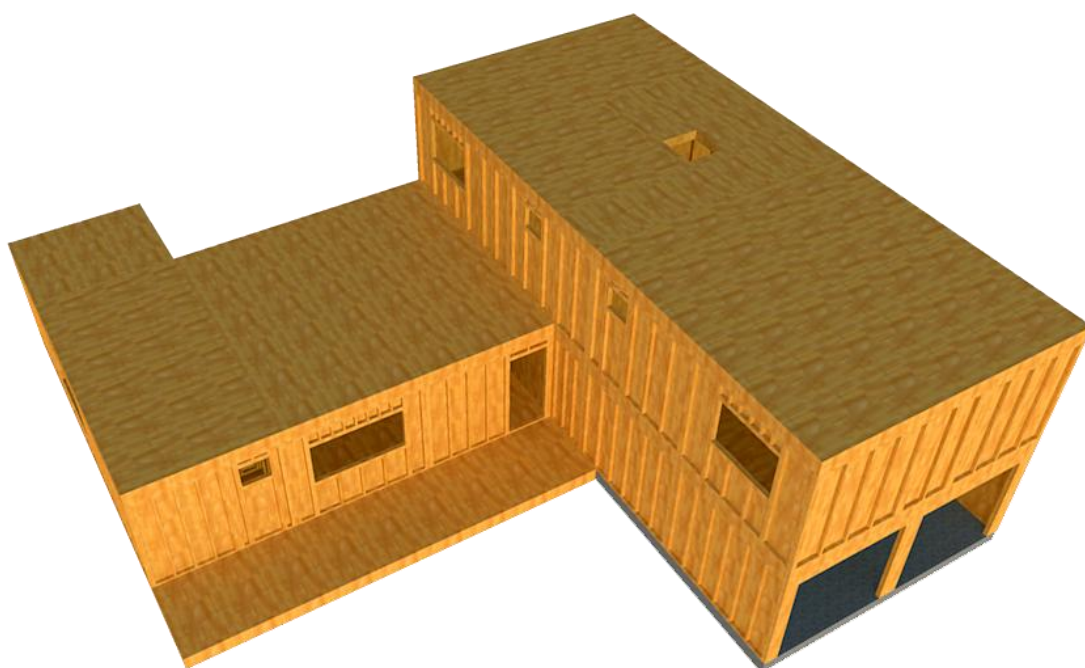


Figura 128: Etapa 5: Laje superior do 1º pavimento

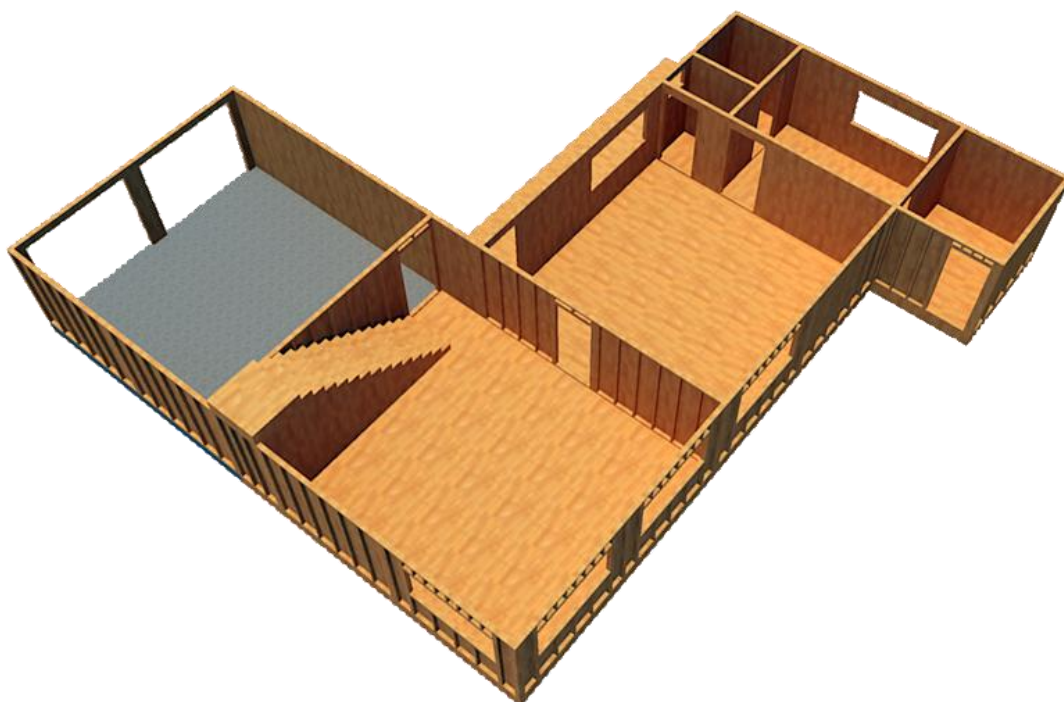


Figura 129: Disposição interna do pavimento térreo



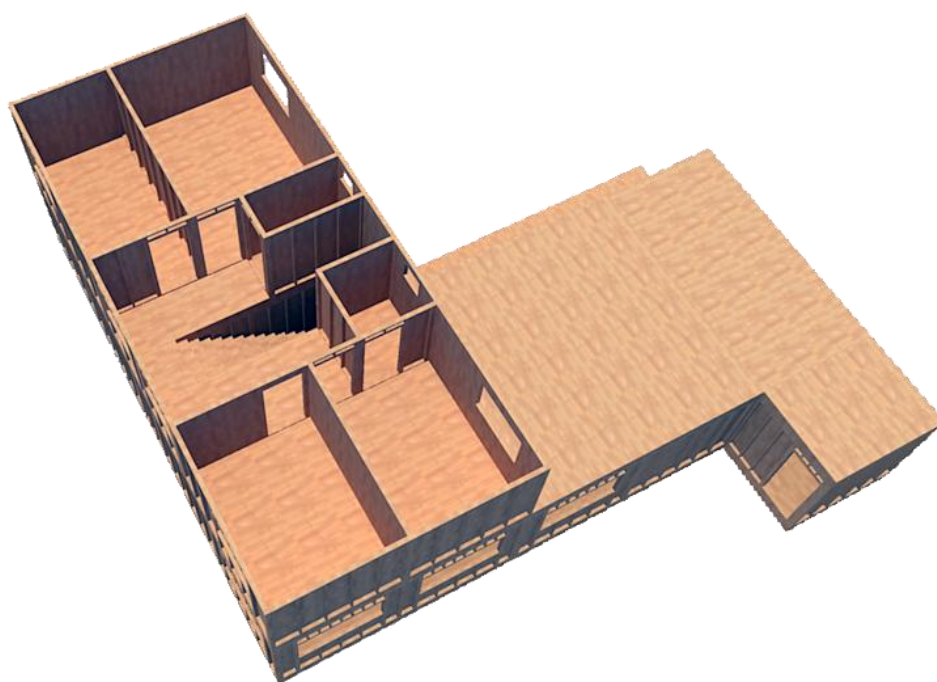


Figura 130: Disposição interna do 1º pavimento

## VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL

Para analisar estruturalmente a residência projetada, foi utilizado o mesmo software para analisar os módulos (STRAP). (imagem 131)

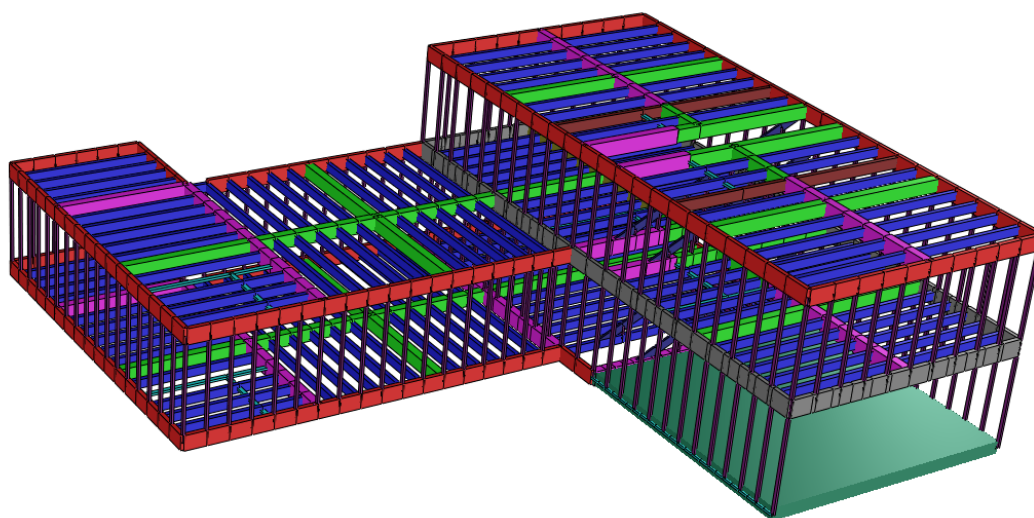


Figura 131: Imagem renderizada do modelo estrutural

No projeto, foram utilizados os módulos de parede classe 2 (espaçamento intermediário dos montantes) no pavimento inferior, e módulos de parede classe 1 (maior espaçamento entre os montantes) no pavimento superior. No caso dos módulos de piso, foi utilizado o módulo L 3.0x3.0 em quase toda a extensão das lajes, exceto na região da lavanderia, onde foi empregado um módulo L 2.4x3.0.

No modelo, foram representados todos os montantes com a dimensão padrão (5x8 cm), exceto onde há encontro de módulos, onde dois montantes são unidos lateralmente através de ligações, funcionando estruturalmente como uma seção de 10x8 cm. (figura 132)

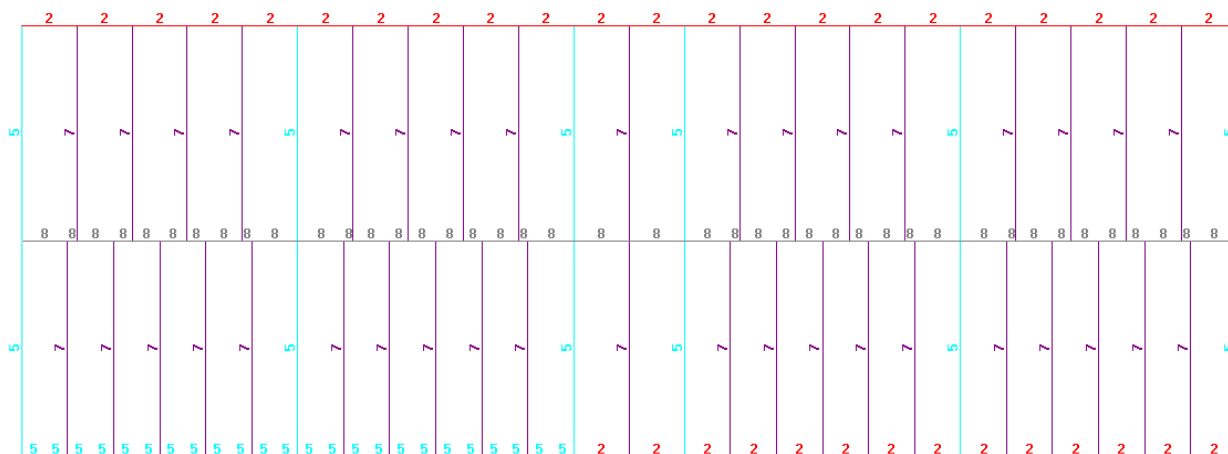


Figura 132: Elevação de parede

Já no caso dos pisos, as barras horizontais empregadas no modelo possuem geometrias distintas, pois obtém-se os seguintes casos:

- Barrote 10x20 cm isolado
- Dois barrotes 10x30 cm unidos lateralmente para fazer uma junção entre pisos (20x30 cm)
- Barrote 10x30 cm sobre uma barra horizontal de parede (10x35 cm)
- Barrote 10x20 sobre uma barra horizontal de parede (10x25 cm)
- Dois barrotes 10x30 unidos lateralmente sobre uma barra horizontal de parede (20x35 cm)
- Barrote 10x30 cm entre duas barras horizontais de parede, ou seja, entre a parede inferior e a parede superior (10x40 cm)
- Dois barrotes 10x30 cm unidos lateralmente, entre duas barras horizontais de parede, ou seja, entre a parede inferior e a parede superior (20x40 cm)

- Dois montantes 5x8 cm unidos lateralmente devido à junção dos módulos (10x8 cm)

Nos nós onde há encontro de módulos de piso, foi necessário inserir articulações de forma a não surgirem momentos fletores negativos onde há apoio de parede. Lembrando que os compensados de madeira foram considerados como isotrópicos.

Na área onde se encontra o estacionamento de veículos, foi modelada uma malha de elementos finitos com as propriedades do concreto (ortotrópico), apoiada sobre apoios elásticos, de coeficiente  $K_v = 15.000 \text{ kN/m}^3$ , para simular o efeito de uma laje de concreto apoiada sobre o terreno (figura 133, 134 e 135).

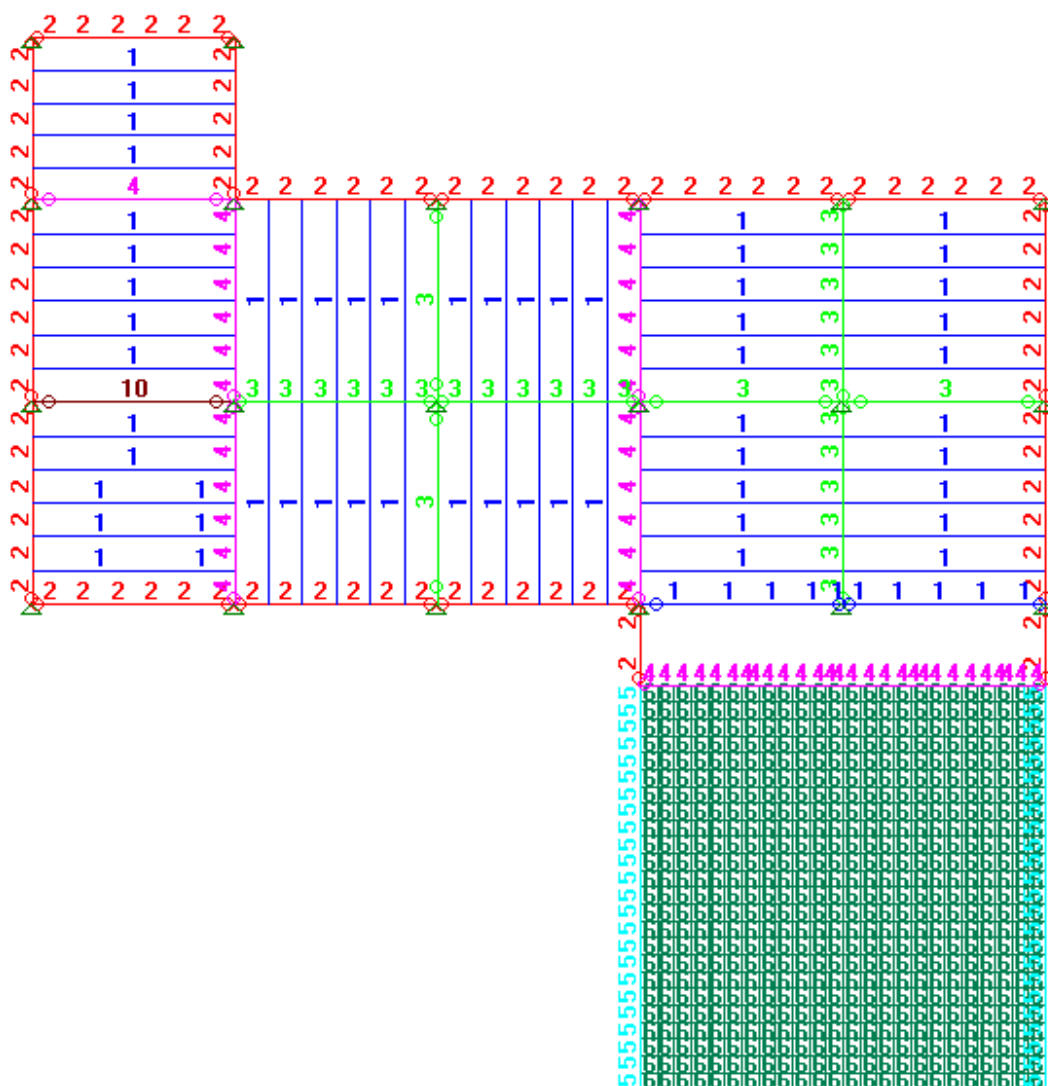


Figura 133: Planta inferior



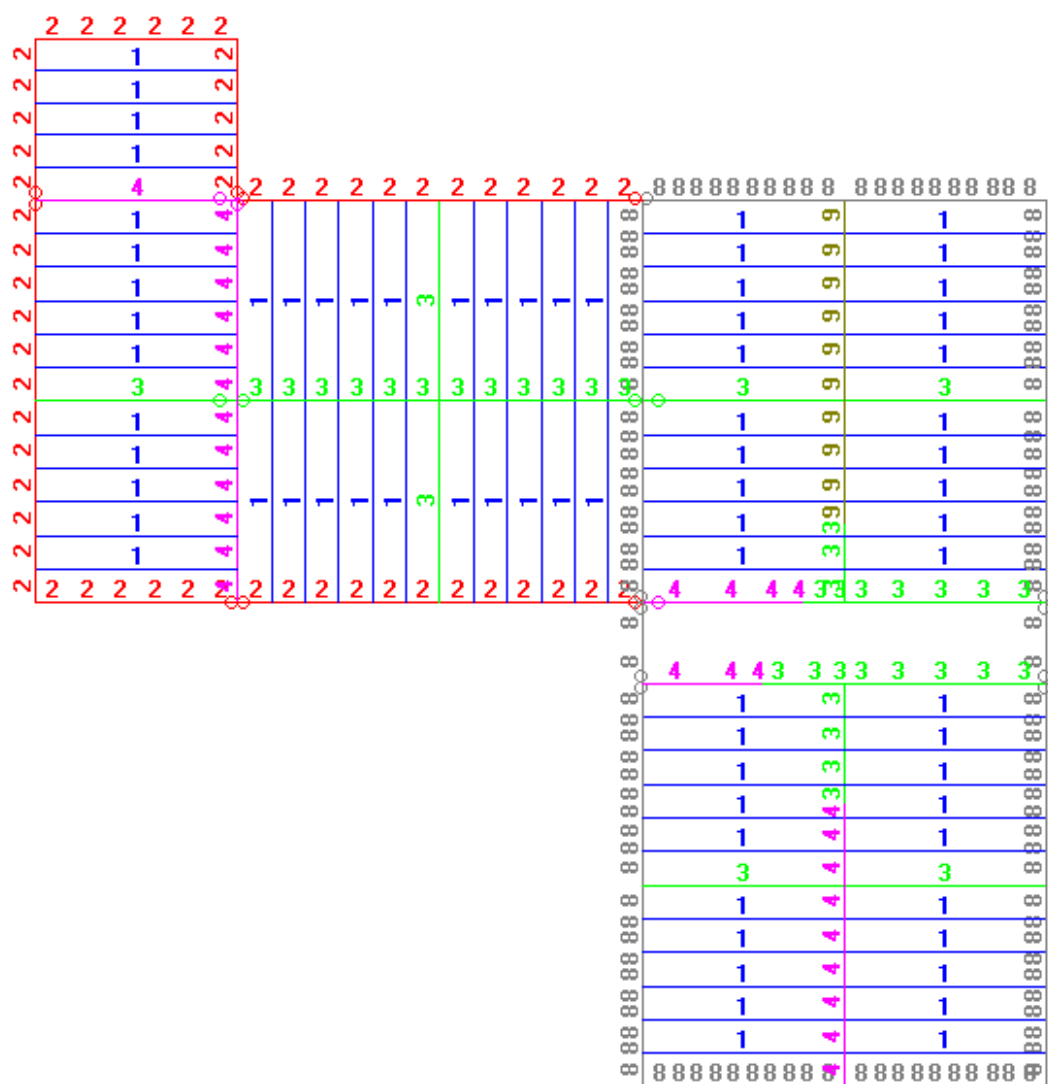


Figura 134: Planta superior

[illegible]

Figura 135: Planta de cobertura

Nas tabelas 37 a 39 encontram-se as saídas com a numeração das propriedades dos materiais. Os mesmos podem ser encontrados nas imagens das plantas e da elevação nas figuras 132 a 135.

Tabela 37 - Saída da propriedades dos materiais do STRAP

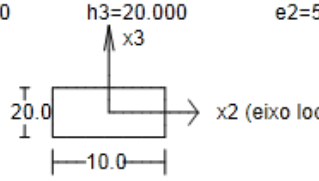
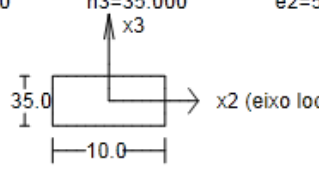
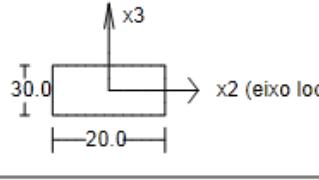
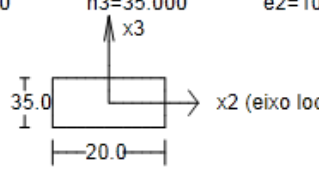
TABELA DE PROPRIEDADES (unidades - cm.)					
PROPRIEDADE N. 1					
A=0.2000E+03	I2=0.6667E+04	I3=0.1667E+04	J=0.4578E+04	SF2=0.850	SF3=0.850
Material = 1 - C-40	h2=10.000	h3=20.000	Perimetro=60.000	e2=5.000	e3=10.000
					
PROPRIEDADE N. 2					
A=0.3500E+03	I2=0.3573E+05	I3=0.2917E+04	J=0.9568E+04	SF2=0.850	SF3=0.850
Material = 1 - C-40	h2=10.000	h3=35.000	Perimetro=90.000	e2=5.000	e3=17.500
					
PROPRIEDADE N. 3					
A=0.6000E+03	I2=0.4500E+05	I3=0.2000E+05	J=0.4695E+05	SF2=0.850	SF3=0.850
Material = 1 - C-40	h2=20.000	h3=30.000	Perimetro=100.000	e2=10.000	e3=15.000
					
PROPRIEDADE N. 4					
A=0.7000E+03	I2=0.7146E+05	I3=0.2333E+05	J=0.6003E+05	SF2=0.850	SF3=0.850
Material = 1 - C-40	h2=20.000	h3=35.000	Perimetro=110.000	e2=10.000	e3=17.500
					

Tabela 38 - Saída da propriedades dos materiais do STRAP

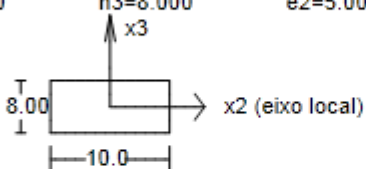
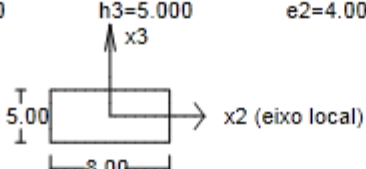
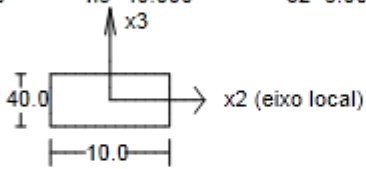
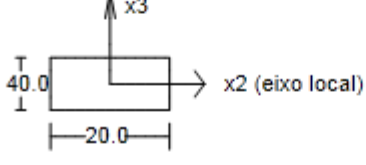
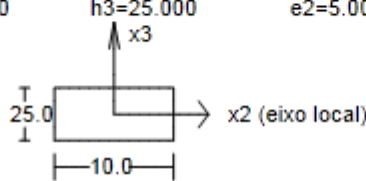
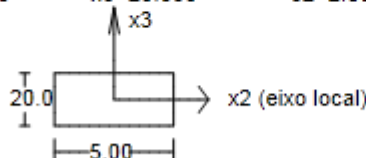
TABELA DE PROPRIEDADES (unidades - cm.)				
PROPRIEDADE N. 5				
A=0.8000E+02 Material = 1 - C-40 h2=10.000	I2=0.4267E+03 h3=8.000	I3=0.6667E+03 Perimetro=36.000 e2=5.000	J=0.8759E+03 e3=4.000	SF2=0.850 SF3=0.850
				
PROPRIEDADE N. 6				
Espessura = 30.000		SF3=0.000		
Material = 2 - C20				
PROPRIEDADE N. 7				
A=0.4000E+02 Material = 1 - C-40 h2=8.000	I2=0.8333E+02 h3=5.000	I3=0.2133E+03 Perimetro=26.000 e2=4.000	J=0.2038E+03 e3=2.500	SF2=0.850 SF3=0.850
				
PROPRIEDADE N. 8				
A=0.4000E+03 Material = 1 - C-40 h2=10.000	I2=0.5333E+05 h3=40.000	I3=0.3333E+04 Perimetro=100.000 e2=5.000	J=0.1123E+05 e3=20.000	SF2=0.850 SF3=0.850
				
PROPRIEDADE N. 9				
A=0.8000E+03 Material = 1 - C-40 h2=20.000	I2=0.1067E+06 h3=40.000	I3=0.2667E+05 Perimetro=120.000 e2=10.000	J=0.7324E+05 e3=20.000	SF2=0.850 SF3=0.850
				

Tabela 39 - Saída da propriedades dos materiais do STRAP

TABELA DE PROPRIEDADES (unidades - cm.)				
PROPRIEDADE N. 10				
A=0.2500E+03 Material = 1 - C-40 h2=10.000	I2=0.1302E+05 h3=25.000	I3=0.2083E+04 Perimetro=70.000 e2=5.000	J=0.6238E+04 e3=12.500	SF2=0.850 SF3=0.850
				
PROPRIEDADE N. 11				
A=0.1000E+03 Material = 1 - C-40 h2=5.000	I2=0.3333E+04 h3=20.000	I3=0.2083E+03 Perimetro=50.000 e2=2.500	J=0.7021E+03 e3=10.000	SF2=0.850 SF3=0.850
				

Os carregamentos aplicados no modelo foram o peso próprio da estrutura e uma carga variável de  $2 \text{ kN/m}^2$  aplicada verticalmente nas lajes. Na cobertura, onde será colocada a caixa d'água, foi acrescentada uma carga de  $10 \text{ kN/m}^2$  distribuída numa área de  $4\text{m}^2$ . Na garagem foi aplicada uma carga variável de  $3 \text{ kN/m}^2$ . (figuras 136 a 139)

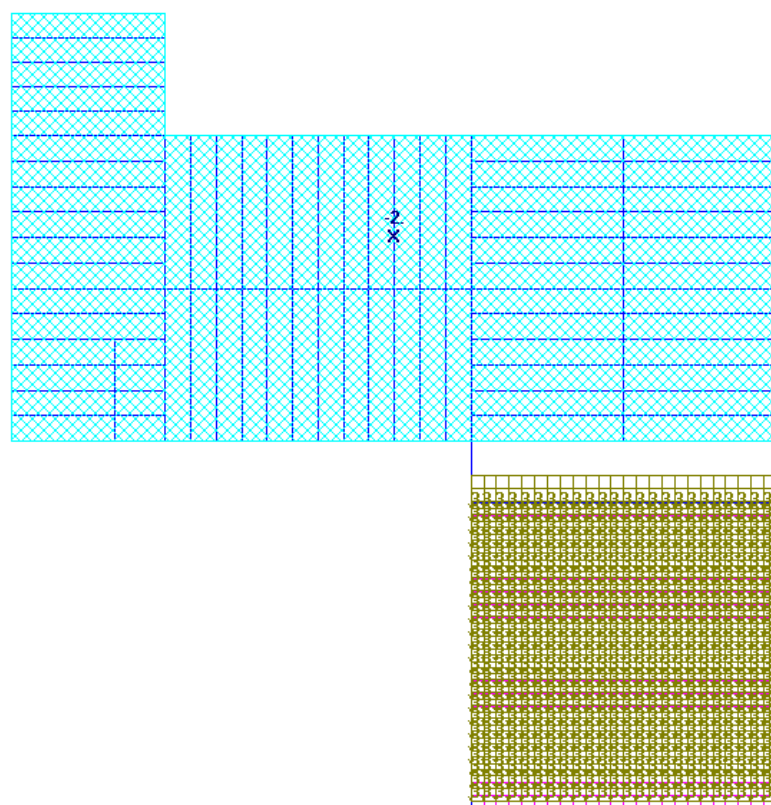


Figura 136: Cargas variáveis no piso inferior

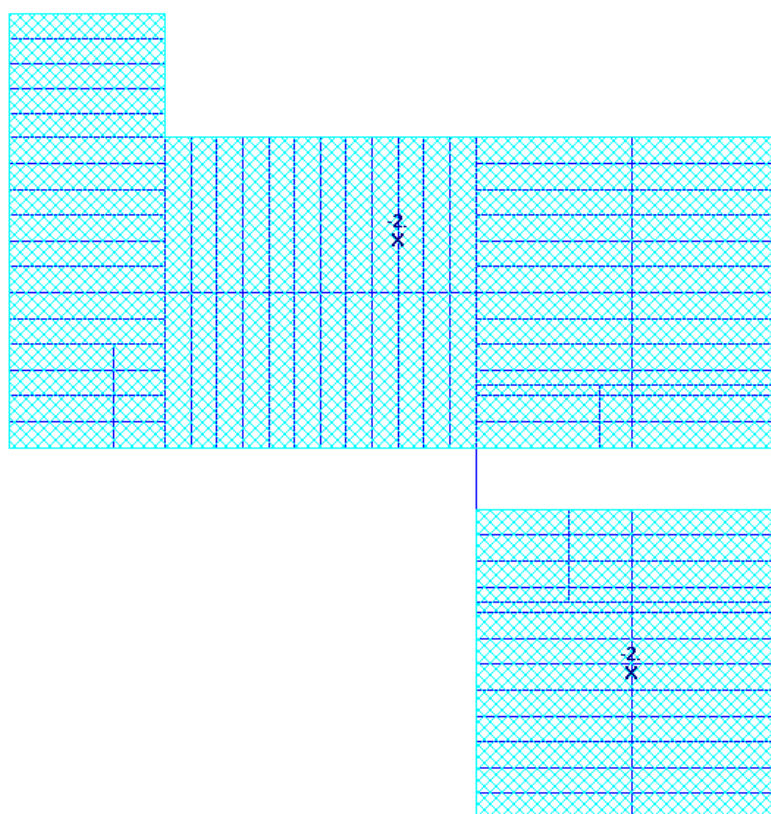


Figura 137: Cargas variáveis do piso superior

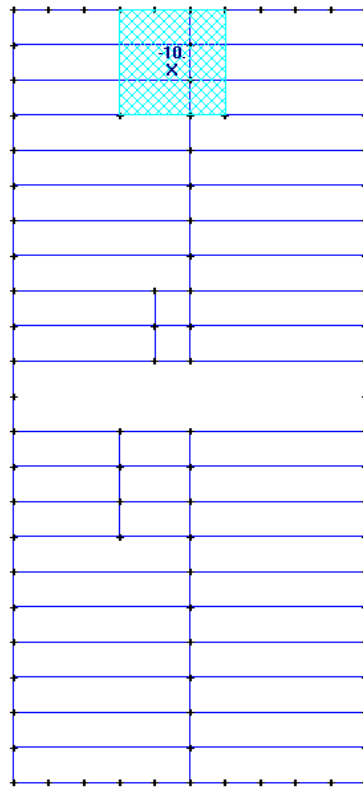


Figura 138: Carga permanente da caixa d'água

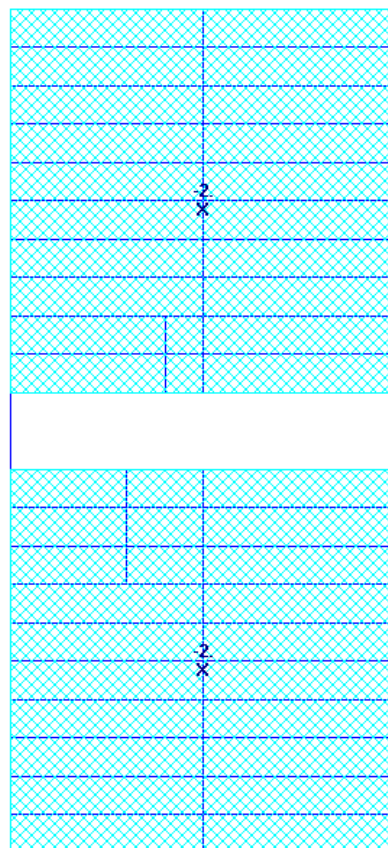


Figura 139: Carga variável da cobertura

Para serem verificados os esforços da estrutura de acordo com o Estado Limite Último, serão comparados os esforços solicitantes resultantes dos carregamentos de projeto com as tensões de projeto admissíveis de cada elemento, conforme foi detalhado no capítulo 10 deste trabalho. Foram aplicados os coeficientes de majoração para todas as cargas de 1,4. A tabela 40 apresenta o resumo das tensões admissíveis para cada barra (no caso das barras horizontais, elas serão identificadas de acordo com a propriedade do modelo, uma vez que existem diversas composições de geometria dependendo de sua posição relativa). Os resultados foram obtidos de acordo com o que já foi apresentado no capítulo 9.

Tabela 40: Máximas solicitações admissíveis por propriedade

<b>Propriedade do Modelo</b>	<b>Elemento</b>	<b>N<sub>d,adm</sub> (kN)</b>	<b>M<sub>d,adm</sub> (kNm)</b>	<b>V<sub>d,adm</sub> (kN)</b>
1	Barra horizontal 10x20	-	7,4	21,1
2	Barra horizontal 10x35	-	26,4	36,8
3	Barra horizontal 20x30	-	33,2	63,2
4	Barra horizontal 20x35	-	52,8	73,7
5	Barra vertical 10x8	33,6	-	-
6	PROPRIEDADE DE ELEMENTO DE PLACA DE CONCRETO			
7	Barra vertical 5x8 cm	16,7	-	-
8	Barra horizontal 10x40	-	39,4	42,1
9	Barra horizontal 20x40	-	78,8	84,2
10	Barra horizontal 10x25	-	14,4	26,3

Para o carregamento indicado, foi possível obter os diagramas de esforços solicitantes apresentados nas figuras 140 a 146.



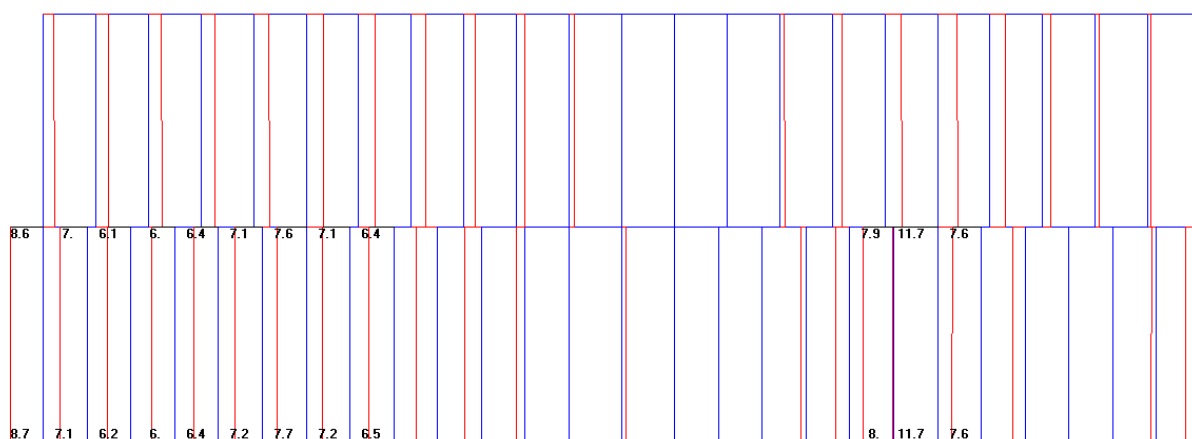


Figura 140: Diagrama de forças normais – Fachada lateral

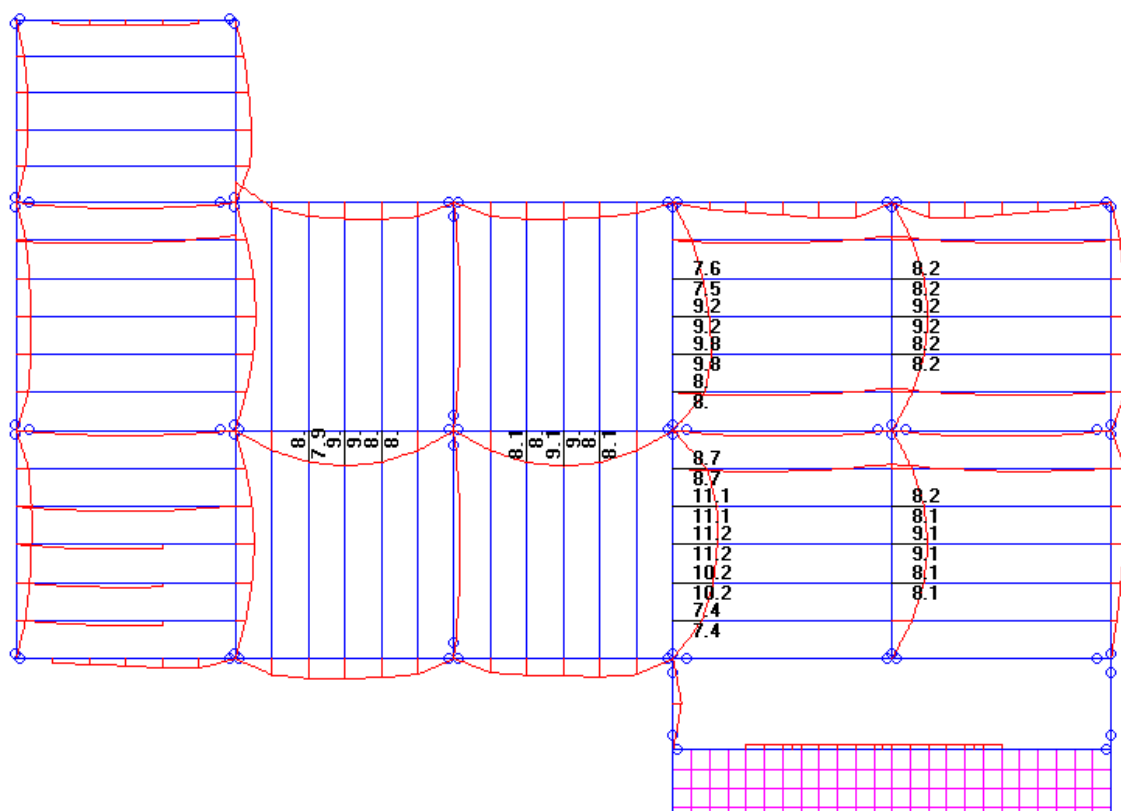


Figura 141: Diagrama de momento fletor - Planta inferior

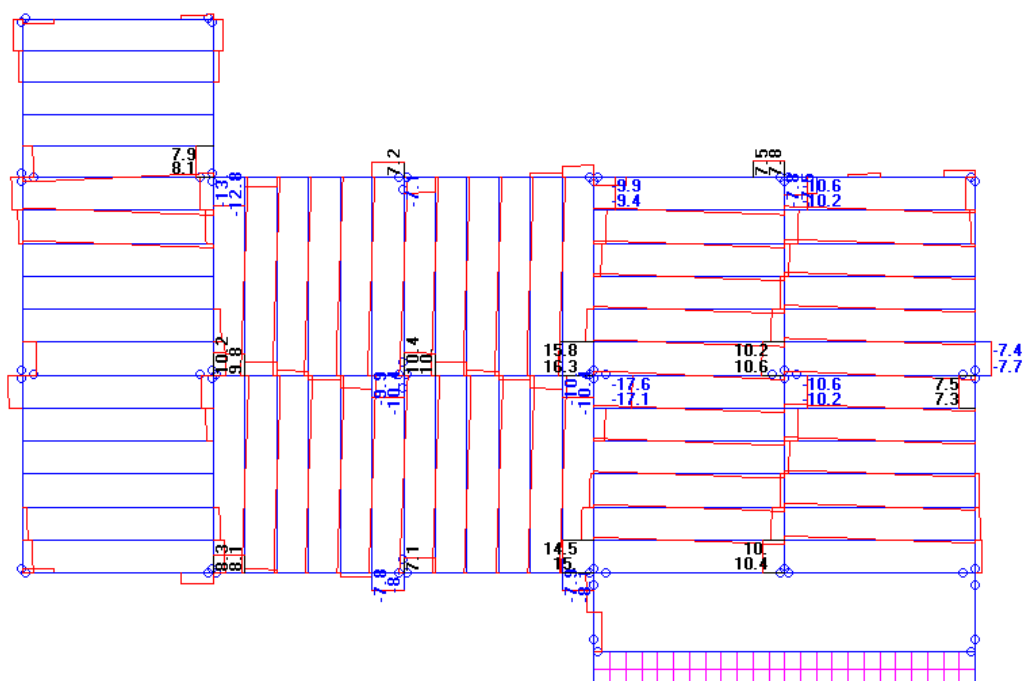


Figura 142: Diagrama de força cortante - Planta inferior

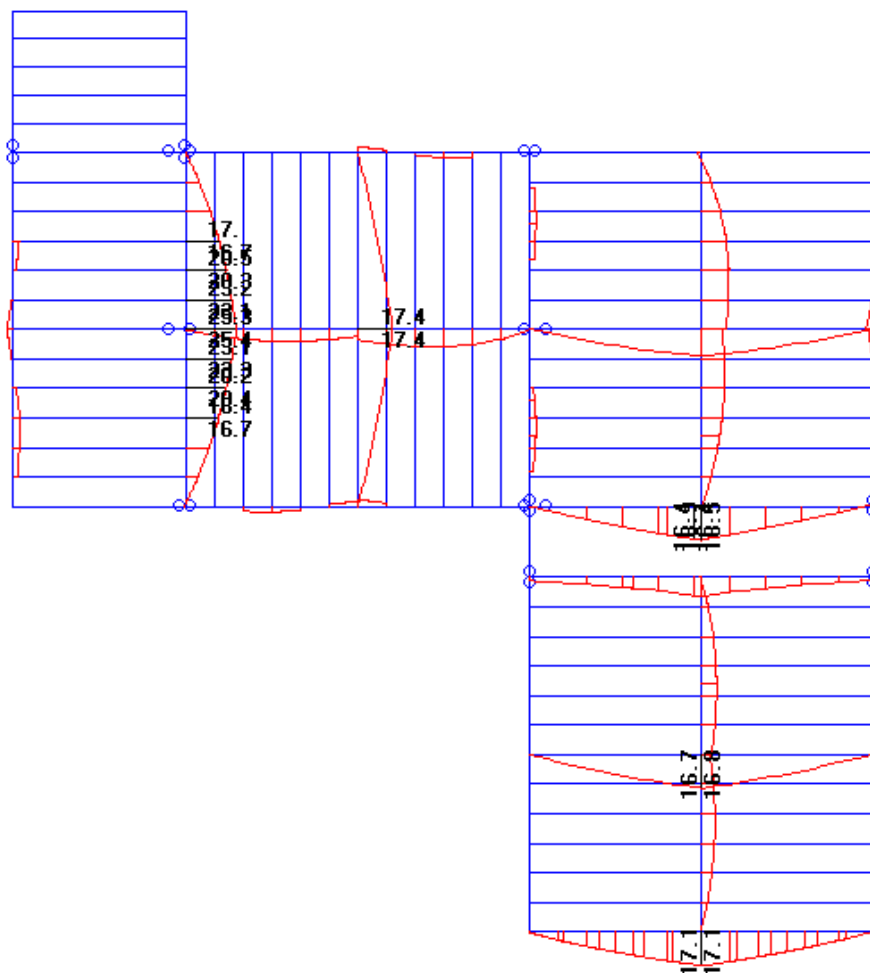


Figura 143: Diagrama de momento fletor - Planta superior

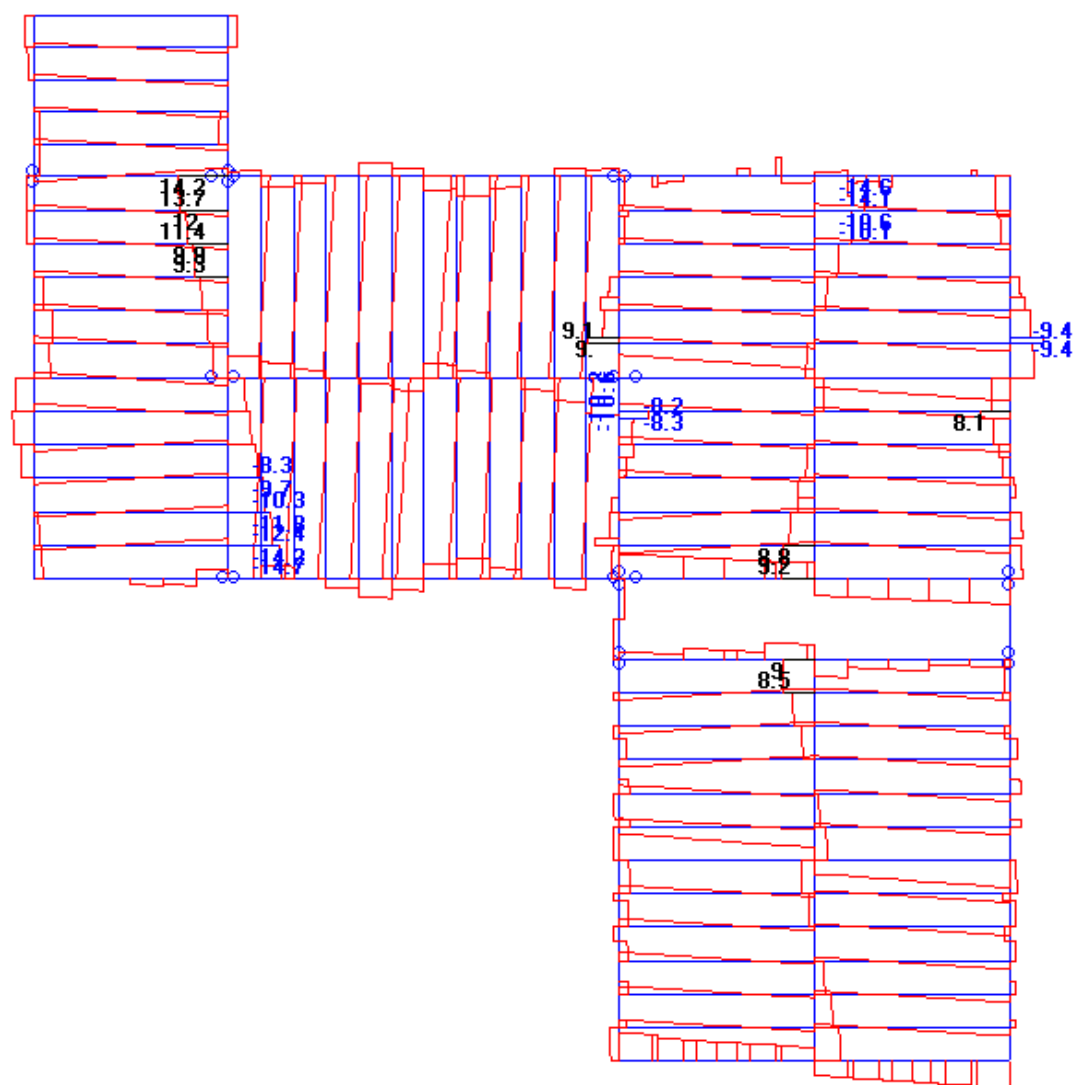


Figura 144: Diagrama de força cortante - Planta superior

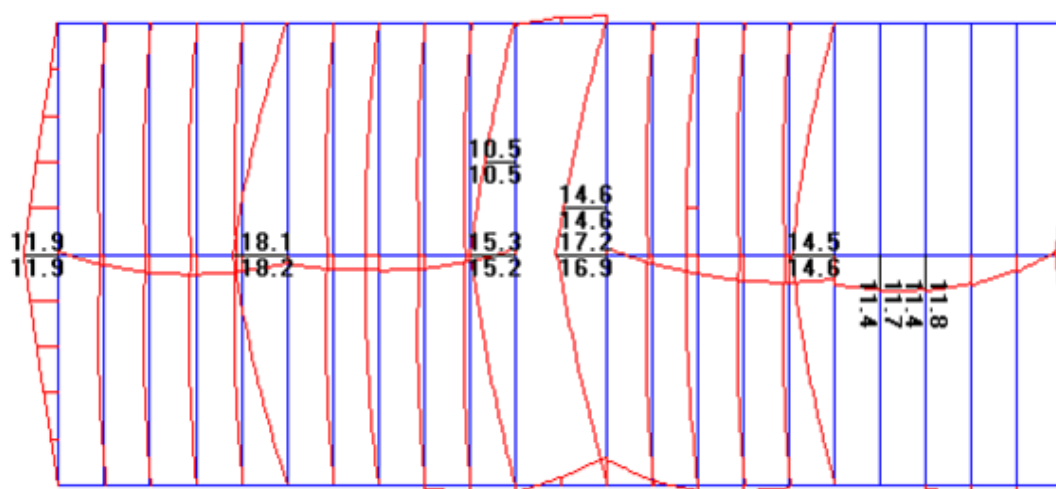


Figura 145: Diagrama de momento fletor – Cobertura

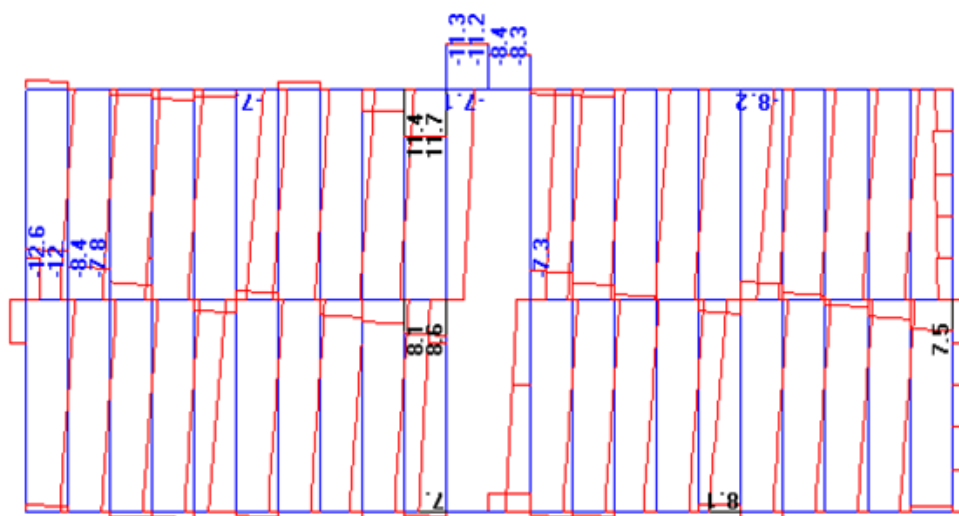


Figura 146: Diagrama de cortante – Cobertura

Para efeito de verificação, foi elaborada uma tabela resumo (tabela 41) com as máximas tensões que acontecem em cada uma das propriedades de barra, que poderão ser comparadas com a tabela de máximas solicitações admissíveis.

Tabela 41: Comparação dos resultados máximos com os esforços admissíveis

Propriedade do Modelo	Elemento	Nd,máx (kN)	Nd,adm (kN)	Md,máx (kN)	Md,adm (kNm)	Vd,máx (kN)	Vd,adm (kN)
1	Barra horizontal 10x20	-	-	2,3	7,4	2,5	21,1
2	Barra horizontal 10x35	-	-	11,9	26,4	13	36,8
3	Barra horizontal 20x30	-	-	18,2	33,2	10,6	63,2
4	Barra horizontal 20x35	-	-	25,4	52,8	17,6	73,7
5	Barra vertical 10x8	23,8	33,6	-	-	-	-
6	PROPRIEDADE DE ELEMENTO DE PLACA DE CONCRETO						
7	Barra vertical 5x8 cm	10,7	16,7	-	-	-	-
8	Barra horizontal 10x40	-	-	17,1	39,4	9,4	42,1
9	Barra horizontal 20x40	-	-	13,7	78,8	14,6	84,2
10	Barra horizontal 10x25	-	-	4,3	14,4	3,3	26,3

Como já era esperado, todos esforços atuantes na estrutura decorrentes dos carregamentos de projetos são admissíveis quando comparados com as cargas máximas obtidas pelo Estado Limite Último.

Um ponto importante a ser ressaltado nesse momento é o fato de todas as resistências obtidas estarem em função das piores condições de projeto, ou seja, todas as variáveis que tratam da qualidade do material, da umidade do ambiente, das imprecisões construtivas, foram selecionadas a favor da segurança. Portanto, é possível afirmar que existe uma grande probabilidade de que as resistências são maiores que as calculadas.

## 11. CONCLUSÃO

Mais do que um instrumento que facilita a coordenação entre projeto e sua execução, a modulação elimina adaptações locais, minimiza perdas de materiais, aumenta a produtividade e, em consequência, traz ganhos financeiros tangíveis.

As análises estruturais mostraram que a madeira pode ser um ótimo material substituto ao concreto, aço ou alvenaria estrutural para edifícios de poucos pavimentos. Vale lembrar que a análise estrutural foi realizada com bastante segurança, utilizando-se das maiores cargas possíveis nos piores casos de minoração de resistências. O  $k_{mod}$ , por exemplo, reduziu a 38,4% da resistência da madeira classe C40, sendo que, por exemplo, estudos de PONCE (1997) mostram que, com um bom manejo florestal e seleção genética, espécies de eucaliptos, também coníferas, podem chegar à classe C60 ( $f_{c0,k}=60$  MPa) facilmente, com algumas amostras chegando próximas a 80 MPa de resistência à compressão característica, sendo que não existe classe maior do que a C60.

Deve-se ressaltar que: para o desenvolvimento de módulos estruturais para o uso na construção civil é imprescindível a realização de protótipos para verificar o comportamento real da estrutura.

## 12. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, Pedro Afonso de Oliveira. **Madeira como material estrutural**. Apostila da disciplina PEF2402, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

AMERICAN WOOD COUNCIL. **Details for conventional wood frame construction**, Leesburg, Virgínia, EUA, 2001.

\_\_\_\_\_. **Wood structural panel awareness guide**, Leesburg, Virgínia, EUA, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projetos de Estrutura de Madeira**, Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e Projeto**, Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico**, Rio de Janeiro, 2000.

BRASILIT. Disponível em <[www.brasilit.com.br](http://www.brasilit.com.br)>. acesso em 17/11/2013.

CALIL MADEIRAS. **Madeira Laminada Colada**, Disponível em <<http://madeiralaminadacolada.com/>>. Acesso em 13/03/12.

CALIL JR., Carlito et al. **Estruturas de madeira (notas de aula)**, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

CANADA WOOD-FRAME HOUSE CONSTRUCTION. **Mortgage and housing corporation**, Ottawa, Canadá, 1998.

CARPINTERÍA ESTRUCTURAS DE MADEIRA. **Ligações em estrutura de madeira**, Disponível em: <<http://estruturasdemadeira.blogspot.com.br/>>. Acesso em 03/07/2013

CENTRO DE TRANSFERÊNCIA TECNOLÓGICA DE LA MADERA. **La construcción de viviendas em madera**, Santiago, Chile, 2007

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCE OF MEMORIAL UNIVERSITY OF NEWFOUNDLAND. **Materials of construction**, Slides de aula da disciplina ENGI3731, Newfoundland, Canadá, 2012

FIGUEROA, Manuel Jesús Manriquez. MORAES, Poliana Dias de. **Comportamento da Madeira a Temperaturas Elevadas**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, out/dez 2009.

FROTA, Anésia Barros. SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIGLIO, Thalita Gorban Ferreira. **Avaliação do Desempenho Térmico de Painéis de Vedação em Madeira Para o Clima de Londrina – PR**. Tese (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, 2005.

GLOBAL WOOD. **Compensados e Madeiras**, Disponível em <[www.globalwood.com.br](http://www.globalwood.com.br)>. Acesso em 26/10/2013

GUIA DA CONSTRUÇÃO, **Wood Frame Popular**, n. 146, p 16-21, set 2013. Editora Pini, São Paulo.

ISAIA, Geraldo Cechella et al. **Materiais de Construção Civil e Princípios De Ciência e Engenharia de Materiais**, v.2. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2007.

LANÇA, Pedro. **Acústica de Edifícios**. Slides de aula da disciplina Física dos Edifícios, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Beja, Beja, Portugal, 2012.

LP BRASIL, **Steel Frame e OSB**, Disponível em <[www.lpbrasil.com.br](http://www.lpbrasil.com.br)>. Acesso em 08/09/2013.

MACEDO, Mariano de Matos. **Condições sociais e competitividade**. Revista Economia, v. 26, n. 24, p. 27-45, UFPR, Curitiba, 2000

NUTAU – Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. **Construção em madeira – Sistema Plataforma**. Disponível em <[www.usp.br/nutau/madeira/paginas/introducao/introducao.htm](http://www.usp.br/nutau/madeira/paginas/introducao/introducao.htm)> Acesso em 01/06/2013.

PALMA, Hernando Alfonso Lara. **Determinação de propriedades elásticas e de resistência em compensados de Pinus Elliotti**. Revista Scientia Florestalis. Piracicaba, n. 51, p. 37-48, jun 1997.

PIRONDI, Zeno. **Manual Prático da Impermeabilização e de Isolação Térmica**. 2ª ed. São Paulo: Editora PINI, 1988.

PONCE, Reinaldo Herrera. **O Potencial da Madeira de Florestas de Eucalipto Para a Construção de Edificações**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

ROCHA, Janaíde Cavalcante. **Materiais de Construção**. Apostila da disciplina ECV5330, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOUZA, Ana Lúcia Rocha de. BARROS, Mércia Maria Bottura. MELHADO, Sílvio Burratino. **Projeto e Inovação Tecnológica na Construção de Edifícios: Implantação no Processo Tradicional e em Processos Inovadores**. Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SZÜCS, Carlos Alberto et al. **Estruturas de Madeira**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.



U.S. DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN DEVELOPMENT.  
**Design Wood Framing – Chapter 5.** Residential Structural Design Guide,  
Washington DC, EUA.

\_\_\_\_\_. **Design Wood Framing – Chapter 6.** Residential Structural Design  
Guide, Washington DC, EUA.

WALTER, Pfeil. WALTER, Michèle. **Estruturas de Madeira –  
Dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7180/1997 e critérios de  
normas norte-americanas NDS e europeia EUROCODE 5**, 6ª ed. Rio de Janeiro:  
LTC, 2013.

WERZALIT, **Beständing. Schön.**, Disponível em <[www.werzalit.de](http://www.werzalit.de)>.  
Acesso em 08/09/2013.