

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – BACHARELADO**

**JOSÉ GUSTAVO WARMLING**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE UMA HABITAÇÃO  
MODULAR EM CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) EM BIM**

**FLORIANÓPOLIS, 2022.**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - BACHARELADO**

**JOSÉ GUSTAVO WARMLING**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE UMA HABITAÇÃO  
MODULAR EM CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) EM BIM**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Luciana da Rosa Espindola, Doutora.

Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Ana Ligia Papst de Abreu, Doutora.

**FLORIANÓPOLIS, 2022.**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Warmling, José Gustavo  
Desenvolvimento de um projeto de uma habitação modular  
em Cross Laminated Timber (CLT) em BIM / José Gustavo Warmling;  
orientação de Luciana Da Rosa Espindola;  
coorientação de Ana Lígia Papst de Abreu. - Florianópolis,  
SC, 2022.

118 p.  
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado  
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico  
de Construção Civil.  
Inclui Referências.

1. Módulos de Madeira. 2. CLT. 3. Madeira Engenheirada.  
4. Construção Modular. 5. Building Information  
Modeling (BIM). I. Da Rosa Espindola, Luciana . II. Papst  
de Abreu, Ana Lígia. III. Instituto Federal de  
Santa Catarina. IV. Desenvolvimento de um projeto de uma  
habitação modular em Cross Laminated Timber (CLT) em

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE UMA HABITAÇÃO MODULAR EM  
CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) EM BIM**

**JOSÉ GUSTAVO WARMLING**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 23 de março, 2022.

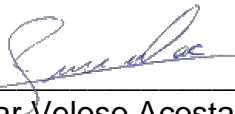
Banca Examinadora:

---

Luciana Da Rosa Espindola, Doutora

---

Ana Ligia Papst De Abreu, Doutora  
IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina



---

Caio César Veloso Acosta, Mestre  
IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina

---

Felipe Góes, Engenheiro Civil  
Felipe Góes - Consultoria Em AEC

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por poder concluir esta graduação mesmo com os obstáculos encontrados no meio do caminho.

Aos meus pais, José Lino Warmling e Leonice Kirchner Warmling, pelos valores transmitidos, por me ensinarem a ter determinação, integridade, força de vontade e a trabalhar duro por meus sonhos, sem o amor deles nada seria. Ao meu irmão Diego Luiz Warmling e a minha prima Alice Assing que me mostraram a importância de estudar e por cuidarem de mim. A Ana Beatriz de Souza por me acompanhar durante a graduação e por me incentivar em não desistir.

Aos professores que estiveram comigo no decorrer do curso, transmitindo seus conhecimentos e nos incentivando a evoluir de forma profissional e humana. De modo especial agradeço as Professoras Doutoras Luciana Da Rosa Espindola e Ana Ligia Papst De Abreu, minha orientadora e co-orientadora respectivamente, que me apoiaram tecnicamente e psicologicamente, além de me conduzirem no decorrer deste trabalho.

As amigadas que desenvolvi durante o período em que estive no IFSC, por muito tempo foi minha segunda casa, e que tornaram esta estadia mais divertida.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina, por proporcionar um ensino de qualidade, profissional, tecnológico e humano que me enriqueceram durante o tempo que estive na Instituição. Também agradeço as empresas onde pude estagiar, possibilitando aplicar os conhecimentos adquiridos no decorrer do curso e me aperfeiçoou profissionalmente.

*“A esperança tem duas filhas lindas,  
a indignação e a coragem; a indignação  
nos ensina a não aceitar as coisas  
como estão; a coragem, a mudá-las.”*

**Santo Agostinho**

## RESUMO

O cenário mundial para a construção civil ainda é desafiador devido sua baixa eficiência e produtividade quando comparadas com outros ramos industriais do setor secundário. No Brasil, a maioria das construções utiliza técnicas pouco industrializadas e com elevado custo ambiental. Contudo, a Indústria 4.0, possibilitada pelo avanço tecnológico, permite obras mais rápidas e eficientes com elementos manufaturados na sua produção, como ocorre com o sistema de construção modular. Quando a madeira engenheirada é aliada à construção modular, o ato de construir torna-se mais sustentável, com maior autonomia e/ou automatização, possibilitando a utilização de equipamentos com CNC (Controle Numérico Computadorizado), permitindo formas arquitetônicas difíceis de serem feitas manualmente ou com outros materiais. Entretanto, a madeira geralmente é vista com desconfiança pelos brasileiros, que a inferiorizam por conta dos possíveis ataques biológicos e sua fragilidade ao fogo, resultado da desinformação quanto ao material, inclusive entre o meio técnico através de projetos mal elaborados ou mal detalhados.

Este trabalho se justifica pela necessidade de quebrar os preconceitos relacionados à madeira através da utilização técnica da madeira engenheirada e pela carência de informação sobre *softwares* BIM (*Building Information Modeling*) que possibilitam a modelagem detalhada dos elementos em madeira engenheirada, sendo o foco deste trabalho o sistema *Cross Laminated Timber* (CLT), também denominado Madeira Lamelada Cruzada (MLLC) recentemente introduzido no Brasil.

Para demonstrar a aplicação desta técnica, tem-se como objetivo, desenvolver o projeto de uma habitação modular em CLT com ferramentas BIM. Para isso, um levantamento bibliográfico foi elaborado sobre os critérios para se projetar utilizando a construção modular e o sistema CLT em normas, livros e monografias.

**Palavras-chave:** Módulos de Madeira. *Cross Laminated Timber* (CLT). Madeira Engenheirada. Construção Modular. *Building Information Modeling* (BIM).

## ABSTRACT

The World scenery for construction is challenging because its lower efficiency and productivity others than industrial branches of the secondary sector. In Brazil, the majority constructions have used few industrial techniques and has higher environmental cost. However, with technological progress, the industry 4.0 allows faster and more efficient constructions using manufactured elements, how occurs with modular construction system.

When engineered timber is combined with modular construction, the build act becomes more sustainable, with more autonomy and more automation, allowing the use of CNC (Computer Numerical Control) equipment. These machines can make architectural forms that are difficult to make manually. But, the wood is view with distrust by Brazilians, they make it inferior because its possibility of biological attacks and fragility to fire, result of misinformation about the material. This misinformation includes the technical body, through poorly designed or poorly detailed projects.

Therefore, this final paper has justification in need to break with this preconception involving the wood through the use of engineered timber. Also it is Justified because of the few information involving softwares BIM (Building Information Modeling) and engeneered timber. This work has focused on Cross Laminated Timber (CLT) system, which was recently introduced in Brazil.

For demonstrate this technique, this final paper has how objective develop a modular housing project using CLT system and BIM tools. So that could happen, it was made a bibliographic revision, through books, technical standards and monographs, about criterion to design using modular construction and CLT system.

**Key-words:** Timber Modules. Cross Laminated Timber (CLT). Engineered Timber. Modular Construction. Building Information Modeling (BIM).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Categorias principais da construção industrializada.....	22
Figura 2 – Subcategorias de sistemas industrializados.....	23
Figura 3 - Elementos da construção em Kits.....	24
Figura 4 - Transporte e montagem de elementos panelizados .....	24
Figura 5 - Construção modular volumétrica.....	25
Figura 6 - Locação dos módulos volumétricos no canteiro .....	25
Figura 7 - Módulos em aço da Brasil ao Cubo: Edifício Level .....	26
Figura 8 – Construção modular da empresa Crosslam: Minimod Curucaca .....	26
Figura 9 - Transporte de módulo em madeira engenheirada .....	27
Figura 10 - Processo de Montagem das Placas CLT .....	30
Figura 11 - Peça de CLT Finalizada.....	30
Figura 12 - Peça Típica de MLC.....	30
Figura 13 - Seção Típica da Madeira Lamelada Colada .....	30
Figura 14 - Peça em DLT Finalizada .....	31
Figura 15 - Viga de LVL .....	31
Figura 16 - Peça em LSL Finalizada .....	31
Figura 17 - Seção Típica de Madeira Lamelada Pregada .....	32
Figura 18- Peça em NLT Finalizada.....	32
Figura 19 - Peça em PSL Finalizada.....	32
Figura 20 - Estrutura das Camadas Folhosas do MPP .....	33
Figura 21 - Diagrama do Processo Construtivo de CLT.....	34
Figura 22 - Diagrama de Fabricação do Painel CLT .....	36
Figura 23 - Distribuição dos Elementos da Edificação em Painel .....	36
Figura 24 – Emenda dentada ( <i>Finger Joints</i> ).....	37
Figura 25 - Posicionamento das Lamelas .....	38
Figura 26 - Aplicação do Adesivo Estrutural .....	38
Figura 27 - Diagrama de Montagem do Painel CLT .....	40
Figura 28 – Transporte dos Painéis sem Transferência do Veículo Transportador...	41
Figura 29 - Transporte dos Painéis com Transferência do Veículo Transportador ...	42
Figura 30 - Conjunto de Detalhes Para Conexões de Painéis com Fundações .....	44
Figura 31 - Conjunto de Detalhes Para Painéis Perpendiculares.....	45
Figura 32 – Conjunto de Detalhes Para Painéis Alinhados.....	46
Figura 33 - Conjunto de Detalhes Para Painéis Inclinação .....	47
Figura 34 - Conjunto de Detalhes Para Conexão de Paredes com Telhados .....	47
Figura 35 - Conjunto de Detalhes Para Conexão de Paredes com Lajes .....	47
Figura 36 - Exemplo de Revestimento Não Aderido Para Fachadas Externas .....	50
Figura 37 - Impermeabilização das Lajes e CLT .....	50
Figura 38 - Fundamentos do BIM.....	52
Figura 39 - Fundamentos do BIM.....	53
Figura 40 - Níveis de Maturidade BIM.....	53
Figura 41 - Níveis de Maturidade BIM.....	54

Figura 42 - <i>Level Of Developmente</i> .....	57
Figura 43 - Fluxo Metodológico .....	61
Figura 44 - Projeto Modelo .....	62
Figura 45 - Fluxo de projeto em CLT.....	68
Figura 46 - Diagrama de interação dos Ambientes .....	70
Figura 47 - Esquema de Interação dos Ambientes .....	70
Figura 48 – Planta Baixa Modelo 1 .....	71
Figura 49 - Planta Baixa Modelo 2 .....	72
Figura 50 - Planta Baixa Modelo Final .....	73
Figura 51 - Proposta de Layout.....	74
Figura 52 - Dimensões dos Módulos.....	75
Figura 53 - Carregamento das Lajes.....	76
Figura 54 - Distribuição das Cargas Para as Paredes .....	78
Figura 55 - Espessura Padrão das Placas CLT .....	81
Figura 56 - Modelo 3D do Padrão das Placas CLT Utilizadas.....	81
Figura 57 - Criação de Família - Abertura .....	82
Figura 58 - Acesso as Ferramentas de Criação de Formas.....	83
Figura 59 - Exemplo do Ambiente de Criação de Forma - Ambiente de Extrusão ....	83
Figura 60 - Criação dos Parâmetros .....	84
Figura 61 - Criação de Parâmetros Compartilhado .....	85
Figura 62 - Criação de Parâmetros de Visibilidade e Material .....	85
Figura 63 - Criação de Parâmetros de Repetição das Lamelas .....	86
Figura 64 - Diferenças dos tipos de <i>Array</i> .....	87
Figura 65 - Diagrama de Criação da Família do Painel CLT .....	87
Figura 66 - Família do Painel CLT.....	89
Figura 67 - Família de Corte - Esquadrias .....	90
Figura 68 - Família do <i>Steelfoot</i> .....	91
Figura 69 - Família de Conexão dos Painéis Paralelos.....	91
Figura 70 – Níveis de Projeto, Eixos de Projeto e Vistas de Elevação.....	92
Figura 71 - Inserindo o <i>Steelfoot</i> .....	93
Figura 72 - <i>Stellfoot</i> - Perspectiva 3D.....	93
Figura 73 - Inserindo o Painel CLT de Piso.....	94
Figura 74 - Alteração do Plano de Trabalho.....	94
Figura 75 - Placas CLT - Perspectiva 3D .....	95
Figura 76 - Placa dos eixos "B" e "D" .....	95
Figura 77 - Camadas das Fachadas Externas .....	96
Figura 78 - Inserindo os Cortes Nos Painéis CLT .....	96
Figura 79 - Corte nos Painéis - Perspectiva 3D .....	97
Figura 80 - Inserindo as Conexões .....	97
Figura 81 - Conexão dos Painéis Paralelos - Perspectiva 3D.....	98
Figura 82 - Perspectiva 3D do Modelo Completo.....	99
Figura 83 - Perspectiva Volumétrica com Revestimento Explodidos .....	99
Figura 84 - Perspectivas 3D da Estrutura em CLT.....	100

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais Madeiras Engenheiradas e Suas Aplicações.....	30
Quadro 2 - Objetivos, Atividades, Ferramentas e Resultados.....	63
Quadro 3 - Mobiliário Mínimo .....	64
Quadro 4 - Dimensões Mínima do Mobiliário .....	65
Quadro 5 - Programa de Necessidades .....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Carregamento das Lajes .....	77
Tabela 2 - Pré-Dimensionamento das Lajes .....	77
Tabela 3 - Transferência de Carga da Laje Paras Paredes .....	79
Tabela 4 - Carregamento Parede.....	80
Tabela 5 - Pré-Dimensionamento da Parede .....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	- Agência Brasileira De Desenvolvimento Industrial
ABNT	- Associação Brasileira De Normas Técnicas
AIA	- American Institute Architects
BIM	- Building Information Modeling
CDE	- Common Data Environment
CLT	- Cross Laminated Timber
CNC	- Controle Numérico Computadorizado
COBie	- Construction Operations Building Information Exchange
CTE	- Centro De Tecnologia De Edificações
DLT	- Dowel Laminated Timber
EVA	- Etileno Acetato De Vinila
EPDM	- Ethylene Propylene Diene Methylene Rubber
GLULAM	- Glue Laminated Timber
IFC	- Industry Foundation Classes
LOD	- Level Of Development
LSL	- Laminated Strand Lumber
LVL	- Laminated Veneer Lumber
MLC	- Madeira Lamelada Colada
MPP	- Mass Plywood Panel
NBCC	- National Building Code Of Canada
NLT	- Nail Laminated Timber
PSL	- Parallel Strand Lumber
PVC	- Policloreto De Vinila

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1	Justificativa.....	17
1.2	Definição Do Problema Em Forma De Pergunta.....	20
1.3	Objetivo Geral.....	20
1.4	Objetivo Específicos .....	20
1.5	Estrutura do Trabalho .....	20
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>21</b>
2.1	Construção Modular.....	21
2.2	Madeira Engenheirada .....	27
2.3	<b><i>Cross Laminated Timber</i></b> .....	<b>34</b>
2.3.1	Matéria Prima .....	35
2.3.2	Fabricação.....	35
2.3.2.1.	<i>Projeto de Painéis e Plano de corte</i> .....	36
2.3.2.2.	<i>Seleção da Madeira e Emendas de Lamelas</i> .....	37
2.3.2.3.	<i>Montagem, Prensagem, Corte e Usinagem</i> .....	37
2.3.2.4.	<i>Finalização</i> .....	39
2.3.3	Montagem .....	39
2.3.3.1.	<i>Plano de Montagem</i> .....	40
2.3.3.2.	<i>Plano de Carga</i> .....	41
2.3.3.3.	<i>Transporte dos Painéis</i> .....	43
2.3.3.4.	<i>Posicionamento</i> .....	43
2.3.3.5.	<i>Conexões</i> .....	43
2.3.3.6.	<i>Instalações Prediais</i> .....	48
2.3.3.7.	<i>Acabamentos</i> .....	49
2.4	<b><i>Building Information Modeling (BIM)</i></b> .....	<b>51</b>
2.4.1	Nível de Maturidade BIM .....	53
2.4.2	<i>Level Of Development (LOD)</i> .....	55
2.5	<b>Objetos Paramétricos</b> .....	<b>57</b>
2.6	<b>Softwares BIM Para Construções Em Madeira</b> .....	<b>58</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODO</b> .....	<b>60</b>
3.1	<b>Atividades Preparatórias Do Projeto Arquitetônico</b> .....	<b>63</b>
3.2	<b>Pré-Dimensionamento Das Estruturas De Lajes E Paredes</b> .....	<b>66</b>
3.3	<b>Modelagem Das Famílias Que Compõem O Sistema CLT</b> .....	<b>66</b>
3.4	<b>Modelagem BIM da edificação</b> .....	<b>67</b>
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>67</b>
4.1	<b>Atividades Preparatórias Para o Desenvolvimento do Projeto</b> .....	<b>69</b>
4.2	<b>Pré-Dimensionamento Dos Painéis</b> .....	<b>75</b>
4.2.1	Pré-Dimensionamento das Lajes.....	76
4.2.2	Pré-Dimensionamento das Paredes.....	78
4.3	<b>Modelagem BIM</b> .....	<b>81</b>
4.3.1	Criação das Famílias .....	81
4.3.1.1.	<i>Painel CLT</i> .....	87
4.3.1.2.	<i>Famílias de Corte</i> .....	89

4.3.1.1.	<i>Perfil Steelfoot e Conexão dos Painéis Paralelos .....</i>	<i>90</i>
4.3.2	Desenvolvimento do Modelo BIM .....	92
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>101</b>
<b>5.1</b>	<b>Sugestão Para Trabalhos Futuros .....</b>	<b>102</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>103</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>109</b>
	ANEXO A – TABELA DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PISO VÃO SIMPLES COM E SEM TESTE DE VIBRAÇÃO.....	110
	ANEXO B – TABELA DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE piSO VÃO DUPLO COM E SEM TESTE DE VIBRAÇÃO.....	111
	ANEXO C – TABELA DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PAREDES...	112
	ANEXO D – FASES, ETAPAS E DESCRIÇÃO DE DESENVOLVIMENTO (BIM) PROJETOS E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA .....	113
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>114</b>
	APENDICE A – PLANTAS BAIXAS.....	115
	APENDICE B – PLANTA BAIXA E EIXOS .....	116
	APENDICE C – EIXOS.....	117
	APENDICE D – VISTAS 3D .....	118

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil possui diversas formas de conceber uma edificação, sendo que este processo se aprimora cada vez mais com o avanço tecnológico. Entretanto, quando comparada a outras indústrias do setor secundário, a construção civil mundial ainda tem muito o que progredir em termos de eficiência e produtividade (MCKINSEY, 2017).

Nas construções brasileiras, ainda são predominantes as práticas pouco industrializadas e com grande custo ambiental (AGOPYAN; JOHN, 2011). Estas obras geralmente são concebidas com processos artesanais por meio de estruturas em concreto armado moldadas *in loco*. Ainda se percebe grande resistência deste setor à adesão de novos materiais e métodos construtivos. Como consequência, vale citar a ocorrência de problemas como: incompatibilidade de projetos, falhas na gestão e no planejamento da obra, acidentes de trabalho, falta de insumos, atrasos, desperdício de material, problemas na execução, adições orçamentárias, entre outros. Sendo assim, faz-se necessário incentivar a aplicação de tecnologias mais industrializadas para otimizar e agilizar o processo construtivo utilizando produtos e recursos mais eficientes.

Dentre as construções industrializadas, as modulares têm ganhado cada vez mais força no mercado, pois apresentam maior produtividade, eficiência e economia de recursos, além de maior segurança conseguidos através da adesão de elementos manufaturados feitos em um ambiente controlado (OLIVEIRA, 2019). A construção modular é caracterizada por ser um processo construtivo *off-site*, ou seja, a execução dos componentes da edificação ocorre previamente fora do local da obra em um ambiente fabril, sendo posteriormente transportados e instalados no canteiro de obras (MODULAR BUILDING INSTITUTE, 2021, tradução nossa, OLIVEIRA, 2019). Logo, a construção modular é necessariamente uma construção industrializada e pré-fabricada.

No Brasil, existem construções modulares estruturadas em aço (BRASIL AO CUBO, 2021), em concreto (BM BOX, 2021) e em madeira (TECVERDE, 2021; CROSSLAM, 2022). Destes materiais, o presente trabalho destaca o uso da madeira engenheirada, motivado por seu potencial no país, incluindo preceitos de sustentabilidade, racionalização e controle tecnológico.

“A madeira engenheirada é aquela que é processada industrialmente para otimizar o seu desempenho para uso na Construção Civil. Ou seja, a madeira é engenheirada (passa por engenharia e processos) sendo transformada de matéria-prima com imperfeições naturais, para um material fabricado de excelente propriedade construtiva.” (CTE, 2020)

Alguns exemplos de madeiras engenheiradas são: a madeira lamelada colada (MLC); a madeira lamelada cruzada (CLT); e a madeira micro laminada (LVL). Suas peças ganham destaque por serem fabricadas com dimensões conforme a necessidade de projeto e com o elevado controle do processo industrial. Há uma redução significativa dos defeitos nas peças conforme a seleção do material e o processo de produção industrializado. Assim, a madeira engenheirada se apresenta como material favorável para aplicação na construção modular, pois sua essência já contempla e necessita da industrialização dos elementos.

Para *Mass Timber Institute* (2021), os edifícios desenvolvidos em madeira engenheirada adquirem as propriedades produtivas de aeronaves, automóveis e computadores, tornando-se produto altamente sofisticado e manufaturado, completamente documentado tecnicamente. Esta colocação é interessante, pois, diferente dos processos construtivos mais tradicionais e artesanais, na tecnologia da construção com madeira engenheirada, o projeto e a modelagem da informação da construção (BIM) são partes integrantes da construção, não podendo ser dissociados desta.

Corroborando com esta colocação, o *International Data Corporation* (IDC, 2020) aponta que as soluções mais automatizadas na construção são diretamente dependentes de organizações com maior maturidade nos processos BIM. Estes processos tendem a apresentar um maior nível de detalhes para garantir a precisão da produção. Isto demonstra como um projeto BIM é importante para a eficiência das construções modulares.

Com estes potenciais, a construção modular, quando aplicada em consonância com as tecnologias da madeira engenheirada, se apresenta como promissora no futuro próximo, ganhando cada vez mais espaço no mercado mundial. E, para contribuir para um avanço similar na indústria brasileira, este trabalho selecionou como tema: projeto BIM e construção modular com madeira engenheirada, enfatizando o sistema de madeira lamelada cruzada, em inglês, *Cross Laminated Timber* (CLT).

## 1.1 Justificativa

A seleção do tema construção modular com madeira engenheirada foi motivada principalmente por questões atreladas à sustentabilidade, ao potencial madeireiro, ao enfrentamento ao preconceito popular, ao controle tecnológico dos materiais industrializados, à eficiência na produção off-site e à qualidade do produto final.

A questão ambiental não é uma necessidade recente. Por exemplo, a Constituição Brasileira de 1988, através do art. 225, instituiu que:

“Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.” (BRASIL, 1988)

Persistindo o problema ambiental em escala global, em 2015, durante o COP 21, firmou-se um pacto entre 195 países, mundialmente conhecido como Acordo de Paris, que visa a redução na emissão de gases do efeito estufa e a manutenção do aumento da temperatura global a 2°C. Neste, o Brasil se comprometeu em reduzir até 2025, 37% dos gases de efeito estufa (comparado aos níveis de 2005), sendo a meta estendida até 2030 para 43% (MEIRELIS, 2020).

Para isso, dentre as práticas que estão ganhando força mundialmente está a ampliação do uso da madeira na construção civil devido à redução de gás carbono que proporciona e por ser um recurso infinito. Quando comparada a outros materiais como o granito, o minério de ferro, o calcário e afins, a madeira destaca-se por sua disponibilidade e rápida reposição na natureza, em especial com as florestas plantadas e manejadas como as de pinus e de eucalipto. Além de ser um recurso infinito, durante o ciclo de vida da madeira há o sequestro de carbono e a liberação de oxigênio pelo processo de fotossíntese, onde o carbono capturado é incorporado na estrutura da madeira. Este fenômeno ajuda no combate ao aquecimento global. Vale destacar que, com a produção de 1 m<sup>3</sup> de madeira, captura-se na atmosfera cerca de 1 tonelada de CO<sub>2</sub>, enquanto que, para a produção de 1 m<sup>3</sup> de concreto, ocorre a liberação de 1 tonelada de CO<sub>2</sub> (DIAS, 2018).

Assim, o uso da madeira no Brasil pode ser vantajoso, pois o país apresenta grande potencial de florestas plantadas. Por exemplo, em 2019, o setor registrou 9 milhões de hectares de árvores plantadas de eucalipto, pinus e outras espécies como acácia, araucária, paricá e teca, responsáveis por absorver 1,88 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq da atmosfera. No entanto, registrou-se que 36% desta área é destinada para produção de papel e celulose e 12% para siderurgia e carvão vegetal, sendo apenas 4% destinadas para produtos sólidos como madeira serrada (IBA, 2020). Ou seja, apesar do potencial madeireiro no país, há pouca floresta plantada com manejo visando especificamente produtos estruturais para construção de edificações.

Esse potencial madeireiro não é refletido nas construções brasileiras, pois ainda há certa desconfiança e insegurança na utilização deste material. A pouca adoção da madeira como técnica construtiva ocorre por preconceito decorrente do desconhecimento da qualidade deste material e pelo preconceito devido ao desmatamento (IPT, 2017). Por isso, questões sobre as resistências da madeira a agentes biológicos e ao fogo são levantadas constantemente. E, muitas vezes, essa desconfiança está associada à adoção de técnicas inadequadas pela indústria civil, que repercutem uma imagem negativa sobre este material (ESPÍNDOLA, 2010).

No entanto, contrariando o senso comum da população brasileira, projetos estruturados em madeira podem ser duradouros e resistentes. Junto com critérios normativos é importante adotar detalhes arquitetônicos que protejam a madeira prolongando sua vida útil e melhorando seu desempenho (DIAS, 2018).

A seleção das peças comerciais de madeira também deve ser criteriosa. Como já comentado, as florestas não têm um manejo específico para elementos estruturais da construção civil e assim podem apresentar defeitos naturais de crescimento. O desdobramento e a secagem na confecção das peças também podem acarretar em defeitos nos elementos finais.

Ainda, por ser um material natural, a madeira possui limitações nas dimensões das peças conforme o comprimento e o diâmetro das toras das árvores. Então, para contrapor essa limitação e para aumentar o controle tecnológico da madeira ofertada comercialmente, atualmente é produzida a “madeira engenheirada”.

A madeira engenheirada apresenta-se como uma solução para tais pontos críticos, por ser um material manufaturado produzido com elevado controle tecnológico. Eliminando as limitações e defeitos naturais da madeira como o tamanho das peças, a presença de nós, fendas, etc. A aplicação da madeira engenheirada, como o CLT, em construções modulares são propícias para a manufatura fabril, com a racionalização, produtividade e controle tecnológico, conforme demonstra o estudo de Oliveira (2018).

Entretanto, para garantir esses preceitos da construção modular com madeira engenheirada, necessita-se de projetos resolvidos tecnicamente, garantindo a compatibilização de todas as disciplinas envolvidas, o detalhamento necessário conforme as especificidades da madeira e a produção industrial plena. Diante desse cenário, a utilização das ferramentas BIM durante a fase de projeto é fundamental, de forma a possibilitar a indústria 4.0, resultando na execução de projetos finais com maior qualidade.<sup>1</sup>

Mas existe uma lacuna de pesquisa sobre os *softwares* que possibilitam a modelagem BIM de sistemas construtivos modulares em madeira, como o CLT. As principais linhas de estudo que relacionam o BIM com construções em madeira referem-se a comparativos de custo, estudos termo-energéticos, análise de emissão de CO<sub>2</sub>, modelagem BIM e compatibilização de projetos em *woodframe*.

Em paralelo, o sistema CLT é considerado inovador no Brasil. Dentre os primeiros estudos sobre a aplicação deste sistema no país está o trabalho de Passarelli (2013) que aponta diretrizes gerais para a construção de painéis no estado de São Paulo. Desde então, outras pesquisas foram realizadas sobre experimentação, dimensionamento, desempenho, produção, projeto executados com CLT. Destas, destaca-se aqui a análise aprofundada de Oliveira (2018) que salienta que antes mesmo de iniciar o projeto arquitetônico já são necessários profissionais com o conhecimento técnico específico em CLT, principalmente sobre o seu processo

---

<sup>1</sup> “A Indústria 4.0 é um conceito que representa a automação industrial e a integração de diferentes tecnologias como inteligência artificial, robótica, internet das coisas e computação em nuvem com o objetivo de promover a digitalização das atividades industriais melhorando os processos e aumentando a produtividade.” (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2021)

construtivo, por causa da interligação e da interdependência das etapas. Mas o mercado ainda tem poucos profissionais especialistas em sistemas construtivos com madeira engenheirada. E a falta de conhecimento técnico sobre o projeto e sobre a produção pode dificultar a disseminação correta deste sistema construtivo.

## **1.2 Definição Do Problema Em Forma De Pergunta**

Com base nestas justificativas, este trabalho coloca o seguinte questionamento:

Como desenvolver o projeto de uma construção modular em madeira engenheirada do tipo CLT utilizando software BIM?

## **1.3 Objetivo Geral**

Desenvolver o projeto de uma habitação modular utilizando o *cross laminated timber* (CLT) em BIM.

## **1.4 Objetivo Específicos**

Este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- a) Elaborar as atividades preparatórias de projeto, incluindo programa de necessidades, estudos de área de ambientes e fluxos de circulação, estudo de *layout* e disposição inicial das placas;
- b) Pré-dimensionar os painéis estruturais de lajes e paredes;
- c) Modelar os elementos que compõem o sistema CLT no *software* BIM;
- d) Elaborar o estudo preliminar da habitação em BIM.

## **1.5 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está dividido em 5 capítulos, sendo eles: Introdução; Fundamentação Teórica; Método; Apresentação dos resultados; e Considerações Finais.

O primeiro capítulo apresenta a justificativa deste trabalho, é definido a problemática e os objetivos geral e específicos.

O segundo aborda conceitos sobre construção modular, a madeira engenheirada e os seu tipos. Aprofunda-se os conhecimentos sobre o CLT sobre a matéria prima constituinte, fabricação e transporte. Também é apresentado conceitos sobre o BIM e alguns softwares que permitem o desenvolvimento de projetos em madeira.

No terceiro capítulo é apresentado o método utilizado no trabalho, onde são mostrados as atividades preparatórias para o projeto arquitetônico, o pré-dimensionamento da estrutura, a modelagem das famílias do sistema CLT e a modelagem da edificação.

No quarto são apresentados os resultados obtidos em cada etapa do método sendo eles: disposição inicial das placas; pré-dimensionamento e validação da estrutura; criação das famílias; e o processo de modelagem da edificação.

Por fim, são apresentadas as considerações finais, com as facilidades e as dificuldades encontradas nesta pesquisa e recomendações para trabalhos futuros.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo apresenta-se o referencial teórico desta pesquisa, objetivando o aprofundamento dos conhecimentos sobre: construção modular; madeira engenheirada; *Cross Laminated Timber* (CLT); e *Building Information Modeling* (BIM).

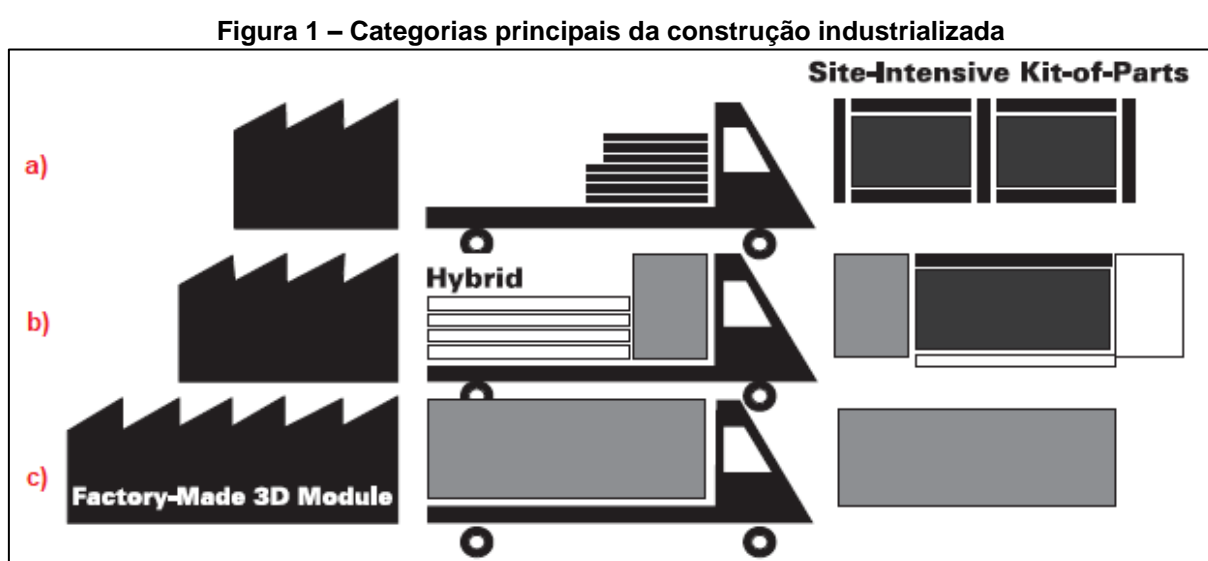
### **2.1 Construção Modular**

Embora a adoção da pré-fabricação seja comum em alguns momentos da construção, as técnicas de construção industrializadas ainda são pouco difundidas mesmo com inúmeras vantagens.

As construções industrializadas podem oferecer: maior controle sobre os processos; mão de obra especializada; matéria prima selecionada; precisão geométrica; maior controle sobre os custos; produção independente das condições climáticas; maior controle de desempenho ambiental através da redução de resíduos

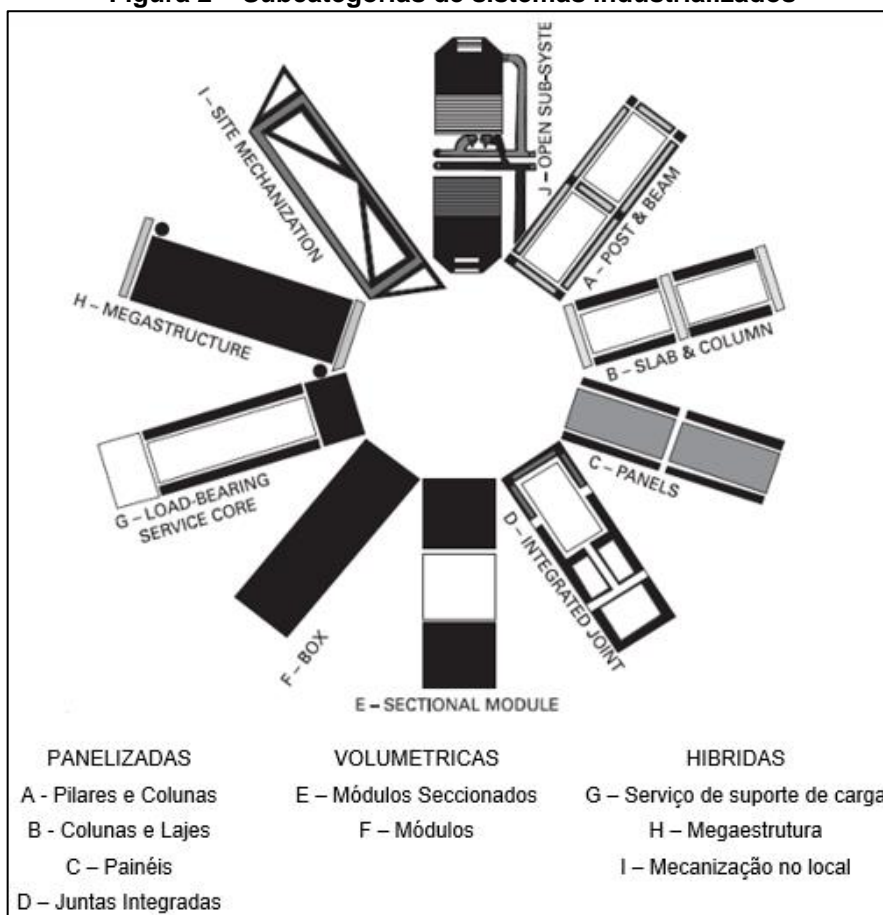
de construção, da emissão de CO<sub>2</sub>, da água e da energia durante a fabricação como na montagem no canteiro. Pelos processos serem mais controlados, a obtenção de dados para avaliação do desempenho da construção torna-se mais fácil (ABDI, 2015).

Conforme Figura 1, a construção industrializada pode ser agrupada quanto ao grau de finalização que os elementos saem da indústria, sendo dividida em três categorias principais: a) *Site Intensive Kit-of-Parts*; b) Híbrida; c) Modular volumétrica. Estas categorias podem ser subdivididas em dez sistemas construtivos, conforme a Figura 2 (SMITH, QUALE, 2017).



Fonte: Smith, Ryan E.; Quale, John D. (2017) – Adaptado pelo Autor

Figura 2 – Subcategorias de sistemas industrializados



Fonte: Smith, Ryan E.; Quale, John D (2017) – Adaptado pelo Autor

A construção *Site Intensive Kit-of-Parts* é caracterizada pela produção de componentes ou de subsistemas simples em grande escala na fábrica, os quais são entregues no canteiro, onde passam por uma série de operações de montagem até a finalização da edificação. Dentro desta categoria enquadram-se os sistemas pré-fabricados de pilar e viga, de coluna e laje, de painéis e sistemas monolíticos com juntas integradas (SMITH, QUALE, 2017).

**Figura 3 - Elementos da construção em Kits**

a) Painéis

b) Vigas pré-moldados

Fonte: a) Pandolfo (2020) b) Tecnosil (2021) – Adaptado pelo Autor

**Figura 4 - Transporte e montagem de elementos panelizados**

Fonte: Placlux (2021) – Adaptado pelo Autor

Por sua vez, a construção de módulos 3D, ou seja, a construção modular volumétrica apresenta uma produção plena no ambiente fabril, onde a edificação pode ser dividida em módulos que são transportados para o canteiro, onde são conectados entre si. Conforme as dimensões do projeto, do transporte e do canteiro, os módulos podem ser por seções menores da edificação ou pode ser um módulo inteiro com a caixa completa da edificação (SMITH, QUALE, 2017).

**Figura 5 - Construção modular volumétrica**

Fonte: Pandolfo (2020)

**Figura 6 - Locação dos módulos volumétricos no canteiro**

Fonte: Pandolfo (2020)

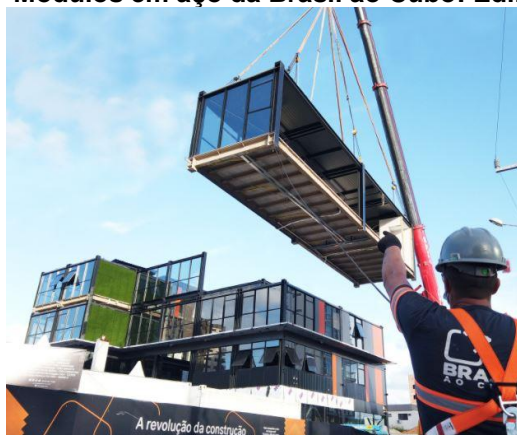
Por fim, a construção híbrida aplica subsistemas e componentes pré-fabricados dos kits em conjunto com módulos volumétricos. Por exemplo, os subsistemas mais complexos da edificação – como os núcleos de serviço – podem ser executados na fábrica como módulos 3D autoportantes. E no canteiro, outros componentes dos kits pré-fabricados – como painéis, pilares, vigas, lajes, sistemas de vedação – são aplicados sobre este módulo do núcleo e anexo ao mesmo para completar a edificação. No canteiro, podem ser utilizados maquinários e ferramentas para o maior grau de mecanização das atividades. E a introdução de alguns elementos

mais artesanais podem ser necessários conforme a especificidade da edificação (SMITH, QUALE, 2017).

Das construções industrializadas, este trabalho destaca a construção modular volumétrica conforme a justificativa colocada anteriormente.

No Brasil, as construções modulares mais conhecidas são as estruturadas em aço, tipo o *light steel framing*. A ABDI (2015) descreve que este sistema pode ser construído com unidades modulares completamente pré-fabricadas, incluindo todos os acabamentos internos, como revestimentos, louças sanitárias, metais, instalações elétricas e hidráulicas. A Figura 7 mostra uma construção modular em aço executada por uma empresa da região sul do Brasil sendo colocada no canteiro.

**Figura 7 - Módulos em aço da Brasil ao Cubo: Edifício Level**



Fonte: Brasil ao Cubo

Recentemente, por suas vantagens ecológicas e pela disponibilidade de material no território brasileiro, destacam-se as construções modulares com madeira engenheirada, como ilustram as Figura 8 e 9.

**Figura 8 – Construção modular da empresa Crosslam: Minimod Curucaca**



Fonte: Crosslam (2022)

**Figura 9 - Transporte de módulo em madeira engenheirada**



Fonte: Crosslam (2022)

Para que estas construções modulares em madeira engenheirada sejam consolidadas com desempenho adequado conforme as regulações nacionais é necessário conhecer com mais profundidade as especificidades da madeira enquanto material de construção e como são constituídos e executados os componentes dos sistemas industrializados.

“O processo industrializado requer que decisões sobre a tecnologia a ser adotada antecedam o desenvolvimento de projetos, com planejamento mais efetivo e detalhado, potencializando os benefícios da construção industrializada” (ROSSO, 1990 apud ABDI, 2015, p. 34).

## **2.2 Madeira Engenheirada**

O CTE (2020) define madeira engenheirada como elementos formados por madeira que são submetidos a processamentos industriais, otimizando seu desempenho para uso na construção civil. A madeira passa por um processo de engenharia onde é transformada de matéria-prima com imperfeições naturais para um material fabricado com melhor propriedade construtiva. Por isso, alguns países têm aprovado o uso da madeira engenheirada inclusive para construções de prédios.

Por exemplo, o Código Nacional de Construção do Canadá (NBCC) de 1941 permitia construções com estruturas de madeira de até 7 andares ou com altura

máxima de 22,50 metros. Mas, em 1953 esta altura foi reduzida com a adesão da avaliação de risco da construção e a carga de incêndio.

Já no ano de 2015, com avanços nos produtos de madeira, nos sistemas construtivos e no desenvolvimento de sistemas de detecção e contenção de incêndios, passou-se a restrição de 4 para 6 andares. Sendo que, para obter licenças superiores a 6 andares utilizando madeira engenheirada, o código de construção solicita a comprovação de especialistas indicando que o projeto proposto atende a todos os requisitos de desempenho regulatório (*MASS TIMBER INSTITUTE*, 2021, tradução nossa).

Em 2020, o NBCC incluiu o uso da madeira engenheirada para estruturas de até 12 andares e com altura inferior a 42 metros de altura. Neste caso, a madeira engenheirada deve ser encapsulada, ou seja, vedada por placas de gesso ou outros materiais não combustíveis que resistem à propagação do fogo. Conforme esta nova classificação, a estrutura de madeira deve ter no mínimo 96 mm de espessura e uma resistência ao fogo de 50 minutos (*MASS TIMBER INSTITUTE*, 2021, tradução nossa).

Conforme *Mass Timber Institute* (2021), algumas das vantagens da utilização massiva das madeiras engenheirada são:

- a) Velocidade de construção: componentes estruturais fabricados fora do local da obra, diminuindo o tempo de construção e os custos trabalhistas;
- b) Impacto ambiental: a madeira, por ser um recurso renovável e que sequestra carbono, quando feito um manejo sustentável da floresta, reduz a emissão de gases de efeito estufa;
- c) Segurança e desempenho: a madeira engenheirada pode ser projetada para fornecer mais segurança contra incêndios e maior resiliência sísmica;
- d) Peso estrutural reduzido: por ser mais leve que concreto ou aço, a madeira engenheirada permite redução no tamanho das fundações, economizando no tempo de construção, nos materiais e na emissão de CO<sub>2</sub>;

- e) Desempenho térmico: a madeira é um isolante natural, melhorando a eficácia do isolamento e tem menos potencial para pontes térmicas, que reduzem a eficácia do isolamento;
- f) Benefícios biofílicos: madeira exposta contribui positivamente ao bem-estar humano por ser esteticamente agradável, resultando em economia nos acabamentos interiores pois a estrutura também pode ser o acabamento.

*Mass Timber Institute* (2021) cita os tipos de madeira engenheirada existentes, sendo eles: Cross-Laminated Timber (CLT); Glue-Laminated Timber (Glulam); Dowel-Laminated Timber (DLT); Laminated Veneer Lumber (LVL); Nail-Laminated Timber (NLT); *Mass Plywood Panel* (MPP); *Laminated Strand Lumber* (LSL); e *Parallel Strand Lumber* (PSL).

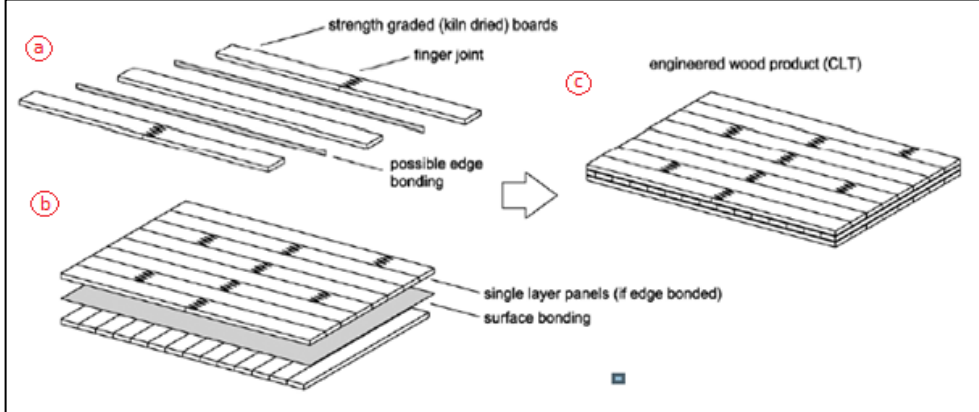

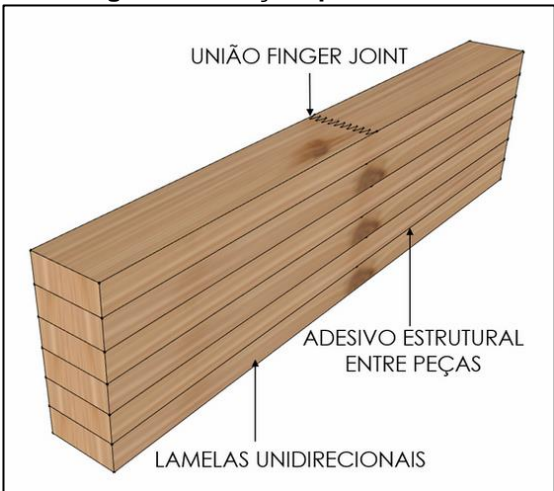
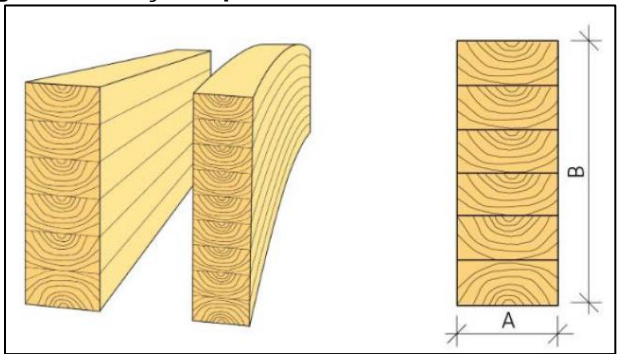
Dias (2018) ainda complementa que as madeiras engenheiradas mais comuns no Brasil são: Madeira Lamelada Colada (MLC); Madeira Lamelada Cruzada; e Madeira Micro-Laminada (LVL). Ele também explica a possibilidade dos diferentes tipos de madeira engenheirada trabalharem em consonância, objetivando uma única estrutura:




Em face desses materiais juntos formarem o “esqueleto” do prédio, ou até mesmo o prédio todo em si só, incluindo as lajes, paredes e núcleos rígidos, há um termo criado para este uso da madeira tão intenso. Em inglês chama-se esse tipo de construção de “*Mass Timber*”. (DIAS, 2018, p.77)

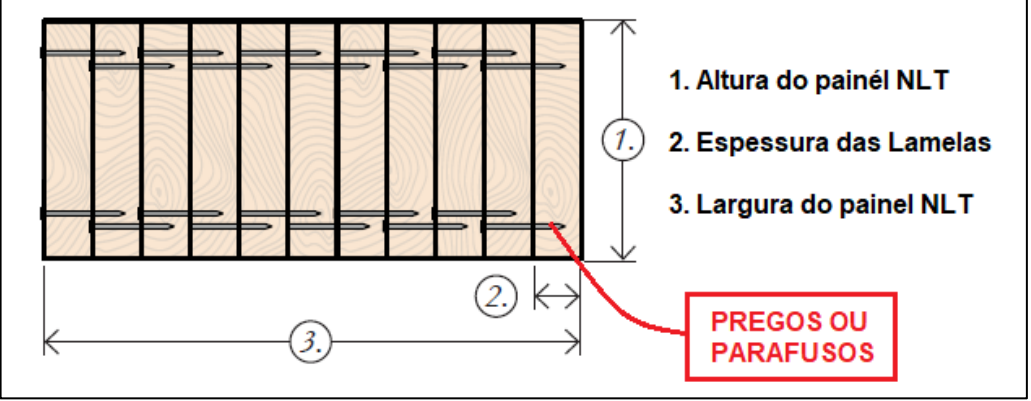


Na Quadro 1, caracterizam-se as diferentes madeiras engenheiradas existentes que foram citadas por *Mass Timber Institute* (2021), sendo apresentados o nome, a sigla, a descrição, as formas que normalmente são utilizadas e as imagens representando cada tipo de madeira engenheirada.

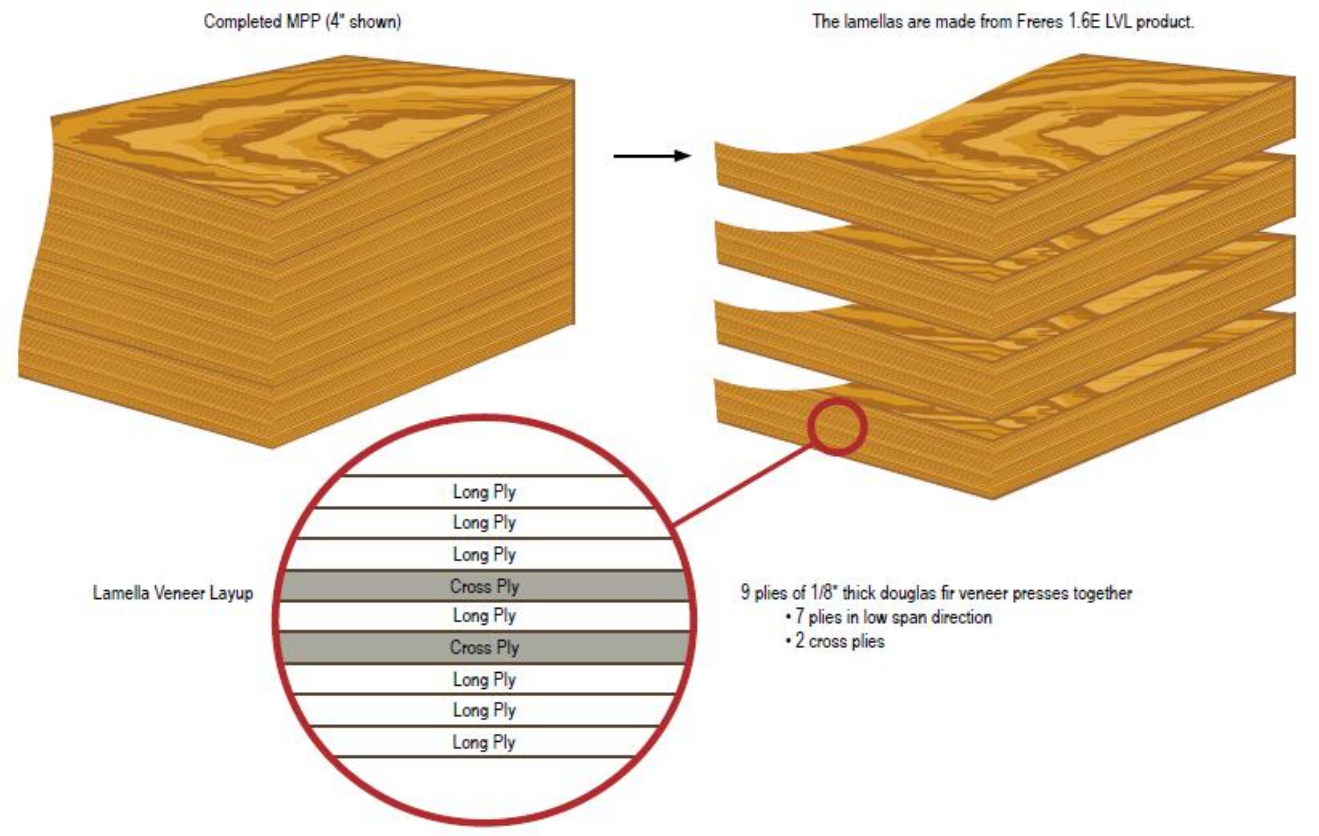
Destes, o sistema de madeira lamelada cruzada (CLT) será detalhado na sequência.

Quadro 1 - Principais Madeiras Engenheiradas e Suas Aplicações

Acrônimo (Sigla)	Nomenclatura		Aplicação	Descrição	Imagens
	Português	Inglês			
CLT	Madeira Lamelada Cruzada	<i>Cross Laminated Timber</i>	Placas ou Painéis	<p>Produto pré-fabricado de madeira engenheirada, composto por, no mínimo, três camadas ortogonais entre si sendo estas feitas por tábuas de madeira classificada, unidas através de colas com aditivos estruturais (ANSI, 2019, tradução nossa). Usualmente são utilizadas três, cinco ou sete camadas de madeira, formando um painel estrutural conforme necessidade estrutural (MASS TIMBER INSTITUTE, 2021, tradução nossa).</p> <p>A Figura 10 representa o processo de montagem das placas de CLT, e na Figura 11 há a peça de CLT finalizada.</p>	<p><b>Figura 10 - Processo de Montagem das Placas CLT</b></p>  <p>Fonte: Dias (2018) – Adaptado pelo Autor</p> <p><b>Figura 11 - Peça de CLT Finalizada</b></p>  <p>Fonte: Mass Timber Institute (2021)</p>
GLULAM / MLC	Madeira Lamelada Colada	<i>Glue Laminated Lumber</i>	Pilares e Vigas	<p>Material produzido através de lamelas (tábuas) unidas por colagem, onde as disposições das fibras devem ficar paralelas entre si. Essas lamelas possuem dimensões relativamente reduzidas quando comparadas com a peça final (Figura 12 e Figura 13). Recomendam-se espécies coníferas e folhosas para fabricação da MLC, porém é possível colar praticamente qualquer tipo de madeira, sendo que algumas madeiras requerem a utilização de colas especiais ou modificadas (NETO, 2011).</p>	<p><b>Figura 12 - Peça Típica de MLC</b></p>  <p>Fonte: Madeira Engenheirada (2020)</p> <p><b>Figura 13 - Seção Típica da Madeira Lamelada Colada</b></p>  <p>Fonte: Dias (2018)</p>

DLT	Madeira Laminada Cavilhada	<i>Dowel-Laminated Timber</i>	Placas ou Painéis	<p>Painel maciço feito pelo empilhamento de madeiras serradas que são unidas através de cavilhas de madeira dura, promovendo a fricção entre as tábuas. O DLT é a única madeira engenheirada feita totalmente com madeira, sem a utilização de pregos, parafusos ou adesivos para confecção dos elementos estruturais. (MASS TIMBER INSTITUTE, 2021, tradução nossa). Na Figura 14 tem-se a peça em DLT finalizada.</p>	<p><b>Figura 14 - Peça em DLT Finalizada</b></p>  <p>Fonte: Mass Timber Institute (2021)</p>
LVL	Madeira Micro Laminada	<i>Laminated Veneer Lumber</i>	Pilares e Vigas	<p>Compensado de folhas de madeira, geralmente as fibras estão orientadas ao longo do comprimento da peça estrutural, ou seja, paralelas ao eixo principal da peça (Figura 15). As folhas de madeira não devem exceder a espessura de 6,4 mm e são unidas através de colas estruturais ou aditivos (ASTM, 2021, tradução nossa).</p>	<p><b>Figura 15 - Viga de LVL</b></p>  <p>Fonte: Ekomposit (2021)</p>
LSL	Laminated Strand Lumber (*)	<i>Laminated Strand Lumber</i>	Placas	<p>O <i>Laminated Strand Lumber</i> é similar ao LVL, porém utiliza flocos de madeira em vez de folhas (Figura 16). Os flocos são colocados em camadas, pressionados juntos com calor através de prensa de injeção de vapor e unidos através de um adesivo resistente à umidade. (NATURALLY WOOD, 2021, tradução nossa).</p>	<p><b>Figura 16 - Peça em LSL Finalizada</b></p>  <p>Fonte: Mass Timber Institute (2021)</p>

NLT	Madeira Laminada Pregada	<i>Nail-Laminated Timber</i>	Placas ou Painéis	<p>Placa feita a partir do empilhamento de lamelas de madeira ou tábuas com espessura de 2 a 4 polegadas e largura de 4 a 12 polegadas que são fixadas através de pregos ou parafusos formando painéis (BSLC, 2017, tradução nossa).</p> <p>A adição de painéis de madeira (como OSB) ao NLT fornece à estrutura a capacidade de resistir a esforços cisalhantes, possibilitando o uso como paredes de cisalhamento ou diafragmas (BSLC, 2017, tradução nossa).</p> <p>Na Figura 17 representa-se a seção típica de uma placa de NLT. Já a Figura 18 representa a peça de NLT finalizada.</p>	<p><b>Figura 17 - Seção Típica de Madeira Lamelada Pregada</b></p>  <p>1. Altura do painel NLT 2. Espessura das Lamelas 3. Largura do painel NLT</p> <p>PREGOS OU PARAFUSOS</p> <p>Fonte: BSLC (2017) – Adaptado pelo Autor</p> <p><b>Figura 18- Peça em NLT Finalizada</b></p>  <p>Fonte: Mass Timber Institute (2021)</p>
PSL	Parallel Strand Lumber (*)	<i>Parallel Strand Lumber</i>	Placas	<p>Compensado fabricado a partir de folhas de madeira que são cortados em longos fios, posteriormente dispostos em uma formação paralela e unidos com um adesivo para formar o elemento estrutural acabado (MASS TIMBER INSTITUTE, 2021, tradução nossa).</p> <p>Na Figura 19, há a representação da peça de PSL finalizada.</p>	<p><b>Figura 19 - Peça em PSL Finalizada</b></p>  <p>Fonte: Mass Timber Institute (2021)</p>

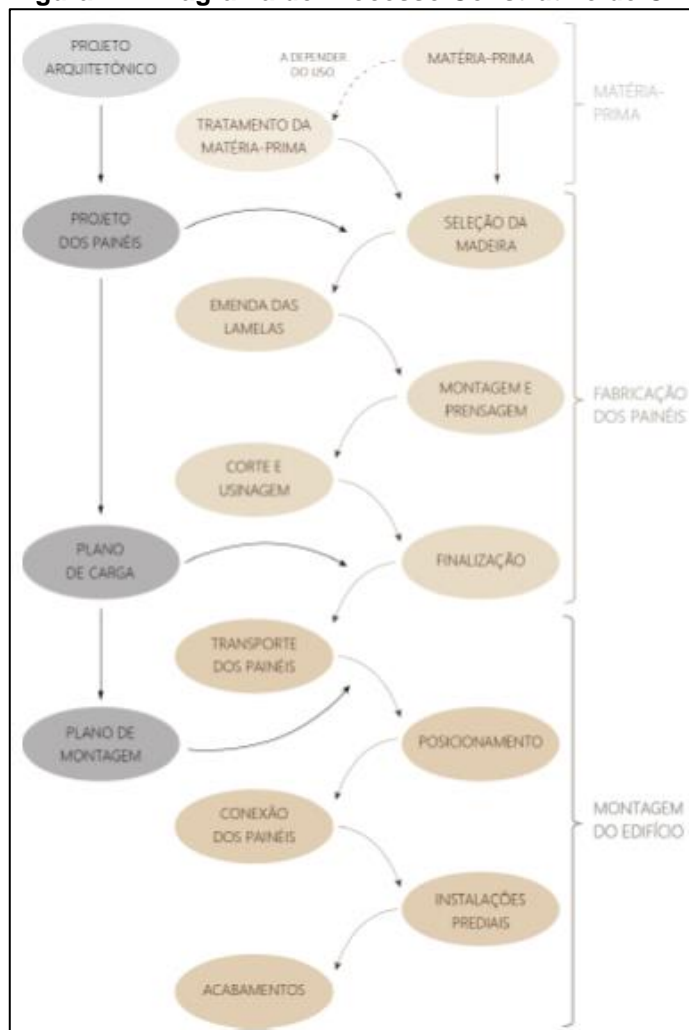
MPP	Mass Plywood Panel (*)	<i>Mass Plywood Panel</i>	Placas ou Painéis	<p>Painel maciço de madeira, é constituído por um compensado de várias folhas de madeira postas perpendicularmente entre si que são coladas e prensadas juntas. Esses painéis também podem ser chamados de “<i>super plywood</i>” ou “super compensado” (MASS TIMBER INSTITUTE, 2021, tradução nossa).</p> <p>O MPP é um produto certificado pela ANSI / APA PRG 320 como um painel de madeira lamelada cruzada (CLT). A figura 20 mostra o painel MPP e as suas camadas. (FRERES LUMBERa, 2021, tradução nossa).</p>	<p style="text-align: center;"><b>Figura 20 - Estrutura das Camadas Folhosas do MPP</b></p>  <p style="text-align: center;">Fonte: Freres Lumber (2021b).</p>
<p>(*) Ainda não há termos técnicos, comerciais ou tradução específica em português  Fonte: Elaborado pelo Autor a partir das fontes citadas</p>					

### 2.3 Cross Laminated Timber

O *Cross Laminated Timber* (CLT) é um painel composto por lâminas de madeira coladas ortogonalmente entre si. Geralmente, utilizam-se três, cinco ou sete camadas de madeira conforme a necessidade estrutural (ANSI, 2019, *MASS TIMBER INSTITUTE*, 2021).

Por se tratar de uma construção industrializada, torna-se fundamental integrar o processo construtivo do CLT às decisões predecessoras ao projeto. Conforme propõe Oliveira (2018), o processo construtivo com CLT no Brasil pode ser dividido em três partes principais: matéria prima, fabricação dos painéis, e montagem. Na Figura 21 mostra as etapas principais deste processo e suas subdivisões.

**Figura 21 - Diagrama do Processo Construtivo de CLT**



Fonte: Oliveira (2018)

### 2.3.1 Matéria Prima

Observa-se, que nesta empresa brasileira analisada, o processo construtivo tem início com a aquisição e a chegada da matéria prima na fábrica, sendo estocada conforme necessidade dos projetos. De modo geral, a matéria prima utilizada é a madeira de pinus<sup>2</sup>.

A madeira é fornecida através de lamelas com umidade próxima a 12%, podendo ser adquiridas já com ou sem produtos preservativos, sendo que o tipo de tratamento utilizado varia conforme necessidade de projeto seguindo as orientações presentes na ABNT 16143:2013 (OLIVEIRA, 2018).

Podem ser produzidos painéis com camadas compostas por lamelas de madeira tratada e camadas não tratada. Tal decisão influencia em questões estéticas no projeto arquitetônico, tendo em vista que o tratamento de proteção da madeira, quando utilizado o CCB (cobre, cromo e boro), deixa a madeira com coloração esverdeada. Assim, caso haja solicitação arquitetônica, a camada externa pode ser confeccionada com material não tratado de forma a manter a coloração natural da peça (OLIVEIRA, 2018).

Para começar a desenvolver e fabricar os painéis, além da matéria prima, necessita-se do projeto arquitetônico da edificação, que previamente deverá levar em consideração as particularidades do sistema construtivo em questão. Além das condicionantes e dos elementos arquitetônicos, deve-se observar como ocorre a fabricação e o transporte dos painéis e dos outros elementos utilizados na construção (OLIVEIRA, 2018).

### 2.3.2 Fabricação

O processo de fabricação é dividido em: Projeto dos Painéis; Seleção da madeira; Emenda das Lamelas; Montagem e Prensagem; Corte e Usinagem; Finalização; e Plano de Carga, como mostrado na Figura 22 (OLIVEIRA, 2018).

---

<sup>2</sup> É importante ressaltar que a procedência dessa madeira deve ser de florestas plantadas, se possível certificadas e que não utilize fontes de exploração ilegal.

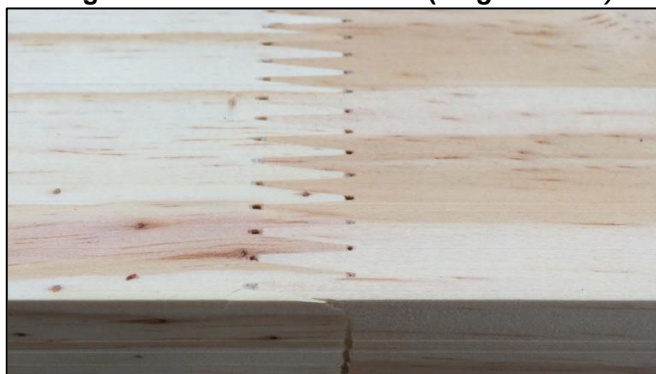


### 2.3.2.2. Seleção da Madeira e Emendas de Lamelas

Para começar a produção dos painéis de CLT, as lamelas de madeira são submetidas a um controle de qualidade visual, onde são feitas avaliações e a possível remoção dos defeitos que podem resultar em avarias na estrutura como pedaços de cascas e grandes nós (OLIVEIRA, 2018).

Após a seleção, é feita a união das lamelas através de emendas dentadas (*finger-joints*), que em seguida são aplainadas visando a planicidade e uniformidade das peças. As lamelas aplainadas são de 14 cm de largura por 19 mm, 20mm, 30 mm ou 40 mm de espessura. Como a prensa da empresa possui 12 m de comprimento por 3 m de largura, o comprimento máximo do painel, no sentido longitudinal às lamelas, é de 12 m e a largura máxima do painel, no sentido transversal às lamelas, é de 3 m (OLIVEIRA, 2018).

**Figura 24 – Emenda dentada (*Finger Joints*)**



Fonte: Oliveira (2018)

### 2.3.2.3. Montagem, Prensagem, Corte e Usinagem

Conforme Oliveira (2018, p. 91) descreve e as Figuras 25 e 26 mostram, para iniciar a montagem dos painéis:

“As lamelas aplainadas são dispostas na prensa a vácuo lado a lado e orientadas em uma mesma direção, até se obter o comprimento desejado, ou a largura, para o painel. É então aplicado, de forma automatizada, o adesivo estrutural sobre a superfície dessa primeira camada de lamelas, posicionando-se em seguida uma nova camada acima e com orientação perpendicular à camada subjacente. O adesivo estrutural utilizado é monocomponente de poliuretano, isento de solventes ou formaldeídos, do tipo Purbond da Henkel AG. O tempo de prensagem varia de acordo com a

umidade e temperatura ambiente, fatores esses que alteram o período de ação do adesivo.” (OLIVEIRA, 2018, p. 91).

Conforme já mencionado os painéis elaborados devem ter as dimensões máximas de 12m por 3m. Já as espessuras dos painéis variam conforme necessidade de projeto respeitando as configurações possíveis conforme espessura padrão das lamelas (19 mm, 20 mm, 30 mm, 35 mm ou 40 mm). Contudo, as configurações mais comuns das espessuras totais para painéis de vedação vertical são de 80 mm (três camadas, com camadas externas de 20mm e interna de 40mm), 95 mm (cinco camadas, com 19mm) 105 mm (três camadas, com 35 mm), para os painéis laje é 120 mm (três camadas, com 40 mm) (OLIVEIRA, 2018).

**Figura 25 - Posicionamento das Lamelas**



Fonte: Oliveira (2018)

**Figura 26 - Aplicação do Adesivo Estrutural**



Fonte: Oliveira (2018)

Para realizar o corte e a usinagem dos painéis conforme o projeto arquitetônico modelado, os projetos das peças são exportados para um *software* de pós processamento, onde será gerada instruções à fresadora de modo que controle o movimento, a velocidade e as ferramentas utilizadas (OLIVEIRA, 2018, apud. KOLAREVIC, 2003).

“O corte e a usinagem dos painéis são realizados em um equipamento de usinagem com CNC, por meio de fabricação subtrativa, que envolve a remoção de materiais sólidos por meio de processos mecânicos, elétricos ou químicos. A fresadora pode ser axial, superficial ou volumétrica.” (OLIVEIRA, 2018, p. 93).

#### 2.3.2.4. Finalização

A última etapa da fabricação dos painéis é a finalização, que remete ao acabamento final dos painéis já cortados. De modo geral, faz-se a limpeza dos elementos com panos umedecidos.

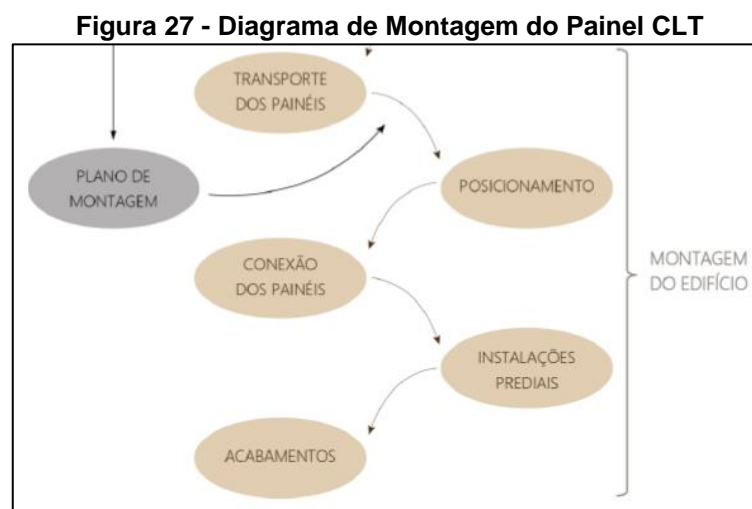
As peças que ficarão expostas após a montagem, que necessitam da superfície mais lisa e uniforme, são lixadas. Já as peças que receberão revestimentos não precisam de lixamento. Nesta etapa também se faz a aplicação da primeira camada de *stain* (OLIVEIRA, 2018).

“Além disso, todos os elementos fabricados com lamelas não tratadas em autoclave com produto preservativo, os quais serão empregados no interior da edificação, fora do contato com a umidade, recebem, ainda em fábrica, aplicação superficial de inseticida por pincelamento. Deve-se ressaltar, entretanto, que, durante a montagem da edificação, quando da realização de qualquer novo corte nos elementos construtivos, não previsto originalmente no projeto dos painéis, torna-se imprescindível nova aplicação deste inseticida, no local cortado, a fim de garantir a devida proteção de todas as faces das peças de CLT. Ademais, é importante atentar-se para a durabilidade e garantia do inseticida utilizado, verificando, [...], a necessidade de reaplicação após determinado período de tempo, conforme especificado pelo fornecedor do produto em questão.” (OLIVEIRA, 2018, p. 94).

#### 2.3.3 Montagem

Conforme Oliveira (2018), a montagem destas estruturas em CLT podem ocorrer de quatro formas: inteiramente modular; parcialmente modular (híbrida); parcialmente *in loco*; inteiramente *in loco*.

Esse processo de montagem é dividido em: plano de montagem; transporte dos painéis; posicionamento; conexão dos painéis; instalações prediais; e acabamentos (OLIVEIRA, 2018).



Fonte: Oliveira (2018)

#### 2.3.3.1. *Plano de Montagem*

O plano de montagem é elaborado para a melhor execução da obra. A montagem deve ser precisa e minuciosa otimizando a logística dos funcionários e de cargas. E visto que os painéis são cortados e fabricados com alta precisão, sendo previamente usinados para a passagem das instalações e esquadrias, é imprescindível a numeração dos painéis para locação correta dos elementos em CLT (OLIVEIRA, 2018).

“No plano de montagem, define-se quais serão os primeiros elementos a serem montados, tendo em vista a facilidade de acesso a estrutura da edificação e aos equipamentos utilizados na montagem (guindaste, grua, caminhão munck).” (OLIVEIRA, 2018, p.99)

“Essas definições devem constar no Plano de Montagem, que consiste em desenhos (plantas, cortes, detalhes) e imagens (perspectivas), ilustrando o posicionamento de cada elemento construtivo na edificação.” (OLIVEIRA, 2018, p.99). Além disso, os detalhes devem indicar a quantidade e espaçamento dos parafusos e/ou conectores.

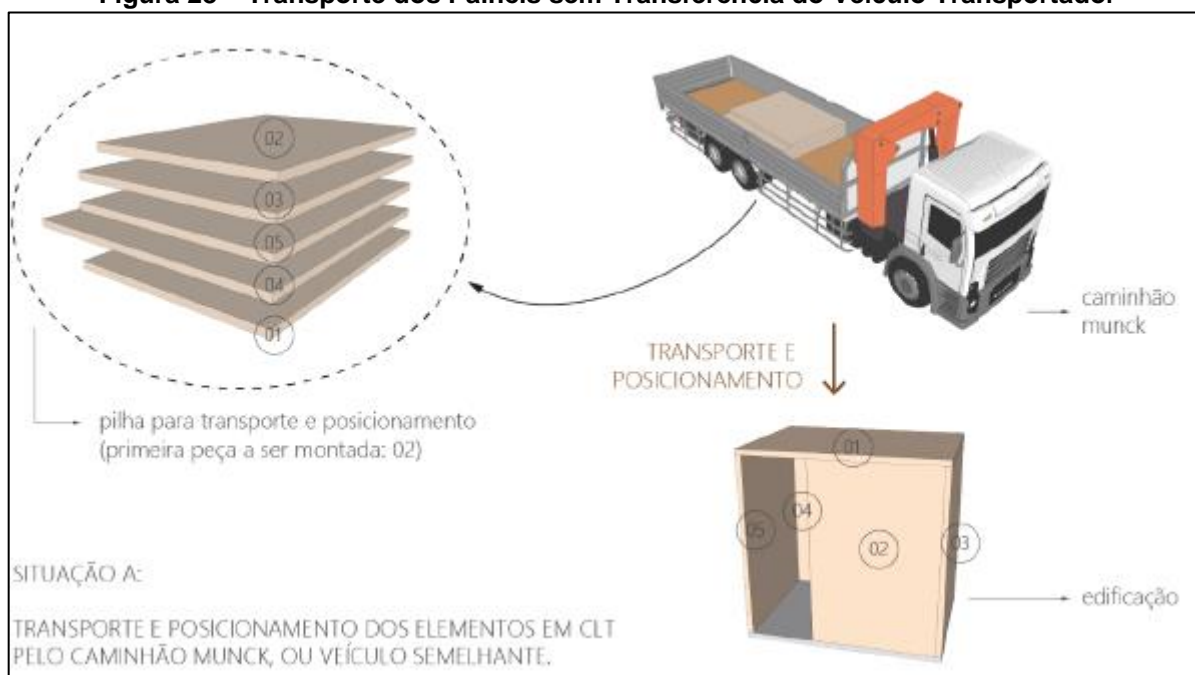
### 2.3.3.2. Plano de Carga

Com o plano de montagem elaborado, deve-se planejar o transporte dos elementos em CLT para o canteiro de obras e como as peças serão dispostas dentro do veículo de transporte (OLIVEIRA, 2018).

O plano de carga deverá considerar as quantidades e o tamanho das peças, possibilidade de armazenamento, a sequência de montagem e os equipamentos utilizados (OLIVEIRA, 2018).

A disposição e ordenamento das peças no veículo de transporte depende de como será realizada a montagem. Caso o veículo transportador seja o mesmo que executará o içamento e montagem dos elementos em CLT, a primeira peça a ser colocada no veículo será a última montada em obra e a última peça inserida no veículo será a primeira peça a ser montada em obra, como demonstrado na Figura 28. Caso o veículo de transporte não seja o que executará a montagem da edificação, mas servirá como armazenador, não havendo transferência dos painéis do veículo transportador para outro lugar como depósitos, sendo os elementos em CLT removido do caminhão direto para montagem das peças, também seguirá essa disposição das peças no caminhão transportador.

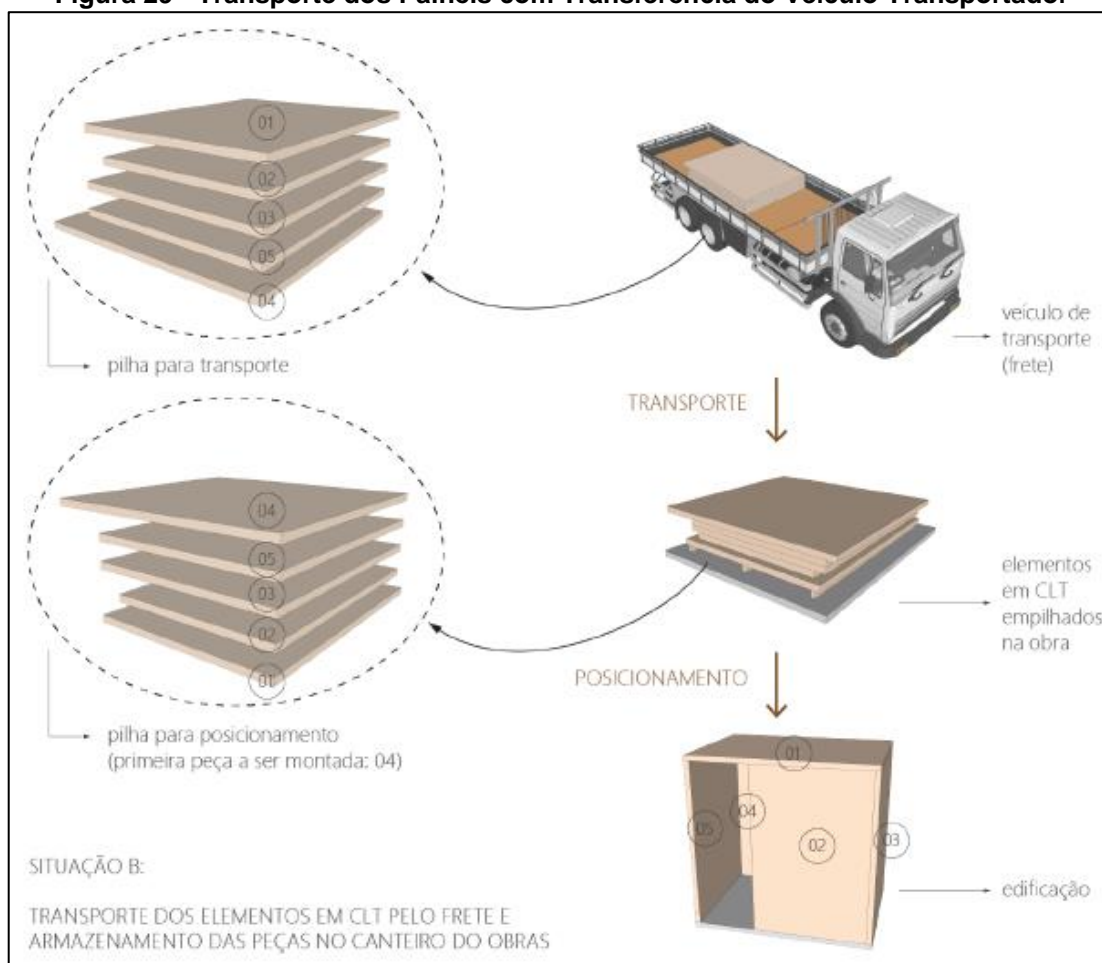
**Figura 28 – Transporte dos Painéis sem Transferência do Veículo Transportador**



Fonte: Oliveira (2018)

Caso haja transferência das peças do veículo transportador para um depósito, e as peças serão levadas para montagem a partir do depósito, o ordenamento das peças dentro do veículo transportador é o inverso da situação anterior. Ou seja, a primeira peça que será montada na obra será a primeira inserida do veículo, e a última peça da montagem será a última do veículo, para quando feita a transferência, a primeira peça a ser montada estará no topo da pilha, como demonstrado na Figura 29.

**Figura 29 - Transporte dos Painéis com Transferência do Veículo Transportador**



Fonte: Oliveira (2018)

Sendo assim:

“Percebe-se que o Plano de Carga visa melhorar e agilizar a etapa a montagem da edificação. Quando o frete é organizado sem que se leve em conta a sequência de montagem, possivelmente, será preciso movimentar os elementos construtivos mais vezes do que, de fato, necessário. Isso porque as primeiras peças a serem movimentadas, dificilmente, estarão acima de todas as outras.” (OLIVEIRA, 2018, p. 103)

### 2.3.3.3. *Transporte dos Painéis*

“Os limites regulamentados para transporte de cargas no território brasileiro constam na Resolução no 210, de 2006, do Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN (CONTRAN, 2006).” (OLIVEIRA, 2018, p. 105). Este documento estabelece o peso e as dimensões máximas para os veículos de transporte bem como certas condicionantes.

A largura máxima é de 2,60 metros, altura máxima de 4,40 metros e comprimento máximo para veículos não articulados é de 14,00 metros, o peso varia conforme a tipologia de veículo e o número de eixos. É possível a circulação dos veículos com dimensões superiores a comentadas acima desde que portadores de uma Autorização Especial de Trânsito (AET), porém para largura superior a 3,20 metros, comprimento superior a 5,00 metros e/ou altura superior a 5,00 metros deve circular com escolta credenciada ou escoltada pela Polícia Federal (OLIVEIRA, 2018).

### 2.3.3.4. *Posicionamento*

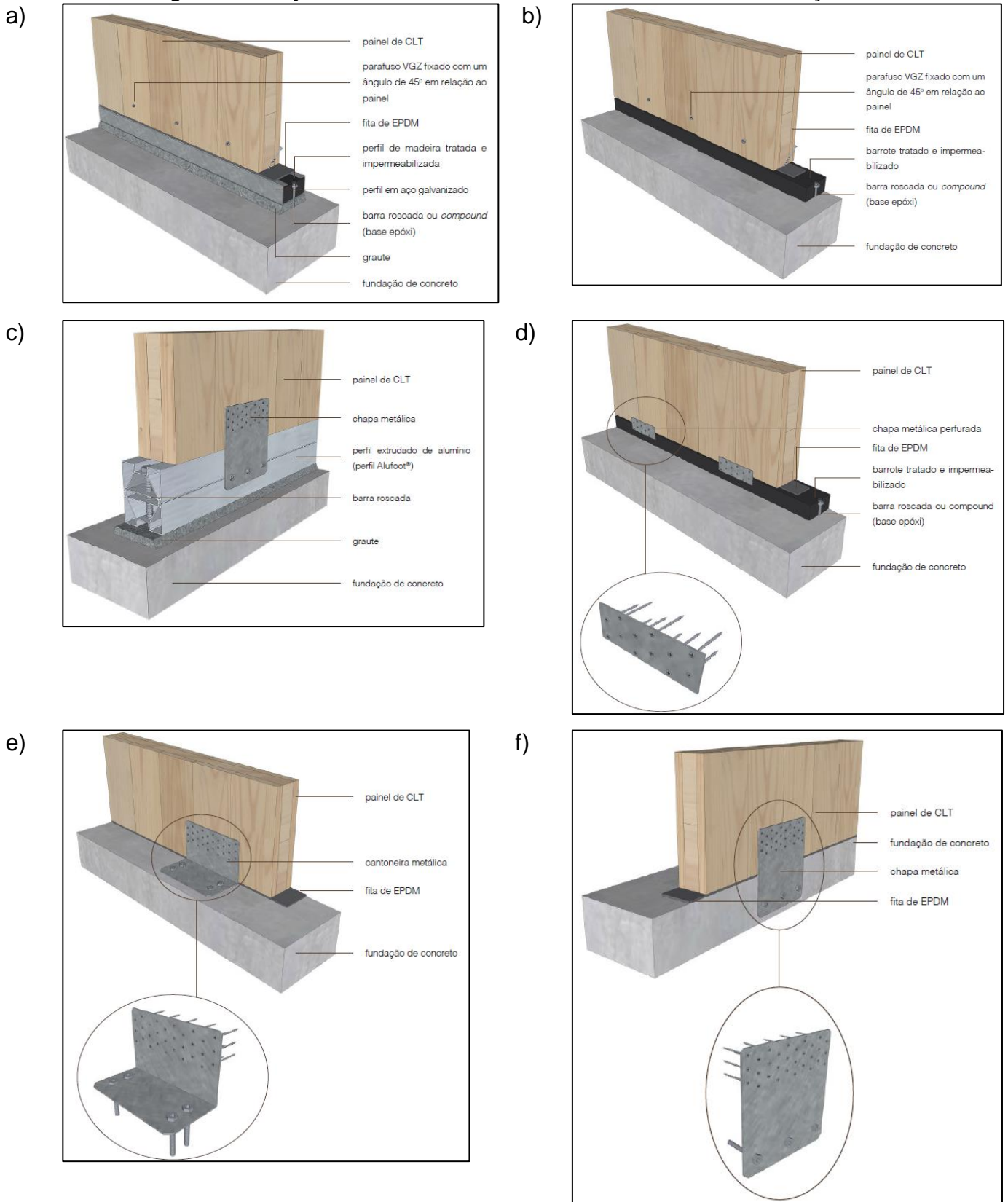
Devido às grandes dimensões dos painéis e elevado peso, a movimentação na etapa de montagem deve ser executada com equipamentos mecânicos como guias, guindastes ou caminhões munck (OLIVEIRA, 2018).

### 2.3.3.5. *Conexões*

As conexões para esse sistema construtivo são feitas por parafusos estruturais tipo HSB ou VGZ, perfis e cantoneiras (conexões) metálicas. Existe uma grande variedade de conexões, além da possibilidade de se desenvolver novos dispositivos conforme necessidade de projeto.

Na Figura 30 são exemplificados alguns detalhes construtivos e os tipos de conexões para conectar os painéis CLT à fundação. A Figura 30-a é uma das melhores práticas visto o maior isolamento do painel de possíveis contato com água, além de possibilitar o nivelamento da placa com o *grout* e o perfil metálico. A Figura 30-c também é uma boa solução, porém a empresa fornecedora do perfil metálico ainda não trabalha no Brasil.

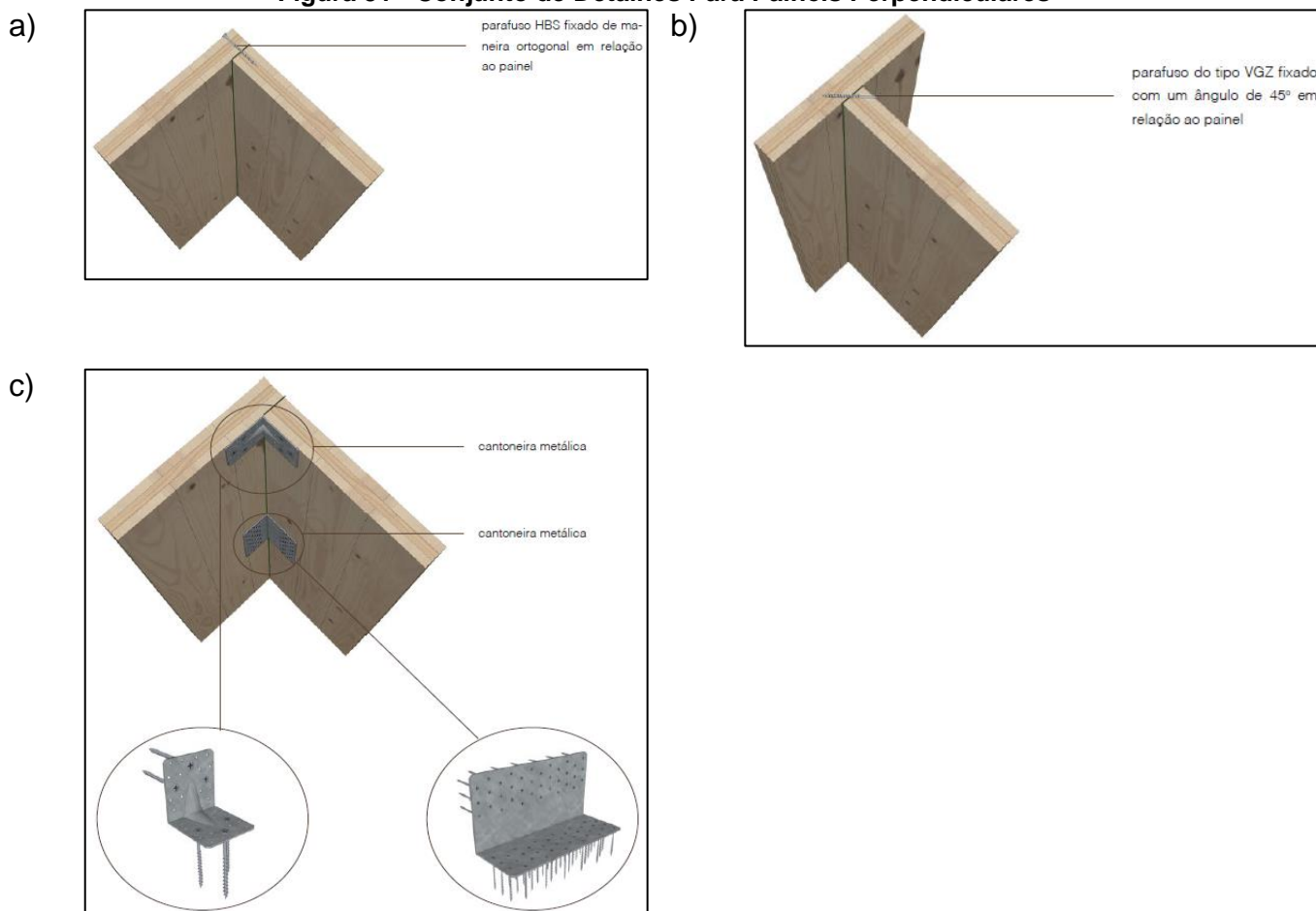
**Figura 30 - Conjunto de Detalhes Para Conexões de Painéis com Fundações**



Fonte: Crosslam (2021b)

Na Figura 31 temos a representação da conexão perpendicular entre as placas de CLT, seja através de parafusos HSB ou VGZ (Figura 31-a e Figura 31-b respectivamente), ou por meio de cantoneiras metálicas (Figura 31-c)

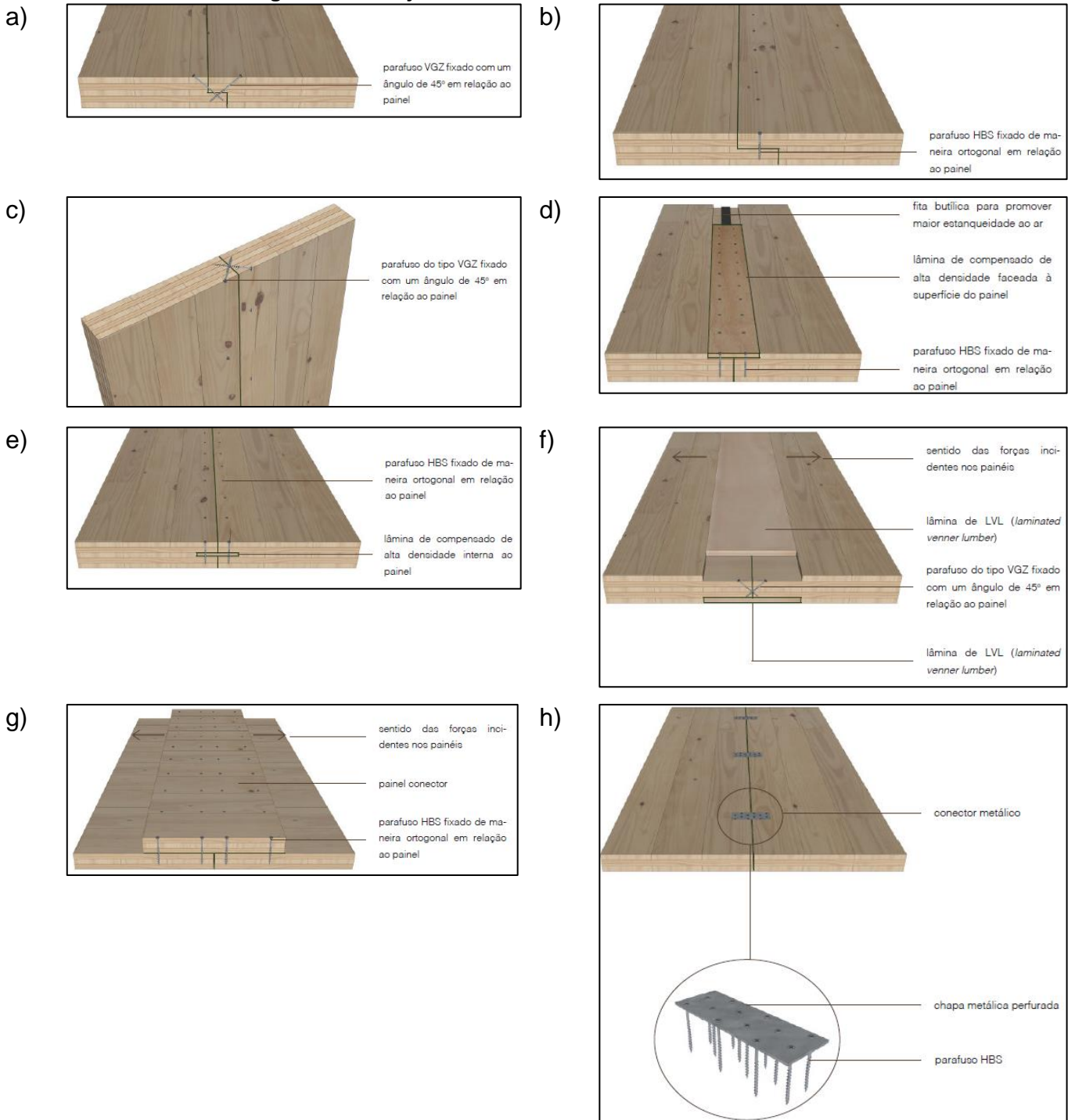
**Figura 31 - Conjunto de Detalhes Para Painéis Perpendiculares**



Fonte: Crosslam (2021b)

A Figura 32 apresenta conexão dos painéis alinhados, sendo que a proposta da Figura 32-c não pode ser utilizada para painéis do tipo laje devido a fragilidade da conexão para tal solicitação. A Figura 32-g não é recomendada para paredes devido à saliência da peça conectora.

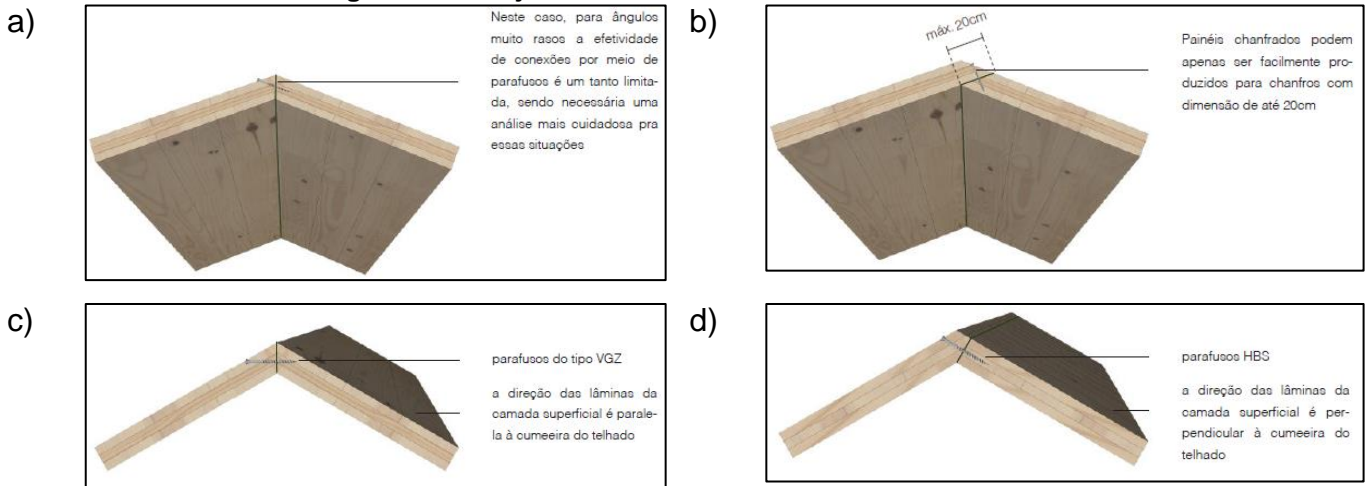
**Figura 32 – Conjunto de Detalhes Para Painéis Alinhados**



Fonte: Crosslam (2021b)

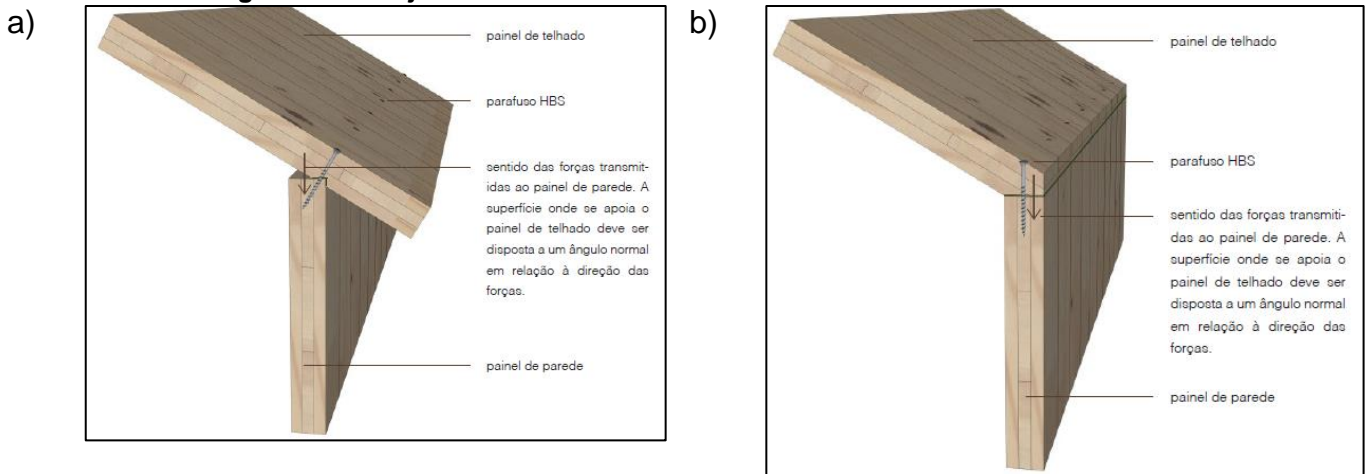
Na Figura 33 e na Figura 34, apresentam-se os detalhes da conexão de placas inclinadas e da conexão de dos telhados com as paredes verticais, respectivamente.

**Figura 33 - Conjunto de Detalhes Para Painéis Inclinados**



Fonte: Crosslam (2021b)

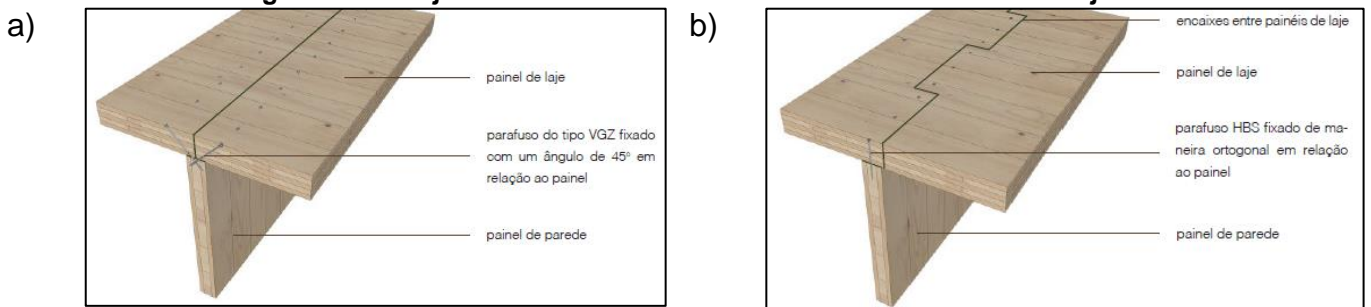
**Figura 34 - Conjunto de Detalhes Para Conexão de Paredes com Telhados**

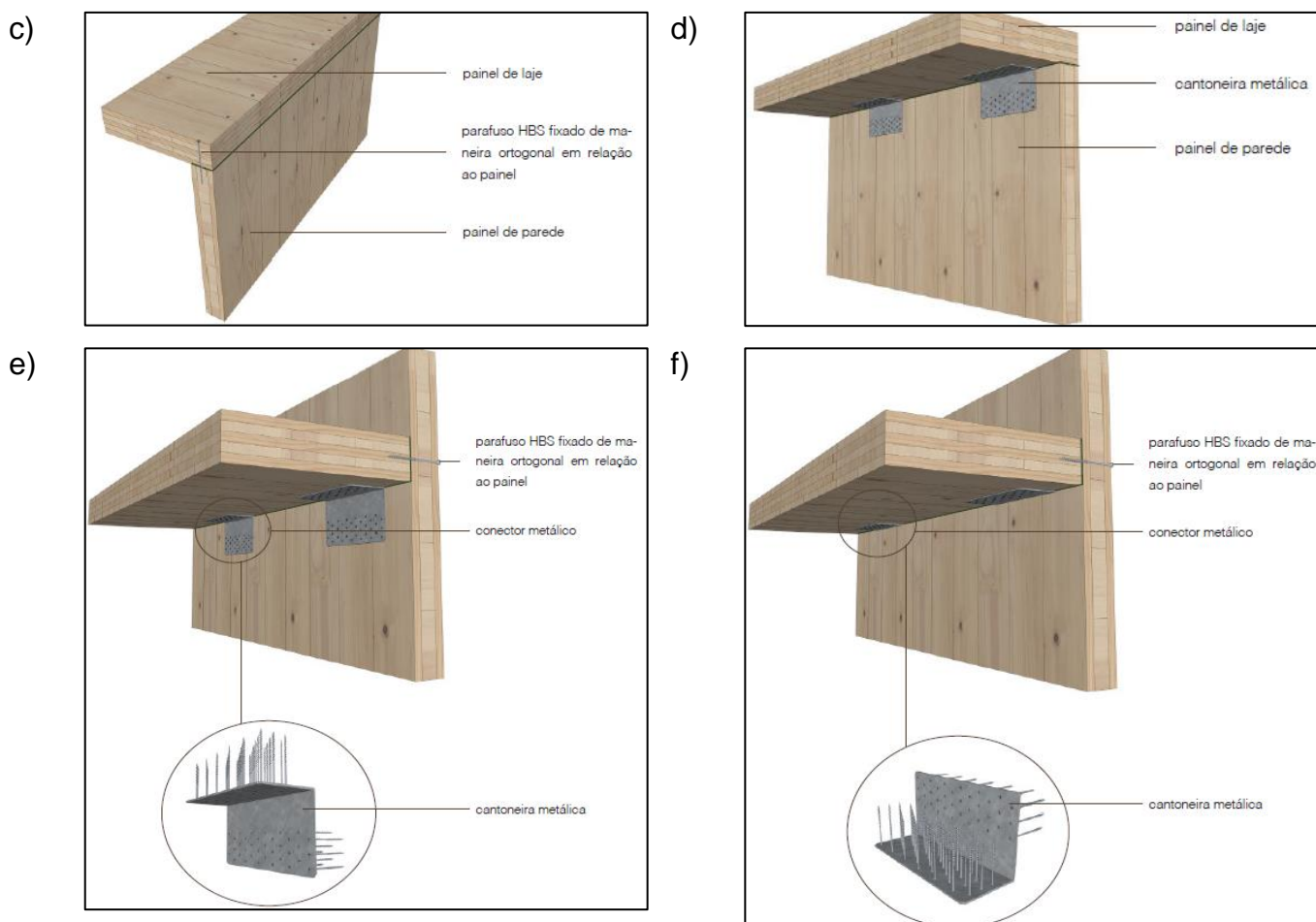


Fonte: Crosslam (2021b)

Ademais, a Figura 35 representa as possíveis conexões das placas CLT utilizadas como piso e/ou lajes com as paredes verticais

**Figura 35 - Conjunto de Detalhes Para Conexão de Paredes com Lajes**





Fonte: Crosslam (2021b)

### 2.3.3.6. Instalações Prediais

As instalações elétricas podem ser executadas aparente através da fixação da tubulação dos painéis CLT com conduítes expostos, ou pode-se embutir os conduítes dentro do CLT através da usinagem no painel prevendo espaço para as tubulações e caixas de tomadas (OLIVEIRA, 2018).

Quanto às instalações hidráulicas, estas não podem ser embutidas no CLT visto a possibilidade de vazamentos resultando na biodeterioração da madeira. Nas áreas molhadas são executados *shafts* ou paredes hidráulicas, confeccionadas em *drywall*, dispostas em frente ao painel para passagem das tubulações em frente ao painel de CLT (OLIVEIRA, 2018).

Nas lajes de piso, as instalações devem correr abaixo dos painéis, o que resulta na necessidade da instalação de forros para edifícios de múltiplos pavimentos, principalmente em ambientes molhados (OLIVEIRA, 2018).

### 2.3.3.7. Acabamentos

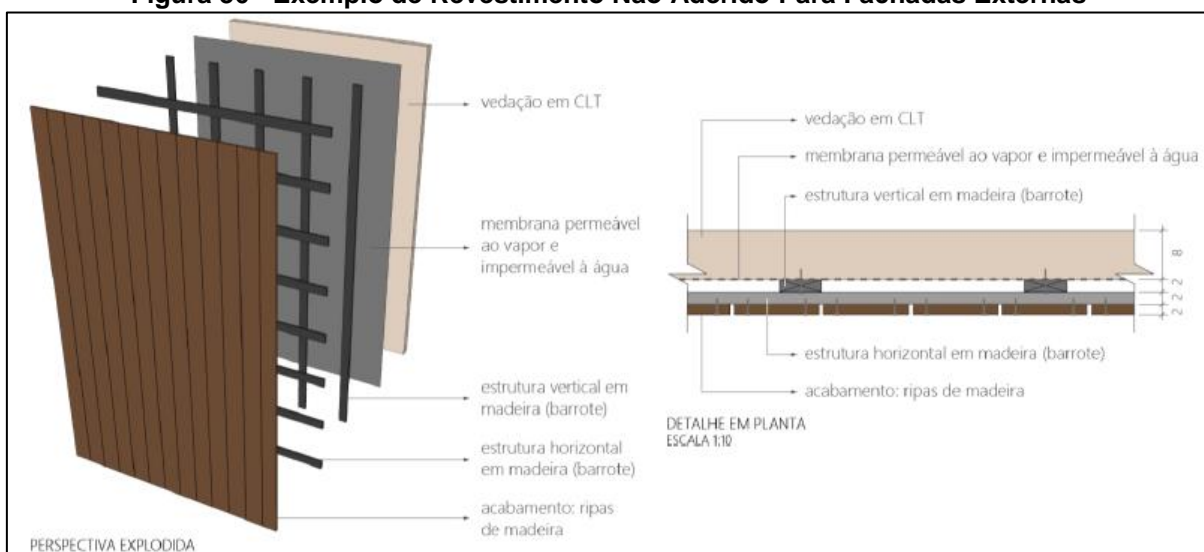
Conforme Oliveira (2018), as peças de CLT podem receber uma variedade de revestimentos, e a sua escolha depende do uso pretendido para os elementos. Os revestimentos podem ser do tipo aderido, fixados diretamente na superfície da madeira, e não aderido, que são revestimentos instalados com auxílio de sistema fixador

Devido à higroscopia da madeira, recomenda-se como material de proteção aqueles que não criam película, como *stain*, pois a movimentação da peça (expansão e retração) podem ocasionar no craquelamento das películas do tipo verniz. Pelo mesmo motivo, nos ambientes que receberão revestimento cerâmico nas paredes, recomenda-se primeiro a instalação de placas de gesso acartonado sobre o CLT e as peças cerâmicas sejam assentadas nas placas de gesso acartonado, de modo que o gesso acartonado absorva a movimentação da estrutura em CLT e não transmita para o revestimento cerâmico (OLIVEIRA, 2018).

Caso não se deseje a madeira como acabamento final do ambiente, pode-se adotar placas de gesso acartonado sobre a superfície que será pintada posteriormente. Oliveira (2018) ressalta ainda que em ambientes molhados deve-se adotar placas de gesso acartonado resistente à umidade.

“Para elementos construtivos localizados no perímetro da edificação, ou seja, de uso externo, não são utilizados os mesmos revestimentos citados. A grande maioria das edificações em CLT construídas no Brasil adotou, nos elementos externos, a aplicação de uma fachada, a qual se enquadra na categoria dos revestimentos não-aderidos. De modo a se garantir a devida ventilação desta fachada, empregam-se perfis metálicos ou em madeira fixados nos elementos em CLT de modo a afastar o revestimento final da superfície dos painéis [...]. Como revestimento final podem ser especificados os mais diversos materiais, a exemplo de placas cimentícias, ripas de madeira, telhas metálicas, dentre outras opções disponíveis no mercado.” (OLIVEIRA, 2018, p.119)

**Figura 36 - Exemplo de Revestimento Não Aderido Para Fachadas Externas**



Fonte: Oliveira (2018)

O pinus, material constituinte do CLT, possui baixa dureza superficial. O resultado indesejado que pode aparecer são depressões nas placas de Pinus quando utilizadas como laje devido ao impacto contínuo e pontual devido a circulação de pessoas, principalmente devido a sapatos de salto alto. Quando não se deseja o aparecimento de depressões nas peças deve-se revestir as lajes (OLIVEIRA, 2018).

Por fim, Oliveira (2018) comenta da necessidade de executar um sistema de impermeabilização das peças, quando utilizadas como lajes de piso externas e/ou lajes de cobertura, através da adoção de mantas de PVC, de EPDM, de EVA, ou com proteção igual ou superior.

**Figura 37 - Impermeabilização das Lajes e CLT**



Fonte: Oliveira (2018)

## 2.4 *Building Information Modeling (BIM)*

A Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* – BIM) é “uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção” (EASTMAN *et al.*, 2021, p.14).

Em BIM, os modelos da construção apresentam:

- a) “Componentes de construção que são representados por objetos (representações digitais) que levam consigo atributos gráficos e de dados computáveis que os identificam para aplicativos de *software*, bem como regras paramétricas que lhes permitem ser manipulados de maneira inteligente
- b) Componentes que incluem dados que descrevem como eles se comportam, conforme necessário para análises e processos de trabalho, tais como quantificação, especificação e análise energética.
- c) Dados consistentes e não redundantes, de forma que as modificações nos dados dos componentes sejam representadas em todas as visualizações dos componentes e nos conjuntos dos quais eles fazem parte.” (EASTMAN *et al.*, 2021, p.14).

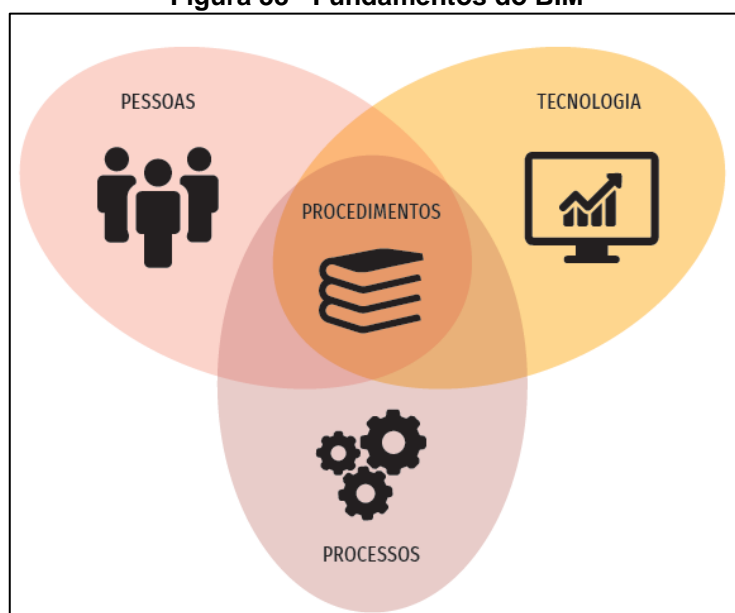
Além de um produto com componentes parametrizados, o BIM também abrange ferramentas e processos. Conforme o *National Building Modeling Information Standard* (NIBS, 2007 apud SCHEER, AYRES FILHO, 2009, p. 592), o BIM é entendido como:

- a) Produto: modelo da edificação, isto é, entrega do processo de projeto baseada em padrões abertos e criada por ferramentas de informação.
- b) Ferramenta: aplicativos que interpretam o modelo da edificação e agregam informações e representações a ele.
- c) Processo: atividades desenvolvidas durante todo o ciclo de vida da edificação, por diferentes disciplinas e profissionais em colaboração.

O conceito de BIM continua expandindo. Inicialmente a discussão da implementação da metodologia BIM dava-se a nível de *software* e *hardwares*. Mas para uma mudança efetiva, pessoas e processos devem ser incluídos. Assim, o BIM é composto por “três dimensões fundamentais: tecnologia, pessoas e processos, conectadas entre si por procedimentos, normas e boas práticas (ABDI, 2017, p. 5).

A dimensão “tecnologia” é toda a infraestrutura necessária para a operação, como *softwares*, *hardwares*, redes, segurança e sistemas de armazenamento. A dimensão “pessoas” envolve a capacidade dos colaboradores trabalharem em equipe, serem abertos às mudanças, manterem-se atualizados tecnologicamente, buscarem experiências e capacitações. E a dimensão “processo” contempla os procedimentos internos e externos, como fluxo de trabalho, definições dos entregáveis, dos cronogramas, das comunicações e especificação dos arquivos, do nível de informação e detalhamento (ABDI, 2017).

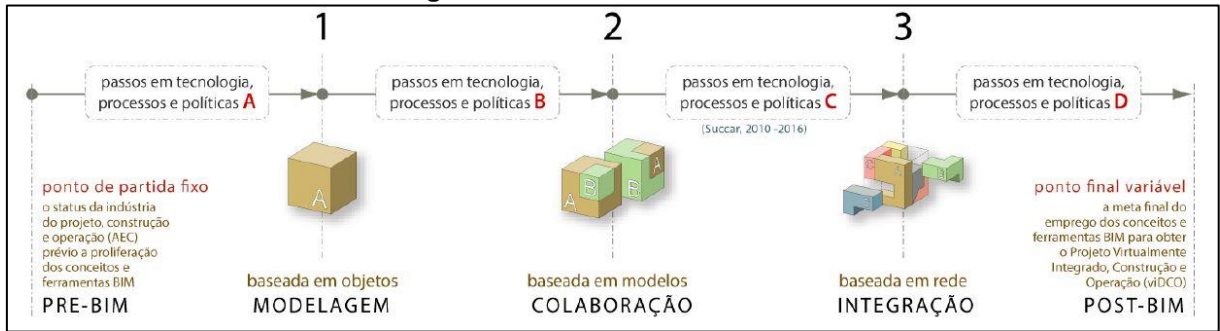
**Figura 38 - Fundamentos do BIM**



Fonte: ABDI (2017)

Esse conceito de BIM vem sendo embasado nas importantes contribuições de Succar e colaboradores internacionais nesse tema. Para Succar (2010), o domínio do BIM é composto por três campos de atividades distintos, mas interligados entre si: tecnologia, processo e política. Conforme ilustra a Figura 39, estes campos têm suas capacidades, ou seja, habilidades medidas em três estágios: modelagem do objeto, colaboração na modelagem e integração da rede atuante.

Figura 39 - Fundamentos do BIM



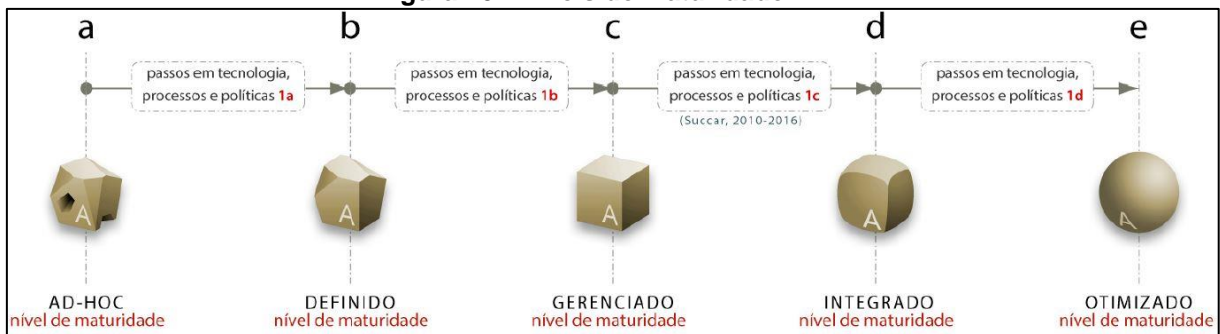
Fonte: SUCCAR (2010) traduzido por BIME Initiative (2022)

A medição destes estágios é realizada com lentes conforme a necessidade do dimensionamento. E o resultado dessa medição pode ser classificado de acordo com os níveis de maturidade.

#### 2.4.1 Nível de Maturidade BIM

“A Maturidade BIM se refere às melhorias graduais e contínuas em qualidade, repetitividade e previsibilidade dentro da Capacidade BIM disponível. A Maturidade BIM é medida através do Índice de Maturidade BIM, o qual tem cinco níveis” (SUCCAR, 2009, 2010, 2012 apud BIME INITIATIVE), que progridem de 1 a 5 conforme ilustra a Figura 40: (a ou 1) inicial ou *Ad-hoc*, (b ou 2) definido, (c ou 3) gerenciado, (d ou 4) integrado), (e ou 5) otimizado.

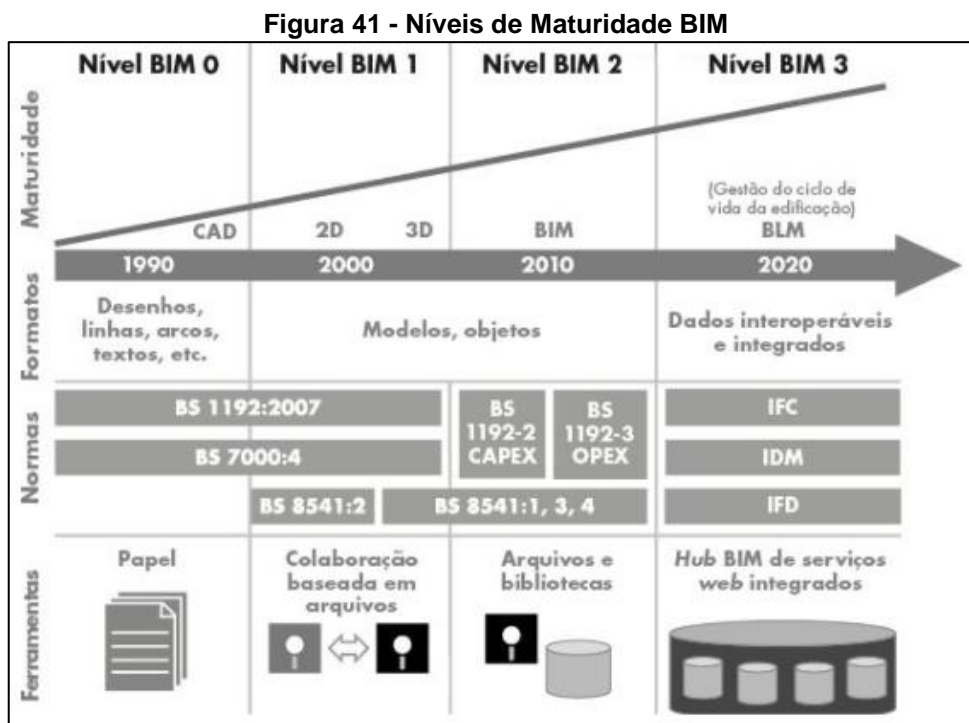
Figura 40 - Níveis de Maturidade BIM



Fonte: SUCCAR (2010) traduzido por BIME Initiative (2022)

“Em geral, a progressão de níveis de maturidade mais baixos para mais altos indicam (i) melhor controle por meio da minimização de variações entre metas e resultados reais, (ii) melhor previsibilidade e previsão ao diminuir a variabilidade em competência, desempenho e custos e (iii) maior eficácia em atingir metas definidas e estabelecer novas metas mais ambiciosas (SUCCAR, 2010, p. 26).

Eastman *et al.* (2021) também descreve estes níveis de maturidade, como mostrado na Figura 41.



Fonte: EASTMAN *et al.*, 2021

O Nível BIM 0 é caracterizado como o CAD 2D, não gerenciado, com informações compartilhadas por desenhos no papel ou digitalmente através do PDF (TDM STUDIO, 2017, tradução nossa).

O Nível BIM 1 é caracterizado pelo uso do 3D para trabalhos conceituais e o 2D para elaboração dos projetos visando alvarás e/ou licenças públicas com possível disponibilização para produção. Tais desenhos são compartilhados através de um ambiente comum de dados (CDE) porém não são compartilhados com todos os membros da equipe do empreendimento (TDM STUDIO, 2017, tradução nossa).

No Nível BIM 2 há um trabalho colaborativo interdisciplinar, onde cada envolvido desenvolve seu próprio modelo, não existindo o trabalho em um modelo único e compartilhado. As informações deste nível são compartilhadas através de um formato de arquivo comum entre as disciplinas envolvidas permitindo que qualquer pessoa possa vincular os dados de outros projetos com os seus e verificando as informações com base em um modelo federado. Assim, qualquer *software* BIM utilizado durante o desenvolvimento do modelo deve ser capaz de exportar um arquivo

no formato *Industry Foundation Classes* (IFC) ou *Construction Operations Building Information Exchange* (COBie) (TDM STUDIO, 2017, tradução nossa).

O Nível BIM 3, conhecido como *OpenBIM*, é representado pela colaboração total interdisciplinar utilizando um modelo único de projeto que é compartilhado e mantido em um local de comum acesso entre os envolvidos, como a nuvem (rede global de servidores). Todos os responsáveis podem acessar e realizar modificações no mesmo modelo eliminando problemas devido a informações conflituosas (TDM STUDIO, 2017, tradução nossa).

#### 2.4.2 *Level Of Development* (LOD)

O *Level of Development* (LOD), ou nível de desenvolvimento, trata-se de uma referência criada pela AIA (*American Institute Architects*) que permite aos profissionais da arquitetura, engenharia e construção fazer especificações do conteúdo e da confiabilidade dos modelos desenvolvidos com elevado nível de detalhamento em várias etapas durante o projeto e a construção (*BIM FORUM*, 2020, tradução nossa).

Esta divisão é feita em 6 níveis de LOD listados abaixo (*BIM FORUM*, 2019, tradução nossa):

- a) LOD 100: Os elementos são representados graficamente como símbolos ou representações genéricas, as informações são anexadas a elementos que mostram a sua existência, mas não especificam precisamente sua forma, tamanho ou localização;
- b) LOD 200: Os elementos são representados dentro do modelo com quantidade, forma, localização e orientação aproximada. Informações não gráficas também podem ser inseridas dentro do modelo;
- c) LOD 300: Os elementos são representados em termos de quantidades, tamanho, forma, localização e orientação podendo ser medidos diretamente no modelo sem recorrer a informações não modeladas. Define-se a origem do projeto e sua localização com precisão;

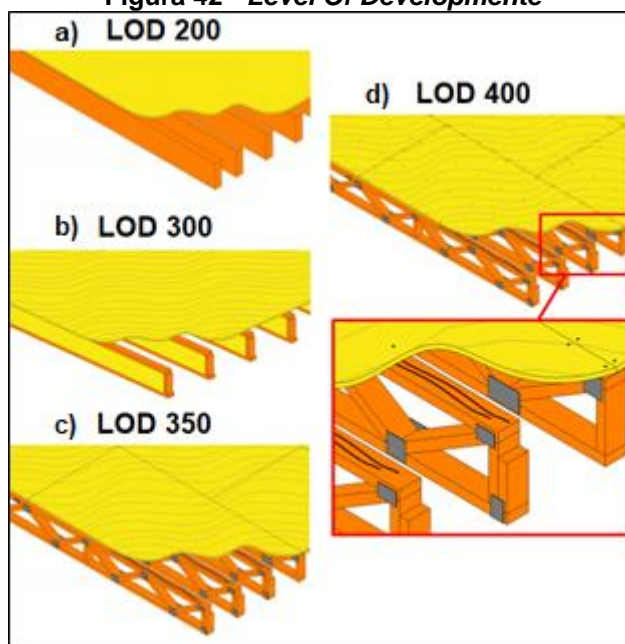
- d) LOD 350: As peças necessárias para a coordenação dos elementos com os seus próximos são modeladas, incluindo os suportes e as conexões;
- e) LOD 400: Os elementos são representados graficamente dentro de um modelo desenvolvido com detalhes e precisão necessária para sua fabricação. Quantidades, tamanhos, formas, localização e orientação podem ser levantados diretamente no modelo sem a necessidade de recorrer a informação complementar como notas;
- f) LOD 500: O modelo é uma representação conforme o executado em campo em termos de tamanho, localização, quantidade e orientação, sendo apropriado para as etapas de operação e manutenção da construção.

A Figura 42 apresenta um piso de madeira em *wood frame* em seus diferentes níveis de detalhamento. Na Figura 42 - a) tem-se o LOD 200 com a definição aproximada da orientação, profundidade e largura dos barrotes/treliças e a presença da chapa estrutural. No LOD 300, Figura 42 – b), possui tamanho, profundidade e inclinação dos barrotes/treliça definidos, bem como o espaçamento entre barrotes/treliças e a elevação final. Já o LOD 350, Figura 42 – c), há a modelagem mais detalhada da treliça. Por fim, a Figura 42 – d) representa o LOD 400 onde se tem a representação dos selantes, dos pregos e colas (*BIM FORUM*, 2019, tradução nossa).

É interessante observar como o Caderno de Especificações de Projetos em BIM do estado de Santa Catarina (2018, p.17) faz a associação dos LOD com as fases do projeto arquitetônico (ANEXO D).

Ainda vale destacar que não há um entendimento consolidado entre os autores sobre as classes de LOD, assim o conceito que está apresentado acima no que tange a classificação do LOD não é único, tal conceito tornou-se abrangente, variando entre as diferentes referências bibliográficas e as diferentes realidades empresariais. Assim destacasse a necessidade de entender o conceito de LOD, porem a classificação de LOD pode variar conforme diferentes realidades.

Figura 42 - Level Of Developmente



Fonte: BIM Forum (2019) – Adaptado pelo Autor

## 2.5 Objetos Paramétricos

Eastman *et al.* (2021) comenta que para o bom entendimento de BIM, é importante entender o conceito de “objetos paramétricos”, sendo que um conjunto de classes de objetos pode ser chamado de “biblioteca de objetos BIM”, “biblioteca” ou “família”. Eastman *et al.* (2021) define os objetos paramétricos da seguinte forma:

- “Consistem em definições geométricas e dados e regras associadas.
- A geometria é integrada de maneira **não redundante** e não permite inconsistências. Quando um objeto é mostrado em 3D, a forma não pode ser representada internamente de maneira redundante, por exemplo, como múltiplas vistas 2D. Uma planta e uma elevação de dado objeto devem sempre ser consistentes. As dimensões não podem ser “falsas”.
- As regras paramétricas para os objetos **modificam automaticamente as geometrias associadas** quando um novo objeto é inserido em um modelo de construção ou quando modificações são feitas em objetos associados. Por exemplo, uma porta se ajustará automaticamente a uma parede, um interruptor se localizará automaticamente próximo ao lado certo de porta, uma parede se redimensionará automaticamente para se juntar a um teto ou telhado, etc.
- Os objetos podem ser definidos em **diferentes níveis de agregação**, então pode-se definir uma parede, assim como seus respectivos componentes. Os objetos podem ser definidos e gerenciados em qualquer número de níveis relevantes de uma hierarquia. Por exemplo,

se o peso de um subcomponente de uma parede muda, muda o peso de toda a parede também deve mudar.

- As regras dos objetivos podem identificar quando determinada modificação viola a **viabilidade o objeto** no que diz respeito a tamanho, construtibilidade, etc.
- Os objetos têm a habilidade de **vincular-se a ou receber, divulgar ou exportar conjuntos de atributos**, por exemplo, materiais estruturais, dados acústicos, dados de energia e similares, para outras aplicações e modelos.” (EASTMAN *et al.*, 2021, p.17).

Klotnicki (2020) comenta que dentro do Autodesk REVIT chama os objetos como famílias, que são definidos como grupos de elementos com propriedades comuns (parâmetros) e com representação gráfica relacionada.

Pode-se entender que os “dados e regras associados”, citado por Eastman *et al.* (2021), são os parâmetros que caracterizam o objeto e que definem certos atributos como as dimensões volumétricas, os dados físicos do elemento, os dados térmicos, entre outros.

## 2.6 Softwares BIM Para Construções Em Madeira

Como colocado anteriormente, para projetar com detalhes da construção são necessárias ferramentas, como *softwares* específicos para a construção civil. Com a difusão do BIM, a disponibilidade de *softwares* e aplicativos para projetos da construção civil vem aumentando. Alguns *softwares* BIM ou aplicativos que possibilitam a modelagem dos elementos em madeira são: *Autodesk Revit*, *hsbDesing*, *Wood Framing*, *Sema Software* e *CADWORK*.

O Revit é um *software* da Autodesk utilizado para o desenvolvimento de projetos multidisciplinares de forma coordenada e com maior eficiência em um ambiente virtual único utilizando a metodologia BIM (AUTODESKa, 2021). Dentro da plataforma do Revit é possível criar componente paramétricos; extrair tabelas e quantitativos; modelar, detalhar e documentar projetos arquitetônicos, estruturais e de instalações; ferramentas e acesso a modelos analíticos; design generativo, e mais (AUTODESKb, 2021).

O *hsbDesing* é um *plug-in* do Revit desenvolvido pela empresa HSBKA. Este *plug-in* é dividido em alguns módulos, que são: *hsbTimber*, para a modelagem

de estruturas em madeira interligadas ou unidas por conexões; hsbStickFrame, para o desenvolvimento de paredes em woodframe; hsbCLT, para confecção de painéis em CLT. Através do programa, é possível eliminar o processo de repetição associado à modelagem da construção, coordenar os projetos multidisciplinares, analisar e simular os sistemas e as estruturas para obter o melhor resultado, a visualização 3D, a modelagem paramétrica da edificação, entre outras coisas. (HSBCAD, 2021).

O *Wood Framing* é um *plug-in* do *software* Revit desenvolvido pela empresa AGACAD. O *software* é composto por um grupo de soluções para a construção de pisos, paredes e telhados de madeira, utilizado para projeto, análise, documentação, fabricação e construção da edificação. Este *software* incentiva o uso de madeira massiva, abrangendo soluções para painéis pré-fabricados, vigas e treliças, madeira lamelada cruzada (CLT), entre outros. Como o *software* *Wood Framing* é baseado no *software* Revit, torna-se mais fácil a manipulação dos parâmetros da construção, a geração dos detalhes necessários para executar a obra, o encontro de conflitos com outros sistemas e a atualização dinâmica do modelo, resultando no detalhamento sempre atualizado e preciso (AGACAD, 2021).

O Sema é um *software* baseado na estrutura modular, sendo usado por carpinteiros e marceneiros, assim como para fábricas que trabalham com madeira em grande escala e casas pré-fabricadas (SEMA, 2021). Para madeira, o *software* trabalha com o desenvolvimento de plantas 2D, visualização 3D, cobertura, paredes, pré-fabricação, conectores, fabricação e análise estrutural.

O CADWORK é um *software* CAD/CAM utilizado para construção em madeira, caixilharia e carpintaria, mas pode trabalhar com outros materiais. É um *software* completo e flexível, cobrindo cada etapa do projeto, da concepção, codificação, produção e gerenciamento no local da obra (CADWORK, 2021).

Embora a plataforma seja em CAD/CAM, é possível fazer a interoperabilidade com *softwares* BIM, através da extensão IFC. O CADWORK favorece o *OpenBIM*, permitindo aprimoramento do projeto e a inserção no modelo digital, sendo possível enviar os dados de produção direto do modelo BIM para os centros de usinagem ou a linha da montagem (CADWORK, 2021).

Painéis pré-fabricados, casas modulares, construções com toras, paredes de madeira maciças, MLC, construções híbridas, bem como construções em madeira

engenheirada já foram desenvolvidos dentro da plataforma do CADWORK com o detalhamento necessário (CADWORK, 2021).

O processo automático das montagens, a lista de peças, o detalhamento de cada peça e as montagens de paredes geradas pelo *software* permitem que empresas de pequeno porte também planejem as construções de madeira de forma mais econômica, podendo ser fabricada em várias máquinas ao mesmo tempo (CADWORK, 2021). Este trabalho utilizará o *software* Revit como será detalhado no método e nos resultados a seguir.

### 3 MÉTODO

Conforme as definições apresentadas por Gil (2002), este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa aplicada com abordagem qualitativa para aprofundar o conhecimento sobre o tema de projeto BIM de construções em CLT no Brasil. O objetivo foi explorar as possibilidades deste sistema para a realidade local. Para isso, foi selecionado um estudo de caso para aplicar as informações coletadas sobre o CLT no projeto arquitetônico, observadas principalmente mediante pesquisas bibliográficas.

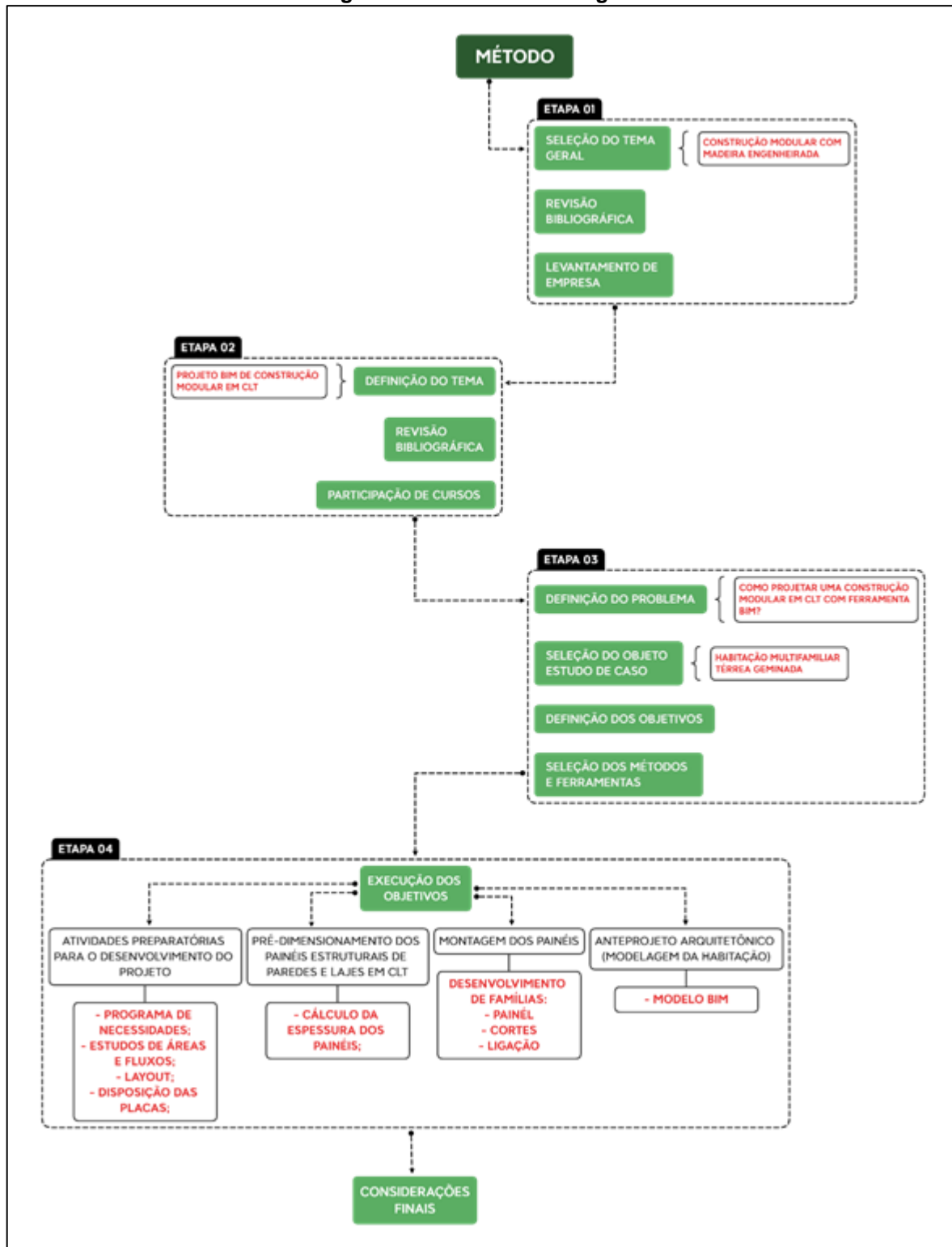
A Figura 43 apresenta o fluxo metodológico adotado por este trabalho, sendo dividido em 5 partes.

Na primeira etapa da pesquisa selecionou-se o tema geral de estudo “construção modular com madeira engenheirada” de acordo com as justificativas apresentadas anteriormente. Com isso, fez-se uma revisão bibliográfica abrangente com as palavras chaves: construção modular; madeira engenheirada; madeira massiva e modelagem BIM. Nesta etapa também foi realizada uma breve pesquisa comercial na internet e com empresas brasileiras que trabalham com construção em madeira sobre os *softwares* mais utilizados para projetos em madeira.

Na segunda etapa houve a delimitação do tema para: “projeto BIM de construção modular com sistema CLT” onde foram aprofundadas as pesquisas bibliográficas sobre: construção modular, CLT, *softwares* BIM para estruturas de madeira. Estes tópicos foram detalhados na revisão deste trabalho. Além disso, o autor participou do curso “Projeto e construção em CLT”, “Concepção de Estruturas de Madeira”, realizado em outubro e novembro de 2021, ambos pela Escola Coletiva

de Projetos e “All In Modular Week” realizado em novembro de 2021 ministrado por Felipe Savassi.

Figura 43 - Fluxo Metodológico

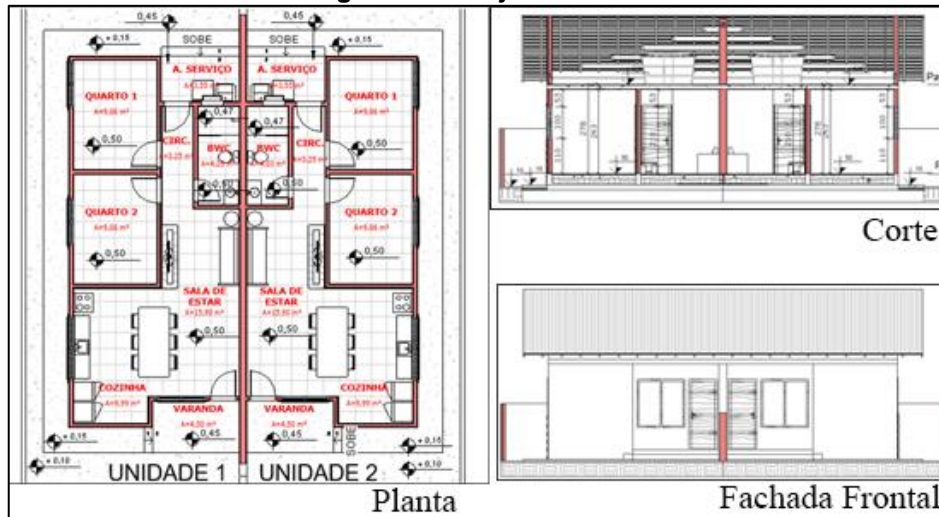


Fonte: Autor

Assim, com maiores detalhes e com base nas lacunas observadas sobre o tema, foi levantado o problema da pesquisa “como projetar uma construção modular em CLT com ferramentas BIM?”. Para responder esta questão, na terceira etapa, foi selecionado um estudo de caso: uma habitação multifamiliar térrea geminada com duas unidades habitacionais para o município de Palhoça, em Santa Catarina.

Este objeto de estudo foi motivado pela experiência do autor enquanto técnico de edificações no projeto e no acompanhamento da execução de residências geminadas com sistema construtivo convencional, como demonstra o projeto na Figura 44. Outro motivo foi a grande quantidade de casas geminadas que estão sendo construídas no município de Palhoça.

**Figura 44 - Projeto Modelo**



Fonte: Autor

Para prosseguir a análise deste estudo de caso, foram definidos objetivos geral e específicos, descritos anteriormente. No Quadro 2, é exposto os objetivos propostos por esse trabalho com as atividades necessárias para alcançá-los, bem como as ferramentas utilizadas e os resultados obtidos em cada etapa.

**Quadro 2 - Objetivos, Atividades, Ferramentas e Resultados**

<b>OBJETIVO GERAL: Desenvolver o projeto de uma habitação modular utilizando o CLT em BIM.</b>		
<b>Objetivo Específico 1: Elaborar o programa de necessidades, estudos de área de ambientes e fluxos de circulação, estudo de layout e disposição inicial das placas</b>		
Atividade	Ferramentas	Resultados
- Elaborar o programa de necessidades; - Fazer estudos de áreas - Estudo de fluxo de circulação e Layout; - Disposição inicial das placas	- Código de Obra e Plano Diretor Municipal - NBR 15.575 - Catálogos com as dimensões comerciais das placas - AutoCAD	Planta baixa com a disposição inicial das placas e que atenda as normas e leis pertinentes
<b>Objetivo Específico 2: Pré-dimensionamento das estruturas de lajes e paredes</b>		
Atividade	Ferramentas	Resultados
- Fazer o pré-dimensionamento das lajes e paredes em CLT	- NBR 6120 - Tabelas de Pré-Dimensionamento da Crosslam - AutoCAD - Excel	Validação da espessura adotada inicialmente
<b>Objetivo Específico 3: Modelagem dos elementos que compõem o sistema CLT</b>		
Atividade	Ferramentas	Resultados
- Modelar os componentes que compõem o sistema CLT	- Catálogo de peças - Catálogo de placas - Autodesk REVIT	Famílias das conexões, cortes e placas
<b>Objetivo Específico 4: Modelagem BIM da edificação em estudo</b>		
Atividade	Ferramentas	Resultados
Modelar uma edificação geminada, ou parte dele, utilizando a <i>software</i> BIM	- Disposição das placas validadas - Famílias dos elementos do sistema CLT - Autodesk REVIT	Modelo BIM do projeto em estudo

Fonte: Autor

### 3.1 Atividades Preparatórias Do Projeto Arquitetônico

Com base no que fora levantado durante a pesquisa bibliográfica, percebeu-se que o projeto modelo não é o mais adequado para a aplicação do sistema construtivo em CLT visto que o projeto em estudo não foi elaborado pensando no conceito que pretendesse utilizar, havendo a possibilidade de melhoria na distribuição no layout arquitetônico da edificação.

Assim desenvolveu-se um projeto mais próximo do modelo apresentado, com os mesmos ambientes e com dimensões e disposição parecidas, buscando melhor atender as peculiaridades do sistema construtivo em CLT.

Para isso definiu-se um Programa de Necessidades com base nos elementos constituintes do projeto modelo e a legislação vigente do município de Palhoça/SC.

Definiu-se então critérios arquitetônicos de hierarquização dos espaços, que permitisse trabalhar com separação de área seca e área molhada. Esta separação busca facilitar o projeto hidráulico, reduzir custos com instalações hidráulicas, diminuir o contato do painel CLT com possíveis fontes de água, bem como mapear, reduzir e compilar as áreas que necessitem de detalhes preventivos para proteção da madeira devido a exposição à umidade.

Além disso, para complementar o programa de necessidades e possibilitar um estudo de layout, utilizou-se da NBR 15.575-1 (ABNT, 2021) para determinar: o mobiliário mínimo para cada ambiente; as dimensões mínimas dos móveis; e circulação. Os Quadros 3 e 4, retiradas do Anexo F da NBR 15.575 (ABNT, 2021), apresentam os móveis e dimensões mínimas à serem considerados para a edificação ter um desempenho mínimo com relação aos cômodos e necessidade humanas de habitar.

**Quadro 3 - Mobiliário Mínimo**

Quarto 1	1 Cama casal, 1 Guarda roupa, 1 Criado mudo
Quarto 2	2 Camas de solteiro, 1 Guarda roupa, 1 Criado mudo ou mesa de estudo
Sala	1 Sofá de 2 ou 3 lugares, 1 estante, 1 poltrona
Circulação	-
Cozinha	1 Fogão, 1 Geladeira, 1 Pia de Cozinha, 1 Armário sobre a pia, 1 Gabinete, 1 Apoio para refeição, 1 Mesa com 4 cadeiras
Banheiro	1 Lavatório, 1 Chuveiro (box), 1 Vaso sanitário
Área de Serviço	1 Tanque, 1 Máquina de lavar roupa
Garagem	-

Fonte: NBR 15.575/2021

Quadro 4 - Dimensões Mínima do Mobiliário

Ambiente	Móvel	Dimensões (m)		Circulação (m)	Observações
		<i>l</i>	<i>p</i>		
Sala de estar	Sofá de 3 lugares com braço	1,7	0,7	Prover espaço de 0,50 m na frente do assento para senta, levantar e circular	Largura mínima deve ser 2,40 m Número mínimo de assentos determinado pela quantidade de habitantes da unidade, considerando o número de leitos
	Sofá de 2 lugares com braço	1,2	0,7		
	Poltrona com braço	0,8	0,7		
	Sofá de 3 lugares sem braço	1,5	0,7		
	Sofá de 2 lugares sem braço	1	0,7		
	Poltrona sem braço	0,5	0,7		
	Estante/armário para TV	0,8	0,5	0,5	Espaço para o móvel obrigatório
	Mesinha de centro ou cadeira	-	-	-	Espaço para o móvel obrigatório
Sala estar/jantar Sala de jantar/copa Copa/cozinha	Mesa redonda para 4 lugares	D = 0,95		Circulação mínima de 0,75 m à partir da borda da mesa (espaço para afastar a cadeira e levantar)	Largura mínima deve ser 2,40 m Mínimo: 1 mesa para 4 pessoas Admite*se leiyte com o lado menor da mesa encostado na parede, desde que haja espaço para seu afastamento quando utilizado
	Mesa redonda para 6 lugares	D = 1,20			
	Mesa quadrada para 4 lugares	1	1		
	Mesa quadrada para 6 lugares	1,2	1,2		
	Mesa retangular para 4 lugares	1,2	0,8		
	Mesa retangular para 6 lugares	1,5	0,8		
Cozinha	Pia	1,2	0,5	Circulação mínima 0,85 m frontal à pia, fogão e geladeira	Largura mínima deve ser 1,50 m Mínimo: pia, fogão, geladeira e armário
	Fogão	0,55	0,6		
	Geladeira	0,7	0,7		
	Armário sob a pia e gabinete	-	-	-	Espaço obrigatório para móvel
	Apoio para refeição (2 pessoas)	-	-	-	Espaço opcional para móvel
Dormitório Casal	Cama Casal	1,4	1,9	Mínimo de 0,50 m entre os mobiliários	Mínimo: 1 cama, 2 criados mudos e 1 guarda-roupa
	Criado Mudo	0,5	0,5		
	Guarda Roupa	1,6	0,5		
Dormitório para 2 pessoas	Cama Solteiro	0,8	1,9	Mínimo de 0,60 m entre as camas e demais circulações 0,50 m	Mínimo: 2 camas, 1 criado-mudo e 1 guarda-roupa
	Criado Mudo	0,5	0,5		
	Guarda Roupa	1,5	0,5		
	Mesa de Estudo	0,8	0,6		Espaço para o móvel opcional
Banheiro	Lavatório	0,39	0,29	Circulação mínima e 0,40 m frontal ao lavatório, vaso e bidê	Largura mínima deve ser 1,10m, exceto no box. Mínimo: 1 lavatório, 1 vaso e 1 box
	Lavatório com Bancada	0,8	0,55		
	Vaso Sanitário (caixa acoplada)	0,6	0,7		
	Vaso Sanitário	0,6	0,6		
	Box quadrado	0,8	0,8		

	Box retangular	0,7	0,9		
	Bidê	0,6	0,6	-	Peça opcional
Área de serviço	Tanque	0,52	0,53	Circulação mínima e 0,50 m frontal ao tanque e máquina de lavar	Mínimo: 1 tanque e 1 máquina de lavar (tanque de no mínimo 20L)
	Máquina de lavar roupa	0,6	0,65		

Fonte: NBR 15.575/2021 – Adaptado pelo Autor

Com este levantamento de dados, foi feita uma disposição preliminar dos ambientes de forma a atender o programa de necessidades. Posteriormente, refinou-se e ajustou-se às dimensões adotadas inicialmente, visando a utilização plena dos painéis com dimensões padronizadas pela industrial de forma a acelerar a produção e melhorar o racionamento.

Para realização desses estudos iniciais, e da pré-modelagem BIM, foi utilizado o *software* AutoCAD, em virtude da sua praticidade e agilidade, otimizando o tempo de projeto.

### 3.2 Pré-Dimensionamento Das Estruturas De Lajes E Paredes

Com uma disposição inicial das placas elaborada, fez-se pré-dimensionamento das placas CLT através do método apresentado pela Crosslam, onde a espessura da placa com auxílio de tabelas (Anexo A, Anexo B e Anexo C). Para usar as tabelas, é necessário saber a carga que cada placa está submetida e seu respectivo vão efetivo. Caso a espessura dos painéis paredes arbitradas inicialmente não seja suficiente, tornando a proposta de disposição inválida, deve-se ajustar as dimensões dos ambientes conforme nova espessura de parede e redistribuir as placas.

### 3.3 Modelagem Das Famílias Que Compõem O Sistema CLT

Dentre os *softwares* disponíveis e pesquisados, o escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi o *Autodesk REVIT* visto sua popularidade no mercado de trabalho, o domínio do autor em relação ao *software*, baixo nível de detalhe e a dificuldade de acesso à informação de outros *softwares* e/ou *plug-ins*..

A criação das famílias que constituem o sistema CLT tem início com a abertura do programa *Autodesk REVIT*; acessa o editor de novas famílias; escolhe-se o modelo base de família; cria-se os parâmetros e as formas desejadas.

### **3.4 Modelagem BIM da edificação**

Quanto ao processo de modelagem da edificação, também se utilizou *software Autodesk REVIT* pelos mesmo motivos apresentados no tópico anterior.

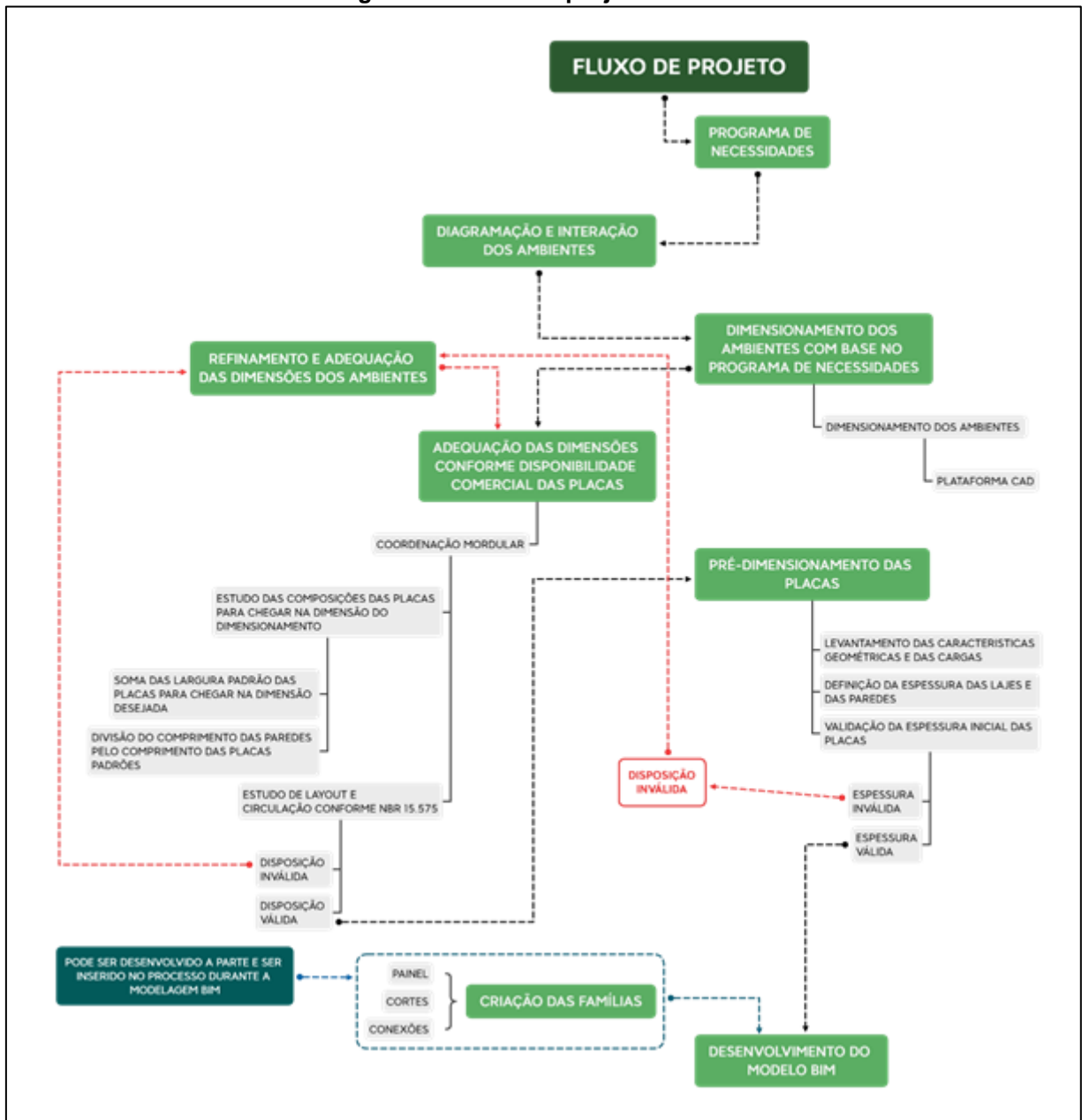
O processo de modelagem tem início com a abertura do programa e importação das famílias criadas por este trabalho; importa-se o estudo das placas para dentro do programa, criam-se os eixos e níveis de apoio; inserem-se o *steel/foot* e os painéis; executam-se os cortes dos painéis através das famílias de corte; inserem-se as conexões; e criam-se os sistemas complementares à edificação (fachadas, coberturas e afins).

Recomenda-se a execução desta etapa apenas após a definição das espessuras através do pré-dimensionamento e validação da disposição das placas CLT, evitando-se retrabalhos futuros.

## **4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Neste capítulo será detalhado o processo de criação e tomada de decisão utilizado para chegar-se ao modelo BIM através do sistema CLT. E como mencionado anteriormente no projeto de estudo, não é o mais indicado para o sistema construtivo. Assim, se adequou o projeto conforme o fluxo de projeto na Figura 45.

Figura 45 - Fluxo de projeto em CLT



Fonte: Autor

As flechas pretas indicam o fluxo principal de trabalho; as vermelhas representam o retorno para etapas anteriores de forma a refinar e adequar o projeto; e as azuis remetem-se aos processos que podem ocorrer de forma paralela não afetando na disposição das placas, mas sendo um processo importante para o desenvolvimento do modelo BIM.

O fluxo de projeto tem início com a elaboração do programa de necessidades onde são definidas as limitações normativas e necessidade do cliente para cada ambiente. Depois faz-se um estudo de interação dos ambientes, onde

entende-se o desejo do cliente quanto à disposição e integração dos cômodos sempre aliando as boas práticas e técnicas. Dimensiona-se os ambientes com base no programa de necessidades e a interação dos ambientes. Adequa-se as dimensões dos ambientes conforme as medidas padrões das placas de CLT, validam-se essas dimensões quanto ao layout e circulação e depois é validado a espessura inicial das placas através do pré-dimensionamento estrutural. Caso haja alguma invalidação nessa etapa necessita-se retornar o processo e readequar os ambientes e a disposição das placas. Com a disposição das placas válida, parte-se então para a modelagem BIM da edificação.

#### 4.1 Atividades Preparatórias Para o Desenvolvimento do Projeto

Com base nos elementos constituintes do projeto modelo e a legislação vigente do município de Palhoça (Lei Nº 17/93 – Institui o Código de Obras e Edificações para o município de Palhoça) desenvolveu-se o programa de necessidades da edificação (Quadro 5).

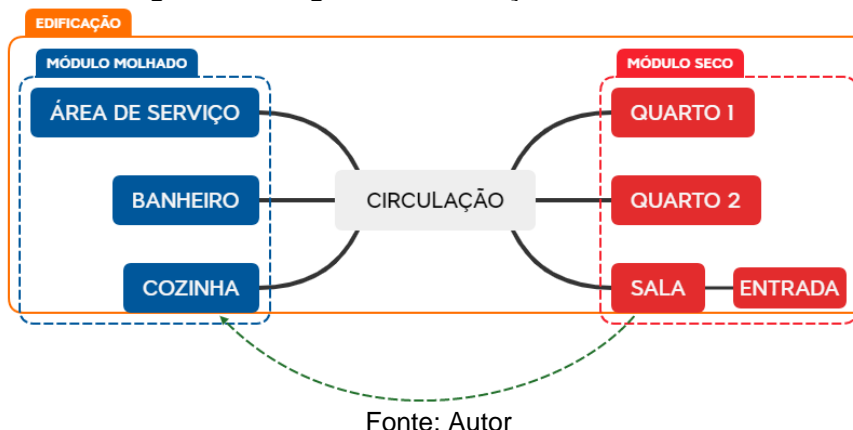
**Quadro 5 - Programa de Necessidades**

<b>Ambiente</b>	Quarto 1	Quarto 2	Sala	Circulação	Cozinha	Banheiro	Área de Serviço	Garagem
<b>Área Mínima (m<sup>2</sup>)</b>	11	9	12	-	6	4	3	12
<b>Necessidade Funcional</b>	Dormir Estudo Trabalho Diversão	Dormir Estudo Trabalho Diversão	Trabalho Diversão Refeição	Passagem	Refeição	Higiene	Higiene Limpeza	-
<b>(*) Necessidade Espacial (cm)</b>	Ac= 80 Al= 260 Lm= 240	Ac= 80 Al= 260 Lm= 240	Ac= 80 Al= 260 Lm= 240	Ac= 90 Al= 260 Lm= 240	Al= 240 Lm= 90	Ac= 60 Al= 240 Lm= 130	Ac= 60 Al= 240 Lm= 130	Al= 220 Lm= 240
<b>Necessidade Ambiental</b>	Ilumin. Ventila. Isolame.	Ilumin. Ventila. Isolame	Ilumin. Ventila. Isolame	Ilumin. Ventila.	Ilumin. Ventila. Imperm.	Ilumin. Ventila. Imperm.	Ilumin. Ventila. Imperm.	Ilumin.
<b>Habitabilidade</b>	Privado Cor clara ou biofílica	Privado Cor clara ou biofílica	Social Cor neutra ou biofílica	Semi-privado Cor neutra ou biofílica	Social Cor clara azulejo	Social Cor clara azulejo	Social Cor clara azulejo	Aberto
<b>Sistemas e Instalações</b>	Elétrica Climatiz.	Elétrica Climatiz.	Elétrica Climatiz.	Elétrica	Elétrica Hidraulic. Imperm.	Elétrica Hidraulic. Imperm.	Elétrica Hidraulic. Imperm.	Elétrica
<b>(*)</b>	<b>Ac = Acesso / Al = Altura / Lm = largura mínima</b>							

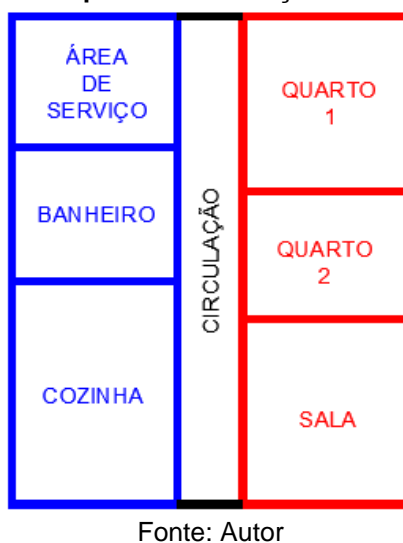
Fonte: Autor – Com Base em Palhoça (1993, b)

Através deste programa de necessidades, foi feito um diagrama representando a circulação e as conexões entre os ambientes da edificação, apresentado abaixo (Figura 46 e 47). Neste diagrama foi considerado que a partir da circulação se teria acesso a todos os ambientes da edificação e que a edificação seria dividida em dois módulos: o módulo seco (em vermelho) e o módulo molhado (azul).

**Figura 46 - Diagrama de interação dos Ambientes**



**Figura 47 - Esquema de Interação dos Ambientes**

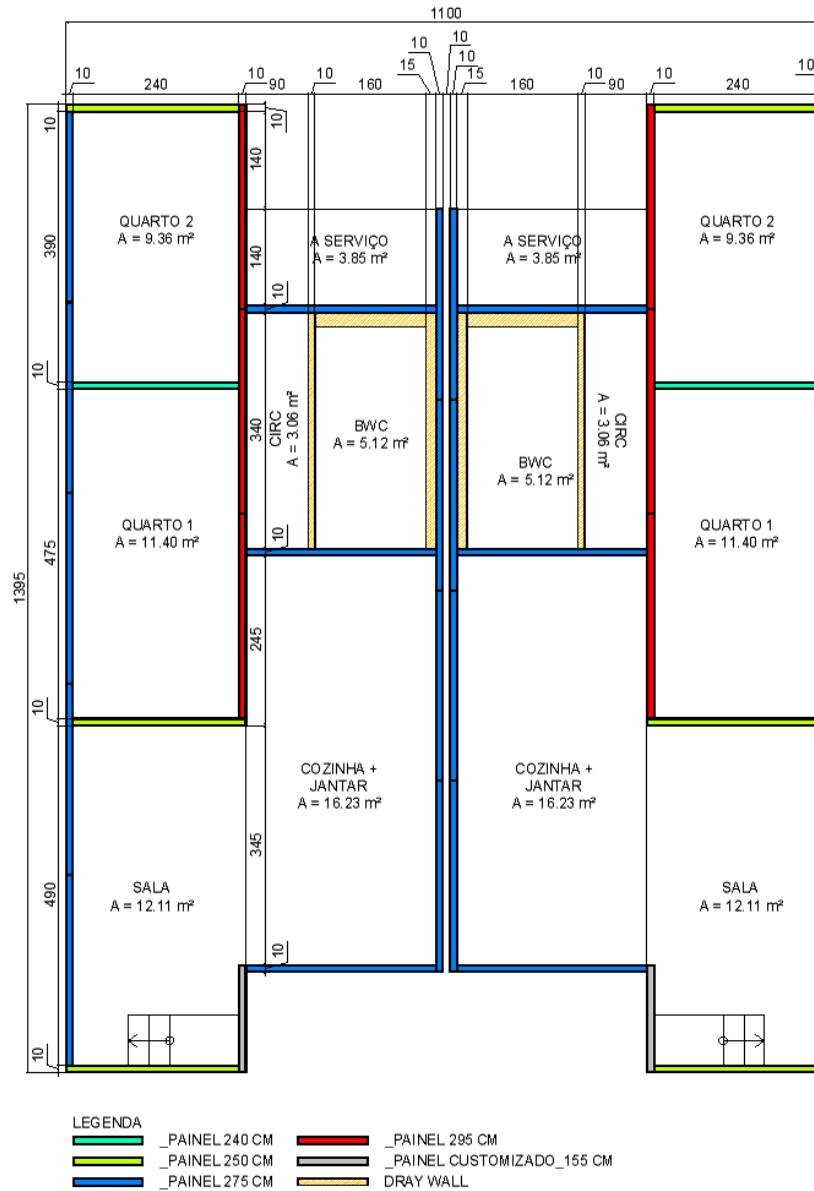


Primeiro, dimensionou-se os ambientes conforme o programa de necessidades apresentado acima e tendendo fazer uma disposição conforme o projeto modelo, chegando no modelo na planta baixa apresentada na Figura 48. Nesta etapa as dimensões são provisórias, visto que não leva em conta as dimensões industriais das placas CLT, caracterizando a proposta inicial. Arbitrou-se 12 cm de



e reduziu-se a espessura das placas para 10 cm, sendo que a espessura do piso permaneceu 12 cm.

**Figura 49 - Planta Baixa Modelo 2**



Fonte: Autor

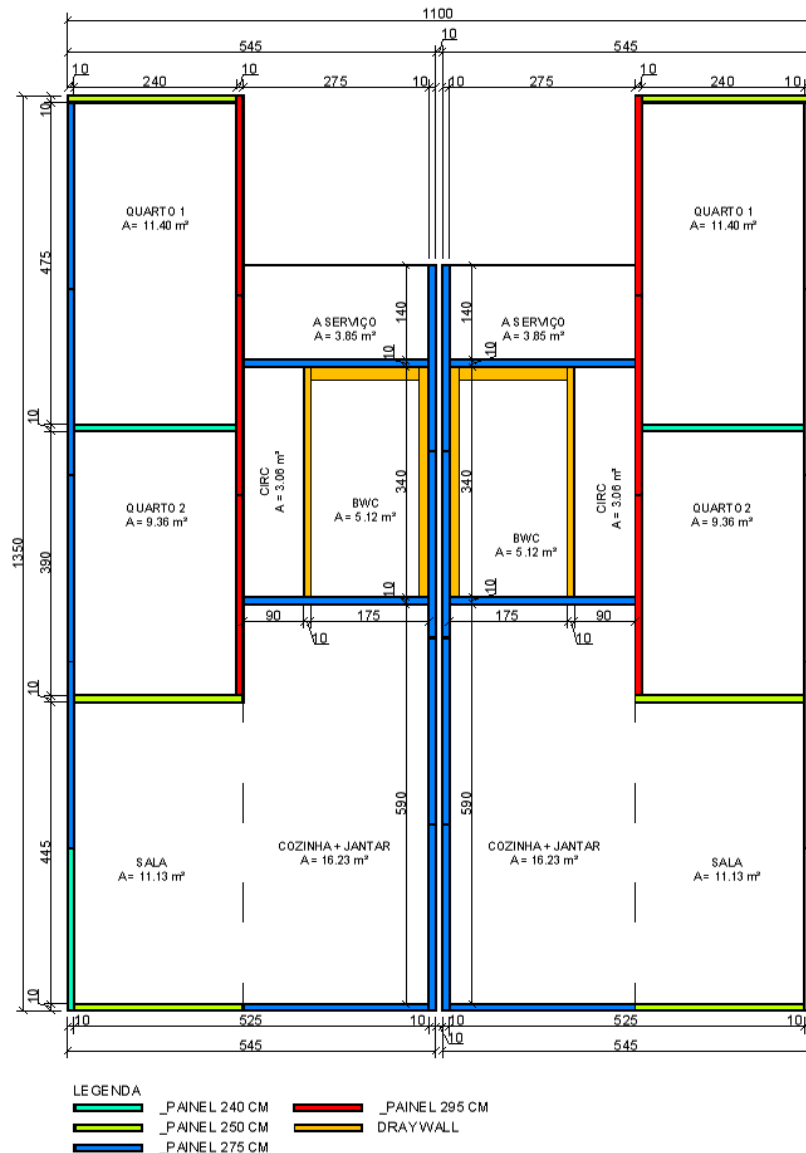
Nesse estudo de modularização fez-se composições de placas com dimensões comerciais. A princípio essa composição foi elaborada de forma que fosse utilizado apenas um tipo de placa em cada eixo de forma a diminuir ainda mais a chance de erros de locação de placas durante a execução.

Para isso achou-se o número de placas em cada eixo dividindo o comprimento total da edificação naquele eixo pela largura padrão da placa daquele eixo, arredondando para cima.

É importante salientar que a composição deve ser feita de modo que a área de cada ambiente não infrinja o programa de necessidades, então é possível que a composição de um eixo tenha que ser readequada devido a outro eixo de forma que se chegue na área mínima do programa de necessidades.

Por último, adequou-se a planta baixa de modo que não haja placas que não obedeçam às dimensões comerciais do CLT. Também se trocou a posição dos quartos, chegando em uma planta final (Figura 50).

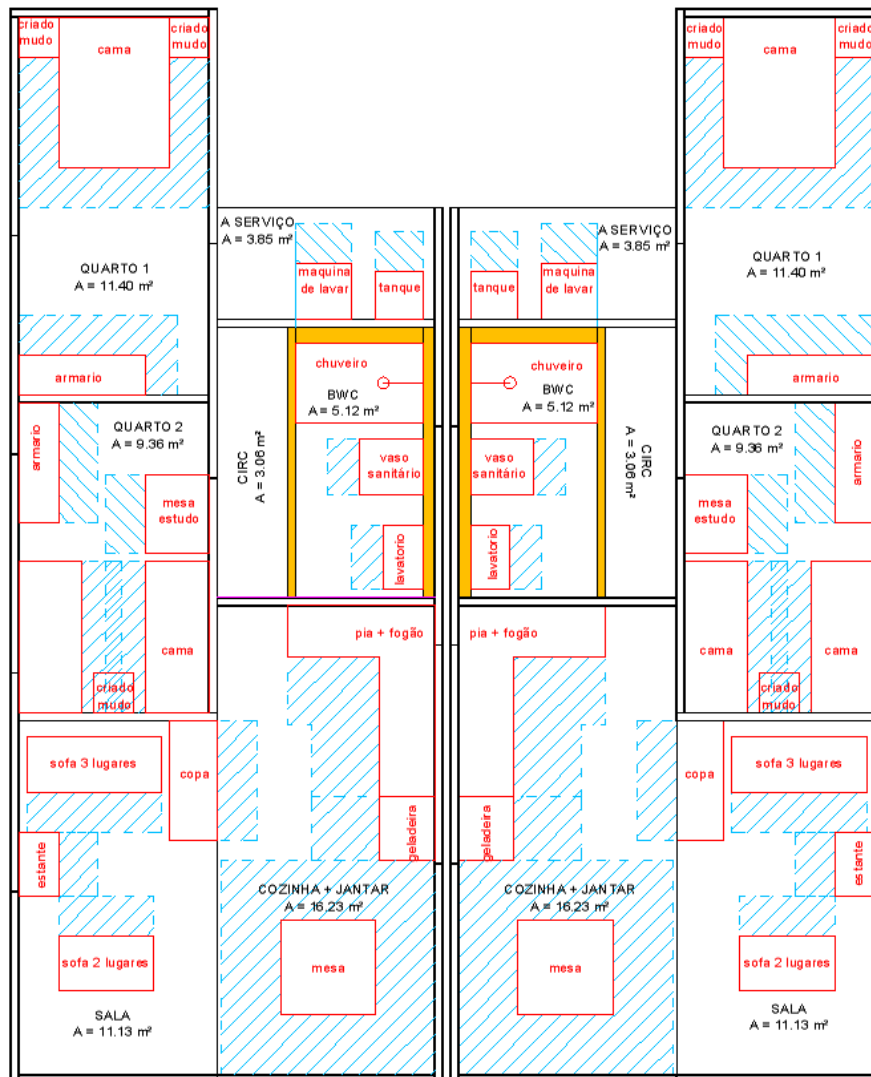
**Figura 50 - Planta Baixa Modelo Final**



Fonte: Autor

Com a planta baixa determinada, desenvolveu-se um estudo de layout (Figura 51) verificando se as dimensões e formas adotadas para o projeto atendem aos requisitos mínimos exigidos pela NBR 15.575 quanto à circulação.

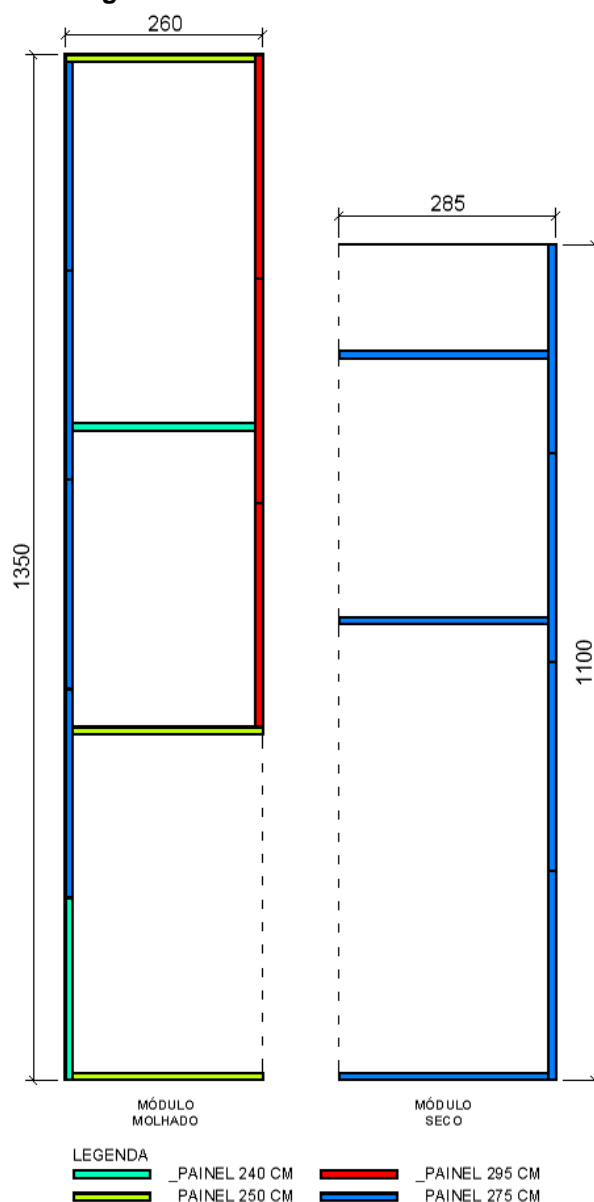
Figura 51 - Proposta de Layout



LEGENDA  
 ÁREA DE CIRCULAÇÃO     MOBILIA

Fonte: Autor

**Figura 52 - Dimensões dos Módulos**



Fonte: Autor

## 4.2 Pré-Dimensionamento Dos Painéis

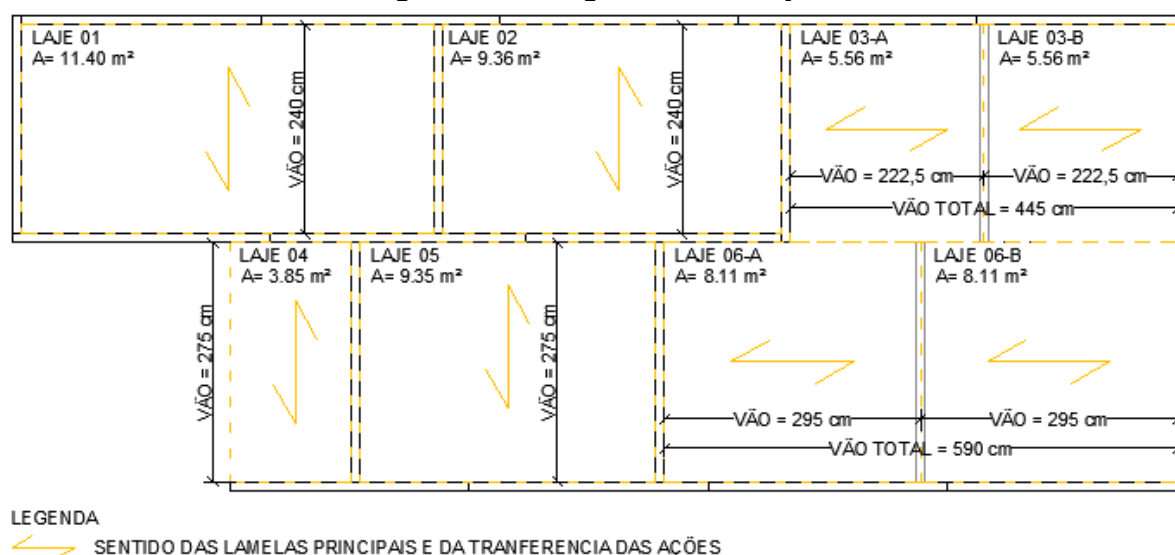
O pré-dimensionamento dos painéis CLT é importante quando se trata de obras industrializadas, visto que a espessura do painel afeta diretamente nas dimensões dos ambientes e modulação das placas. Tal fato torna-se ainda mais importante quando há dimensões restritas, como no caso de casas geminadas.

Oliveira (2018) comenta que as espessuras usuais para os painéis CLT são de 95 ou 105 mm para painéis parede e 120 mm para painéis lajes. Assim, a disposição inicial do *layout* da edificação utilizou-se destas dimensões como base.

O método de pré-dimensionamento utilizado é o proposto pela Crosslam (2021c), no qual a partir das cargas permanentes, cargas acidentais, comprimento da peça e tempo de resistência ao fogo verifica-se a espessura dos painéis através de uma tabela.

É importante ressaltar que a distribuição das cargas é determinada através da orientação das lamelas externas das placas CLT, com funcionamento similar a uma laje com vigotas, onde estiverem apoiadas as lamelas será onde ocorrerá o descarregamento. Por exemplo, na Laje 01 da Figura 53, as lamelas principais estão paralelas ao vão de 240 cm, descarregando as ações no mesmo sentido.

**Figura 53 - Carregamento das Lajes**



Fonte: Autor

#### 4.2.1 Pré-Dimensionamento das Lajes

A partir da Figura 53, levantaram-se as informações geométricas necessárias para fazer o pré-dimensionamento das lajes para uma das casas geminadas, e com auxílio da NBR 6120 (ABNT, 2019) determinaram-se as ações atuantes na edificação.

Como carga permanente considerou-se o peso próprio da estrutura com 5,5 KN/m³, uma camada de 5 cm de revestimento de piso com 1 kN/m² e 0,50 cm de impermeabilização com manta asfáltica com 0,11 kN/m² (NBR 6120 – Tabela 4 – Revestimentos de piso e impermeabilizações). Para carga acidental utilizou-se o valor

de 2 kN/m<sup>2</sup> (NBR 6120 – Tabela 10 – Valores característicos nominais das cargas variáveis).

**Tabela 1 - Carregamento das Lajes**

Laje	Área	Espessura Inicial	Vão Simples	Vão Duplo	Peso Próprio	Revestimento + Impermeabilização	Carga Permanente	Carga Acidental (*)	Resistencia ao fogo
	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(min)
L1	11,4	0,12	2,4	-	0,66	1,11	1,77	2	30
L2	9,36	0,12	2,4	-	0,66	1,11	1,77	2	30
L3	11,12	0,12	2,225	4,45	0,66	1,11	1,77	2	30
L4	3,85	0,12	2,75	-	0,66	1,11	1,77	2	30
<b>L5 (**)</b>	<b>9,35</b>	<b>0,12</b>	<b>2,75</b>	-	<b>0,66</b>	<b>1,11</b>	<b>1,77</b>	<b>2</b>	<b>30</b>
<b>L6 (**)</b>	<b>16,22</b>	<b>0,12</b>	<b>2,95</b>	<b>5,9</b>	<b>0,66</b>	<b>1,11</b>	<b>1,77</b>	<b>2</b>	<b>30</b>

(\*) 2 KN/m<sup>2</sup> será aplicado para todos os ambientes por ser a pior situação para edificações residenciais  
(\*\*) Piores situação para placas de CLT onde sua espessura também será adotada para as demais  
Peso próprio do material estrutural é de 5,5 KN/m<sup>3</sup>

Fonte: Autor

O pré-dimensionamento foi feito com base nas piores situações apresentadas na Tabela 1 e o resultado foi replicado às demais lajes. Para as lajes com vão simples a pior situação é a Laje L5 e para as lajes de vão duplo é a Laje L6.

Cruzando os valores presentes na Tabela 1 para as lajes L5 e L6 com as tabelas de pré-dimensionamento da CROSSLAM (2021c), Anexo A e Anexo B respectivamente, chegou-se nas espessuras mínimas presentes na Tabela 2.

**Tabela 2 - Pré-Dimensionamento das Lajes**

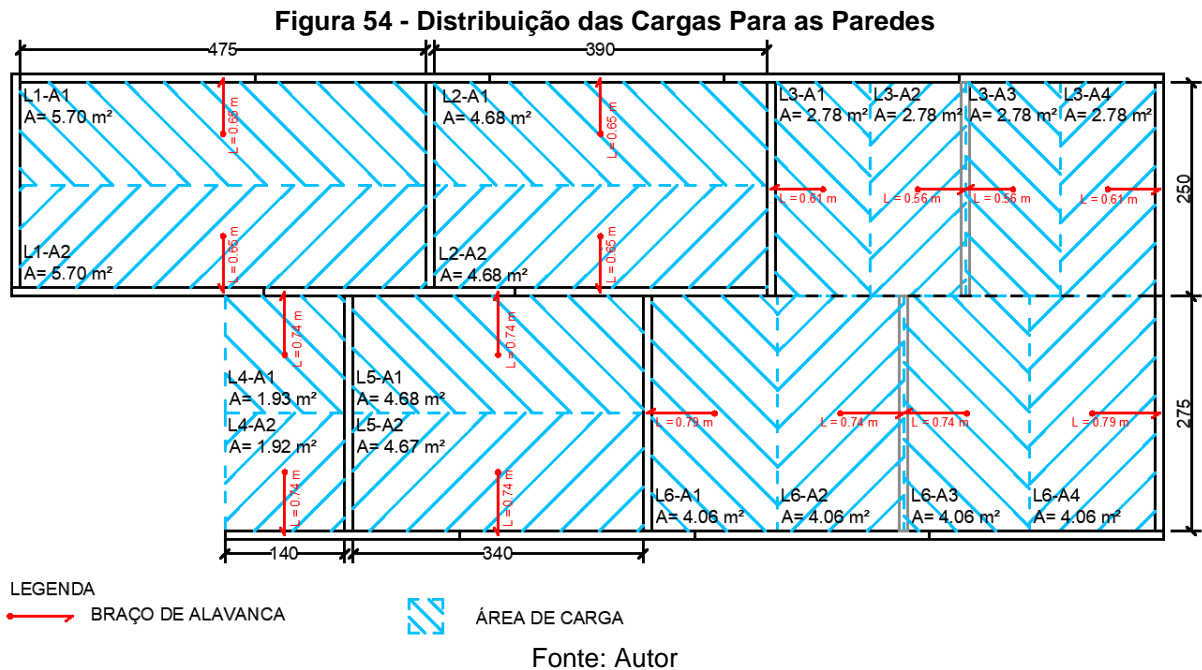
Laje	Placa CLT Sem Vibração		Placa CLT Com Vibração		Placa Adotada	
	Código	Espessura (mm)	Código	Espessura (mm)	Código	Espessura (mm)
L5	3C 90 DL	90	3C 90 DL	90	3C 100 DL	100
L6	3C 90 DL	90	3C 90 DL	90	3C 100 DL	100

Fonte: Autor

Embora possa-se utilizar placas com espessuras de 90 mm conforme o pré-dimensionamento, foi utilizado placas de piso composta por 3 camadas e com espessura total de 100 mm para padronizar a espessura das paredes conforme calculado demonstrando na sequência, facilitando o processo de montagem das placas e coordenação modular da planta.

#### 4.2.2 Pré-Dimensionamento das Paredes

Para o pré-dimensionamento das paredes dividiu-se o carregamento das lajes considerando como bi-apoiada, levantou-se as características geométricas necessárias das lajes para calcular a transferência de carga das lajes para as paredes conforme a Figura 54.



Com informações geométricas levantadas, calculou-se a carga linear que cada laje transfere para a parede na qual está apoiada, resultando na Tabela 3. Como as lajes de cobertura também serão apoiadas nas paredes, nas colunas da Carga Linear Total das Lajes, duplicou-se a carga das lajes de forma a considerar o carregamento da cobertura. Mas para as Lajes L3-A2, L3-A3, L6-A2 e L6-A3 não se fez essa multiplicação visto que as lajes da cobertura não estão apoiadas nesse ponto, apenas as lajes do térreo.

**Tabela 3 - Transferência de Carga da Laje Paras Paredes**

Laje	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
	Área	Largura da Placa CLT	Carregamento do Piso		Carga Linear da Laje		Carga Linear Total das Lajes (*)	
			Acidental	Permanente	Acidental	Permanente	Acidental	Permanente
	(m <sup>2</sup> )	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
-	-	-	-	(A)*(C)/(B)	(A)*(C)/(B)	2*(E)	2*(F)	
L1-A1	5,7	4,75	2	1,66	2,40	1,99	4,80	3,98
L1-A2	5,7	4,75	2	1,66	2,40	1,99	4,80	3,98
L2-A1	4,68	3,9	2	1,66	2,40	1,99	4,80	3,98
<b>L2-A2</b>	<b>4,68</b>	<b>3,9</b>	<b>2</b>	<b>1,66</b>	<b>2,40</b>	<b>1,99</b>	<b>4,80</b>	<b>3,98</b>
L3-A1	2,78	2,5	2	1,66	2,22	1,85	4,45	3,69
L3-A2	2,78	2,5	2	1,66	2,22	1,85	2,22	1,85
L3-A3	2,78	2,5	2	1,66	2,22	1,85	2,22	1,85
L3-A4	2,78	2,5	2	1,66	2,22	1,85	4,45	3,69
L4-A1	1,93	1,4	2	1,66	2,76	2,29	5,51	4,58
L4-A2	1,92	1,4	2	1,66	2,74	2,28	5,49	4,55
<b>L5-A1</b>	<b>4,68</b>	<b>3,4</b>	<b>2</b>	<b>1,66</b>	<b>2,75</b>	<b>2,28</b>	<b>5,51</b>	<b>4,57</b>
L5-A2	4,67	3,4	2	1,66	2,75	2,28	5,49	4,56
L6-A1	4,06	2,75	2	1,66	2,95	2,45	5,91	4,90
L6-A2	4,06	2,75	2	1,66	2,95	2,45	2,95	2,45
L6-A3	4,06	2,75	2	1,66	2,95	2,45	2,95	2,45
L6-A4	4,06	2,75	2	1,66	2,95	2,45	5,91	4,90

(\*) Multiplicou-se a carga linear da Laje por 2 de forma a considerar o carregamento da cobertura, exceto para as lajes L3 e L3-A2, L3-A3, L6-A2 e L6-A3.

Fonte: Autor

Deste modo as paredes que recebem o maior carregamento são aquelas que apoiam as lajes L2-A2 e L5-A1, que foi utilizado como padrão no pré-dimensionamento e o valor de sua espessura será replicado para as demais paredes.

Além do carregamento das lajes, também se faz necessário calcular o peso próprio das paredes e de seus revestimentos. Como a NBR 6120/2019 não traz o peso para fachadas ventiladas, utilizou-se compensatoriamente os valores do revestimento argamassado como carregamento do revestimento, embora tal revestimento não seja utilizado para estruturas CLT. Considerou-se um revestimento de reboco com 2 centímetros em cada lado do painel CLT.

**Tabela 4 - Carregamento Parede**

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)
Altura da Parede	Esp Inicial da Placa CLT	Esp Total do Revest	Peso Próprio	Revest da Parede	Carga Acident das Lajes	Carga Perm das Lajes	Carga Perm Da Parede	Carga Acidental Total das Paredes	Carga Perm Total das Paredes	Resisten. ao Fogo
(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(min)
-	-	-	-	-	-	-	(A) * [(D+E)]	(F)	((G)+(H))	-
3,3	0,1	0,04	0,55	0,76	10,31	8,55	4,323	<b>10,31</b>	<b>12,88</b>	<b>30</b>

Fonte: Autor

Relacionando os valores das colunas (I), (J) e (K) presentes na Tabela 4 com as tabelas de pré-dimensionamento de parede da Crosslam (2021c), Anexo C, chegou-se a espessura mínima de parede apresentada na Tabela 5.

Embora não exista comprimento de flambagem de 3,30 metros no Anexo C, adotaram-se as espessuras dos painéis conforme o comprimento de flambagem máximo existente, no caso 2,95 metros.

Por ser adotado uma referência com comprimento de flambagem menor do que a realidade de projeto, seria prudente a utilização de paredes mais espessas do que os 10 cm utilizados conferindo maior segurança ao pré-dimensionamento. Mas de acordo com o Anexo C, para uma resistência ao fogo de 30 minutos a placa de 10 cm é capaz de resistir 20 KN/m de carga permanente e mais 60 KN/m de carga acidental, valores muito superiores aos apresentados na Tabela 4.

**Tabela 5 - Pré-Dimensionamento da Parede**

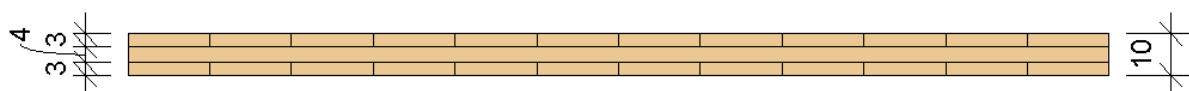
Placa CLT Sugerida		Placa CLT Adotada	
Código	Espessura (mm)	Código	Espessura (mm)
3C 100 DL	100	3C 100 DL	100

Fonte: Autor

Com base nas informações do pré-dimensionamento pode-se padronizar as dimensões das placas CLT (Figura 55 e Figura 56), de forma a facilitar a montagem da edificação.

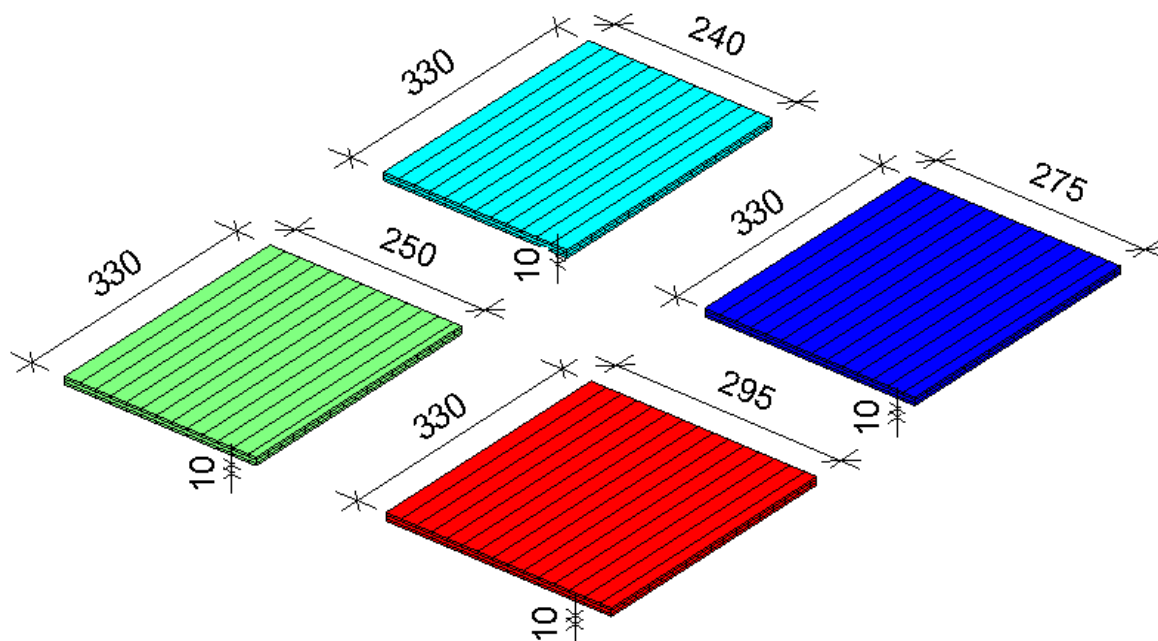
Importante enfatizar que todo o processo desenvolvido até esta etapa foi executado dentro da plataforma AutoCAD para agilizar os estudos. Com os estudos e o pré-dimensionamento feitos, pode-se partir para a modelagem BIM da edificação.

Figura 55 - Espessura Padrão das Placas CLT



Fonte: Autor

Figura 56 - Modelo 3D do Padrão das Placas CLT Utilizadas



Fonte: Autor

### 4.3 Modelagem BIM

A partir das informações levantadas nos itens 4.1 e 4.2 tem-se informações mínimas para dar-se início a modelagem BIM da edificação. Contudo, para executá-la, faz-se necessário o desenvolvimento das famílias para melhor representar os Painéis CLT e seus requisitos construtivos.

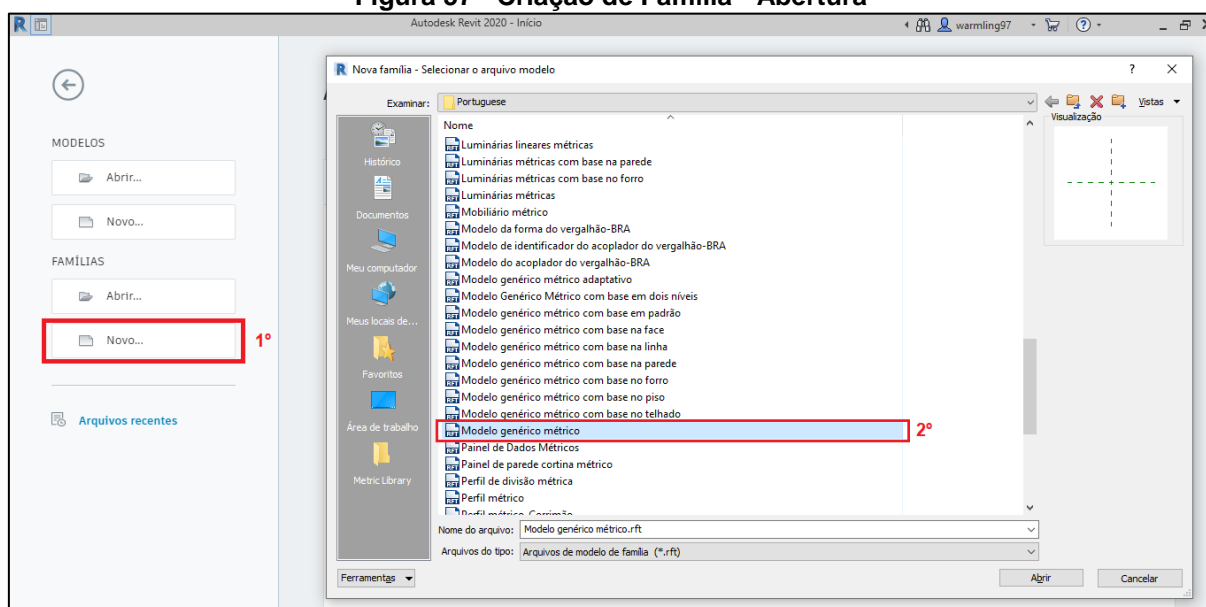
#### 4.3.1 Criação das Famílias

Para realizar a modelagem da edificação, primeiro criaram-se as famílias que representam os elementos construtivos do sistema CLT, sendo: o painel CLT; o perfil *steelfoot* (Figura 30-a); a conexão dos painéis paralelos (Figura 32-d). Além disso, também se criou famílias para realização dos cortes dos painéis, de forma a suprimir o volume de portas, janelas e eletrodutos. A conexão entre as lajes e as

paredes (Figura 38) embora muito importantes para o projeto, não se teve tempo hábil para criar suas famílias e inseri-las no modelo BIM.

O processo de criação das famílias é comum para todas as famílias, começando pela abertura do editor de famílias e escolha da modelo base de família (Modelo genérico métrico), conforme ilustrado na Figura 57. Porém, antes de iniciar a modelagem das famílias, destacasse a necessidade de pensar em quais critérios, requisitos e parâmetros são fundamentais para o bom funcionamento da família e melhor representação do elemento real no ambiente virtual. Também é importante pensar na forma de obtenção dos dados e como eles serão representados.

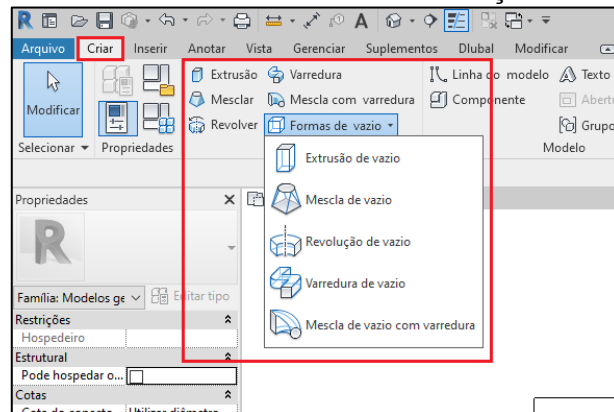
**Figura 57 - Criação de Família - Abertura**



Fonte: Autor

Dentro do ambiente de criação de famílias do REVIT, acessou-se a guia “formas” onde possui ferramentas que possibilitam a criação de elementos volumétricos sólidos ou vazios (Figura 58).

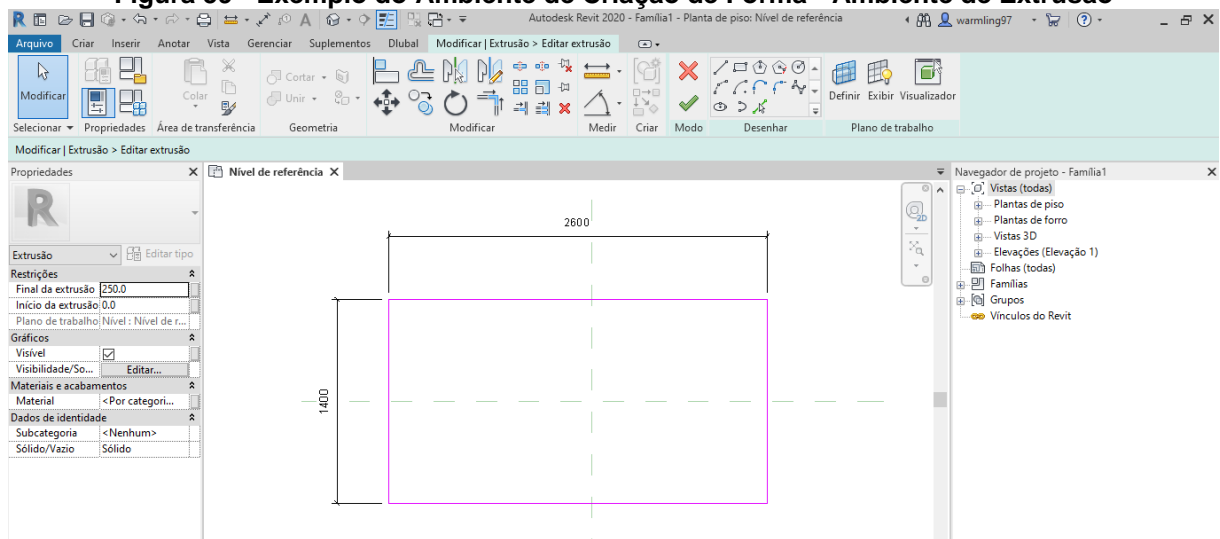
**Figura 58 - Acesso as Ferramentas de Criação de Formas**



Fonte: Autor

Ao acessar uma das ferramentas de formas, entra-se um ambiente de modificação onde é possível desenhar a forma desejada de cada objeto (Figura 59). Tal ambiente pode mudar conforme cada tipo de ferramenta de criação de forma.

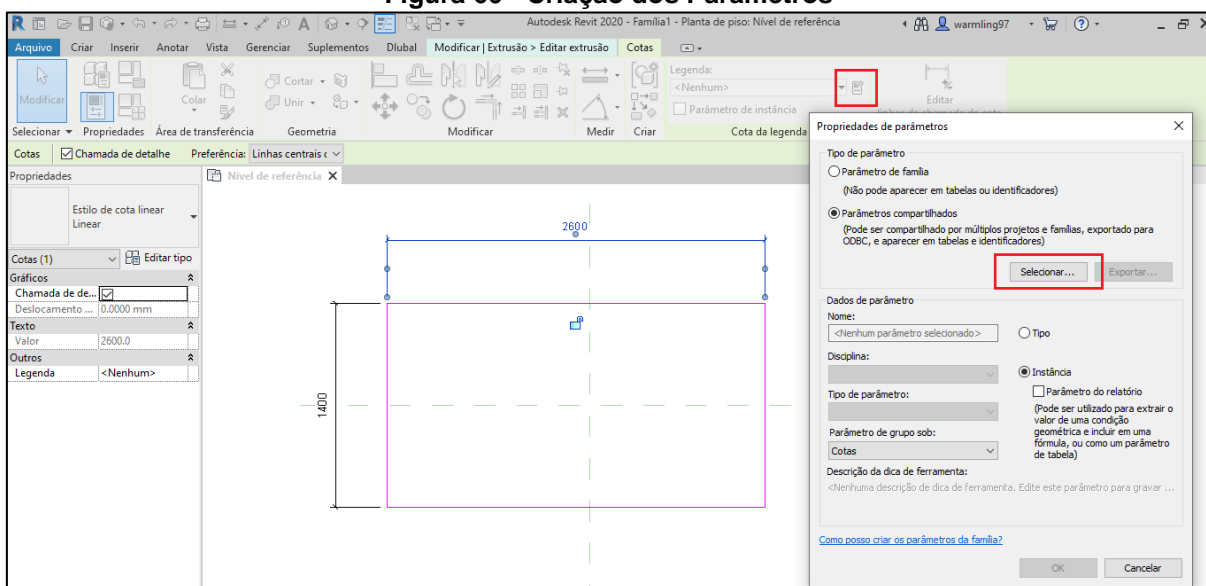
**Figura 59 - Exemplo do Ambiente de Criação de Forma - Ambiente de Extrusão**



Fonte: Autor

Nesse ambiente pode-se criar cotas e adicionar parâmetros que são editáveis dentro do ambiente de projeto. Para isso, seleciona-se a cota, clica-se em “Propriedades de Parâmetros”, onde abrirá uma janela onde configura-se o parâmetro a ser criado. Para facilitar a comunicação, todos os tipos de parâmetros de “cotas” utilizados são do tipo “compartilhado”, e para facilitar a edição de cada elemento todos os parâmetros utilizados nas famílias são do tipo “instância”.

Figura 60 - Criação dos Parâmetros



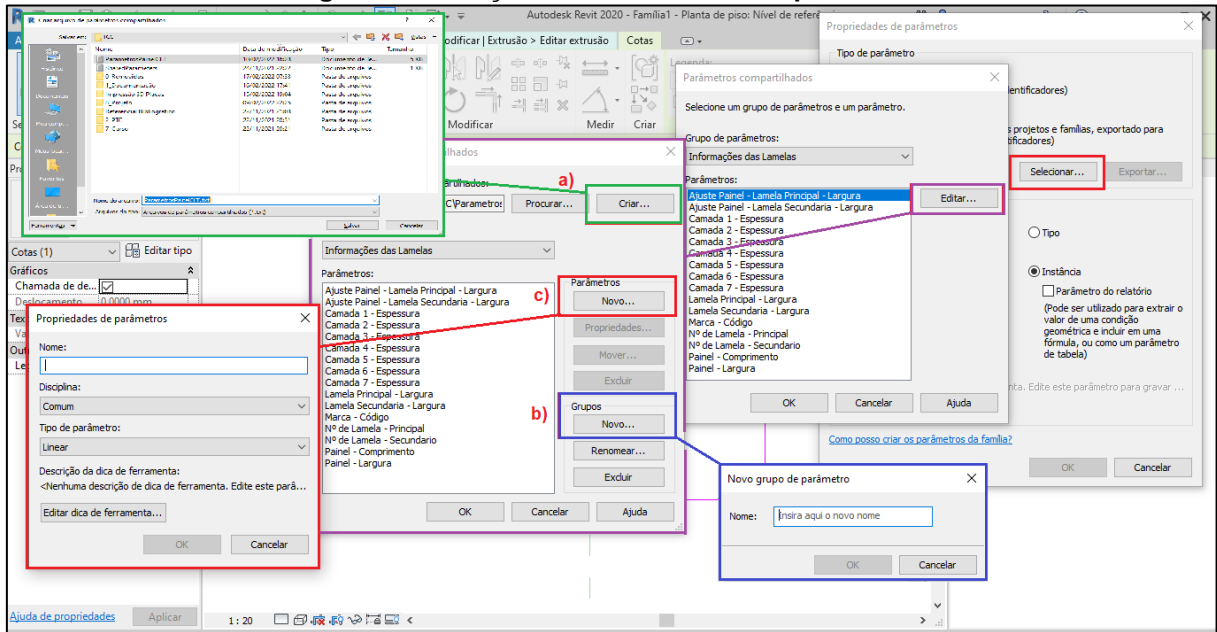
Fonte: Autor

Para criar parâmetros compartilhados, clica-se no botão selecionar mostrado na Figura 60. Aparecerá uma segunda janela chamada “Parâmetros Compartilhados” onde se deve acessar o botão “Editar...”, o que resultará no aparecimento de uma terceira janela chamada “Editar Parâmetros Compartilhados”. Nesta última janela devemos primeiro criar um arquivo com extensão “.txt” dos parâmetros compartilhados através do botão “Criar”, acessando este botão irá aparecer uma janela informando onde será salvo o arquivo e seu nome (caminho verde da Figura 61).

O botão “Novo...” da guia “Grupos”, possibilita o agrupamento de parâmetros compartilhados melhorando a organização dos parâmetros conforme necessidade (caminho azul da Figura 61). Para este trabalho criaram-se 2 grupos, um com atributos das lamelas e outro com os atributos dos painéis, chamados respectivamente como “Informações das Lamelas” e “Informações dos Painéis”.

O botão “Novo...” da guia “Parâmetros”, possibilita a criação dos parâmetros propriamente dito, onde é possível configurar a qual disciplina o parâmetro pertencerá e qual tipo de informação que será atribuído a ele (caminho vermelho da Figura 61).

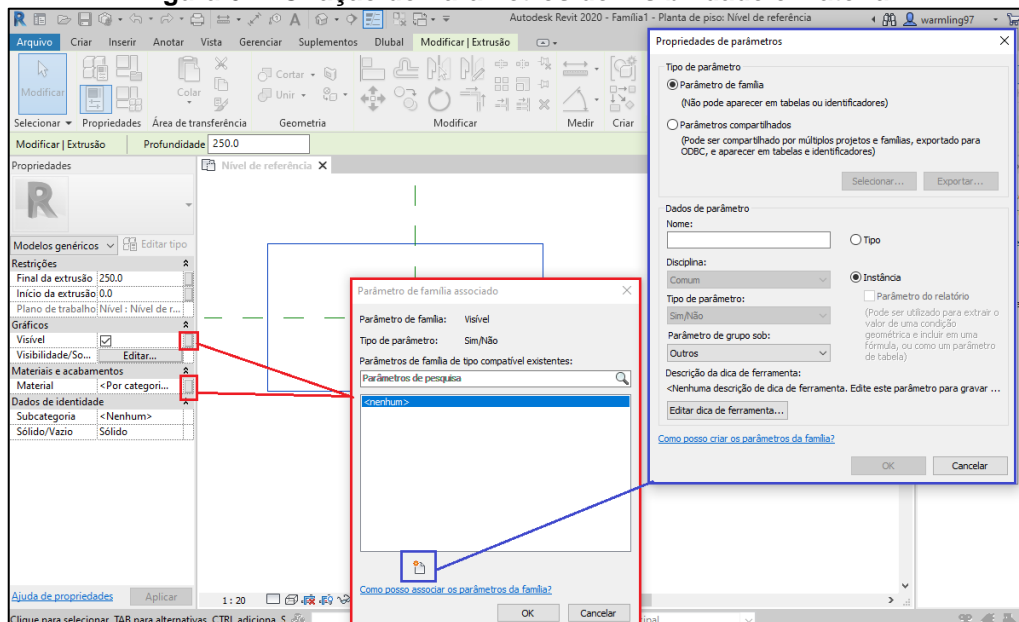
**Figura 61 - Criação de Parâmetros Compartilhado**



Fonte: Autor

Os parâmetros de “Visibilidade” e “Material” são criados através dos botões chamados de vermelho na Figura 62 da janela de “Propriedades”. Tais botões abriram a janela de “Propriedades de Famílias Associada”, onde é possível criar a família pelo botão “Novo Parâmetro” destacado em azul na Figura 62. Ambos os parâmetros também foram criados como parâmetros de instância, porém não são do tipo compartilhado.

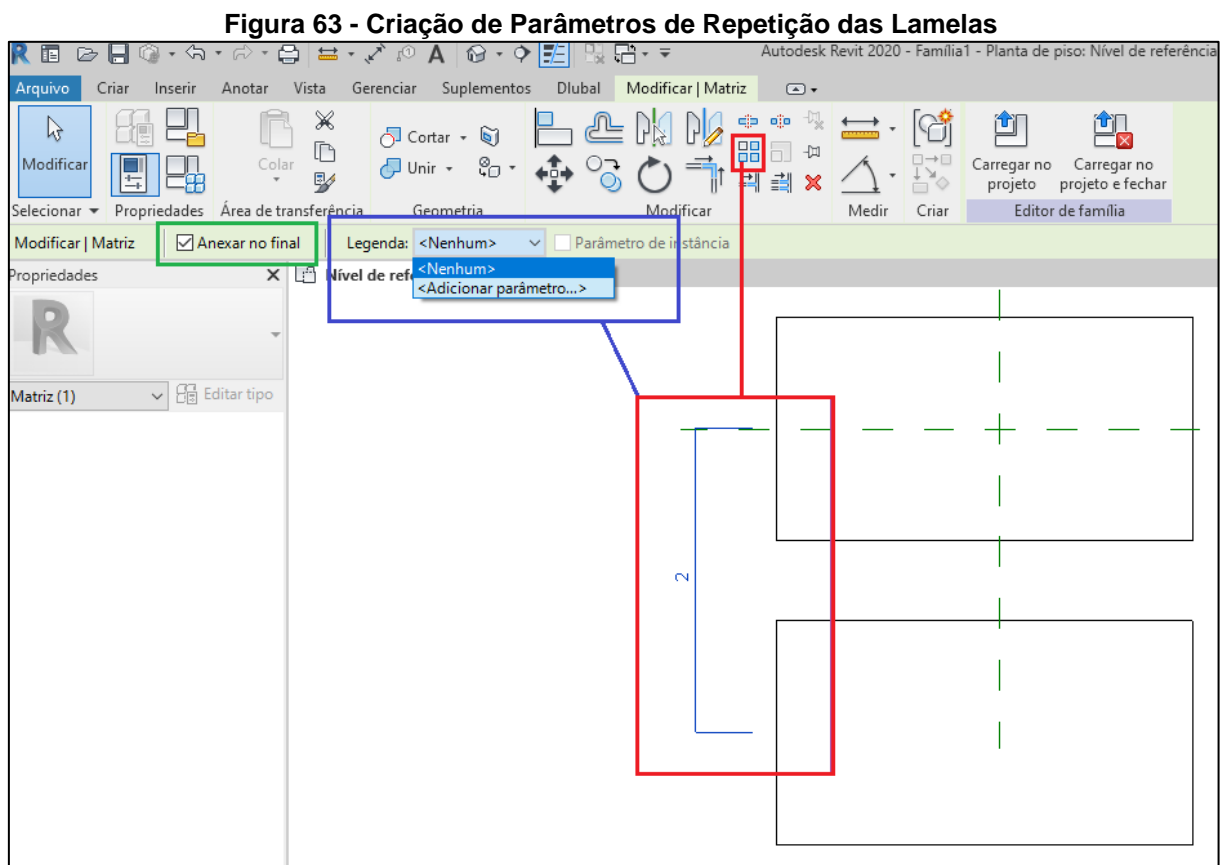
**Figura 62 - Criação de Parâmetros de Visibilidade e Material**



Fonte: Autor

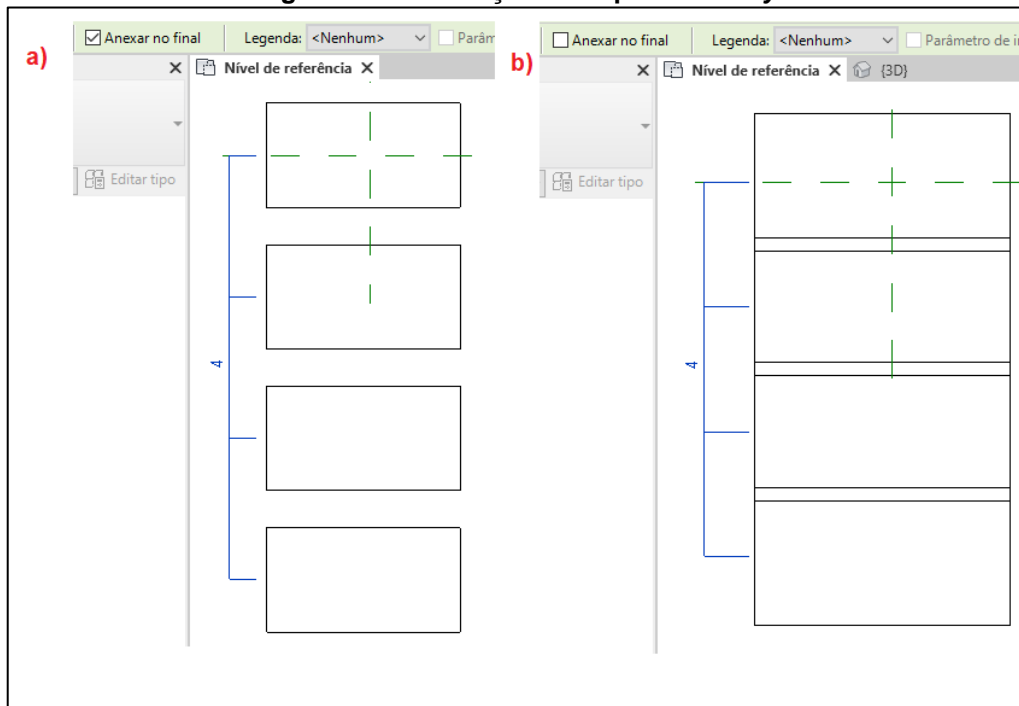
Para criar a repetição das lamelas, utilizou-se a ferramenta “array”, que permite criar múltiplas cópias de um elemento. Selecionou-se o número de cópias criadas e foi-se ao item legenda, clicou-se no botão “<Nenhum>” destacado em azul na Figura 63. Ali é possível criar um parâmetro que controle o número de cópias conforme necessidade.

O botão “Anexar no final” (destacado em verde na Figura 63) determina como irá acontecer a replicação das peças, se será acrescentado uma peça a uma distância fixa (Figura 64-a) ou acrescentado as peças no intervalo delimitado de distância (Figura 64-b)



Fonte: Autor

**Figura 64 - Diferenças dos tipos de Array**

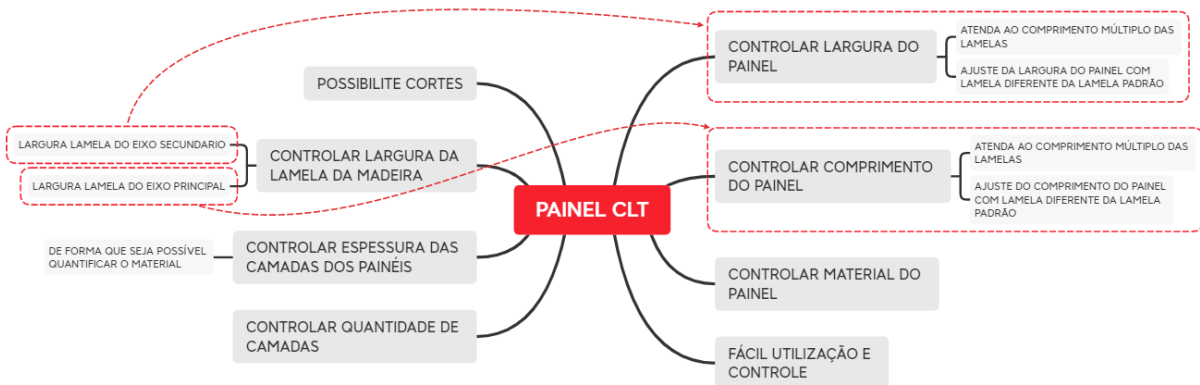


Fonte: Autor

**4.3.1.1. Painel CLT**

A criação da família do painel CLT teve início a partir do levantamento dos aspectos e parâmetros necessários que possibilitem o controle das características físicas do painel. Os principais pontos levantados estão apresentados na Figura 65, sendo alguns deles: a) largura e comprimento do painel conforme o número de lamelas; b) número e espessura das camadas, c) largura da lamela que forma o painel; d) controle do material utilizado.

**Figura 65 - Diagrama de Criação da Família do Painel CLT**



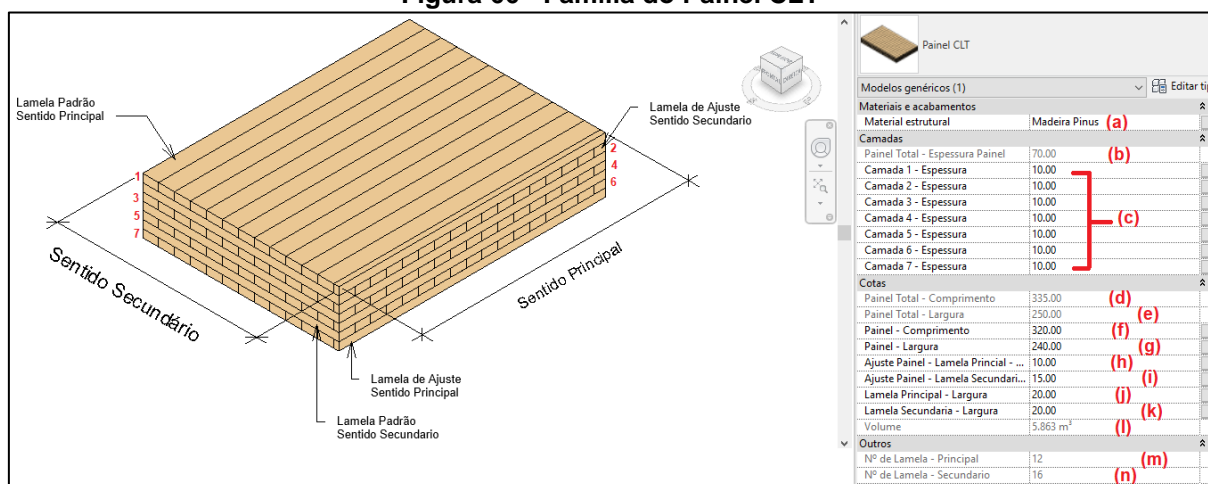
Fonte: Autor

Para seu desenvolvimento, criaram-se extrusões volumétricas dentro do ambiente de criação de famílias REVIT representando as lamelas de madeira, que unidades formam as camadas do painel CLT, a partir de parâmetros compartilhados que expressam as informações necessárias direta ou indiretamente. Visto que cada painel pode possuir características únicas e de forma que facilite a utilização da família, cada parâmetro criado é de instância, onde cada painel possui as características físicas conforme a necessidade.

Como os comprimentos do sentido principal e o secundário podem ser diferentes, as informações em cada eixo também o são, logo se fez necessário criar parâmetros específicos para cada eixo, ou seja, criou-se parâmetros de largura e número de lamela, comprimento ou largura do painel, largura da lamela de ajuste para ambos os sentidos.

Na Figura 66, apresenta-se a família que foi desenvolvida com seus respectivos parâmetros criados. Onde: (a) Parâmetro editável que modifica o tipo de material da placa CLT; (b) Parâmetro relatório que reporta a espessura total da placa a partir da soma da espessura de cada camada; (c) Parâmetros editáveis que altera a espessura de cada camada; (d) Parâmetro relatório que informa o comprimento total da peça por meio da soma dos parâmetros “Painel – Comprimento” e “Ajuste Painel – Lamela Secundária”, este parâmetro remete-se ao sentido principal; (e) Parâmetro relatório que apresenta a largura total da placa somando os parâmetros “Painel – Largura” e “Ajuste Painel – Lamela Principal”, este parâmetro remete-se ao sentido secundário; (f) Parâmetro editável que edita o comprimento da peça sem a lamela de ajuste; (g) Parâmetro editável modifica a largura da peça sem a lamela de ajuste; (h) Parâmetro editável que insere uma lamela não padrão para ajustar o painel no sentido secundário à dimensões que não são múltiplas da lamela padrão; (i) Parâmetro editável que insere uma lamela não padrão para ajustar o painel no sentido principal à dimensões que não são múltiplas da lamela padrão; (j) Parâmetro editável que controla a largura das lamelas no sentido principal; (k) Parâmetro editável que controla a largura das lamelas no sentido secundário; (l) Parâmetro relatório que informa o volume da peça conforme as dimensões das peças; (m) Parâmetro relatório que reporta a quantidade de lamelas padrão no sentido principal; (n) Parâmetro relatório que apresenta a quantia de lamelas padrão no sentido secundário.

Figura 66 - Família do Painel CLT



Fonte: Autor

Caso se deseje fazer um painel com menos camadas, ou múltiplo das lamelas padrões, basta zerar os parâmetros que não há interesse de apresentar.

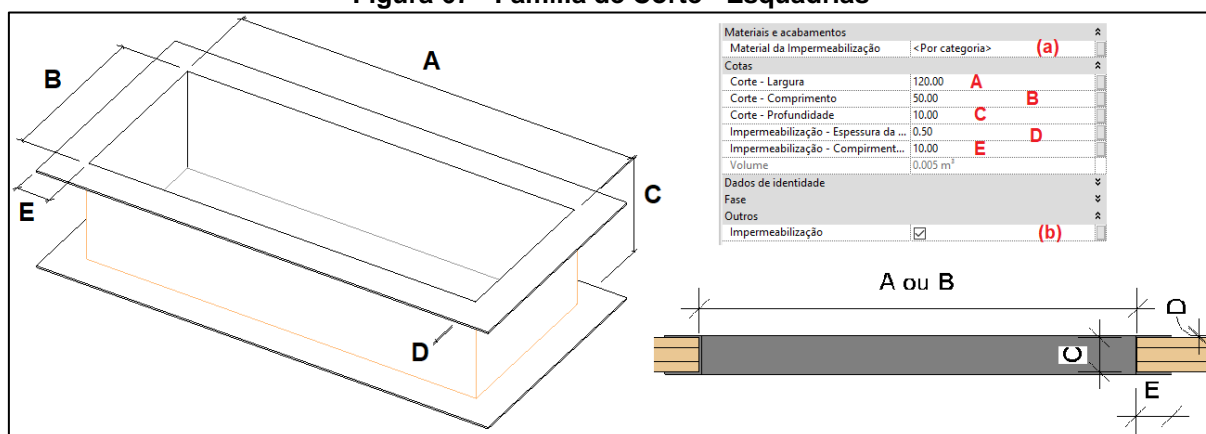
#### 4.3.1.2. Famílias de Corte

As famílias de corte possuem menor complexidade, tratam-se de extrusões de vazios que quando devidamente posicionadas utiliza-se a ferramenta “cortar” para subtrair a família de corte do painel CLT.

Para a elaboração do projeto, desenvolveram-se três famílias de corte, responsáveis para realizar os cortes nos painéis para comportar as esquadrias, formar os oitões do telhado e para passagem dos eletrodutos.

À família de corte para esquadria, além de possuir a extrusão de vazio, incorporou-se um elemento de impermeabilização visto que é um ponto passível de infiltração. Na Figura 67, representa-se a família de corte para esquadrias em que os parâmetros “A”, “B”, “C”, “D” e “E” são responsáveis por controlar as dimensões do corte e da manta de impermeabilização. Quanto aos parâmetros (a) e (b), estes controlam o material e a visibilidade da impermeabilização respectivamente.

Figura 67 - Família de Corte - Esquadrias



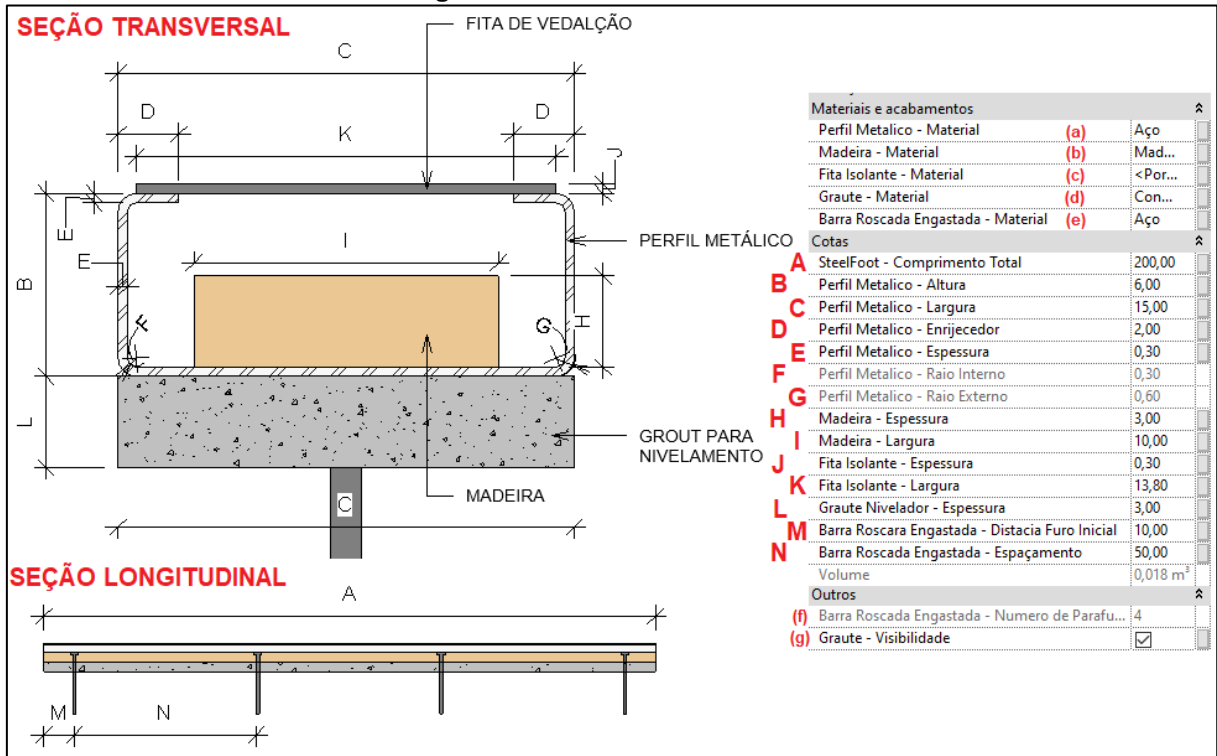
Fonte: Autor

#### 4.3.1.1. Perfil Steelfoot e Conexão dos Painéis Paralelos

Ambas as famílias do *Steelfoot* quanto da *Conexão dos Painéis Paralelos*, foram confeccionadas dentro do ambiente de criação de família do REVIT através da ferramenta de varredura, que, a partir das informações fornecidas, o perfil final é extrudado.

Para o *Steelfoot* (Figura 68), os parâmetros (a), (b), (c), (d) e (e) são responsáveis por modificar o material do perfil metálico, da madeira de fixação, da fita isolante, do graute de regularização e da barra de engastamento. Já o parâmetro (f) apresenta a quantidade de barras de engastamento utilizadas e o (g) controla a visibilidade do graute, enquanto as dimensões das peças são controladas através dos parâmetros "A", "B", "C", "D", "E", "F", "G", "H", "I", "J", "K", "L", "M" e "N".

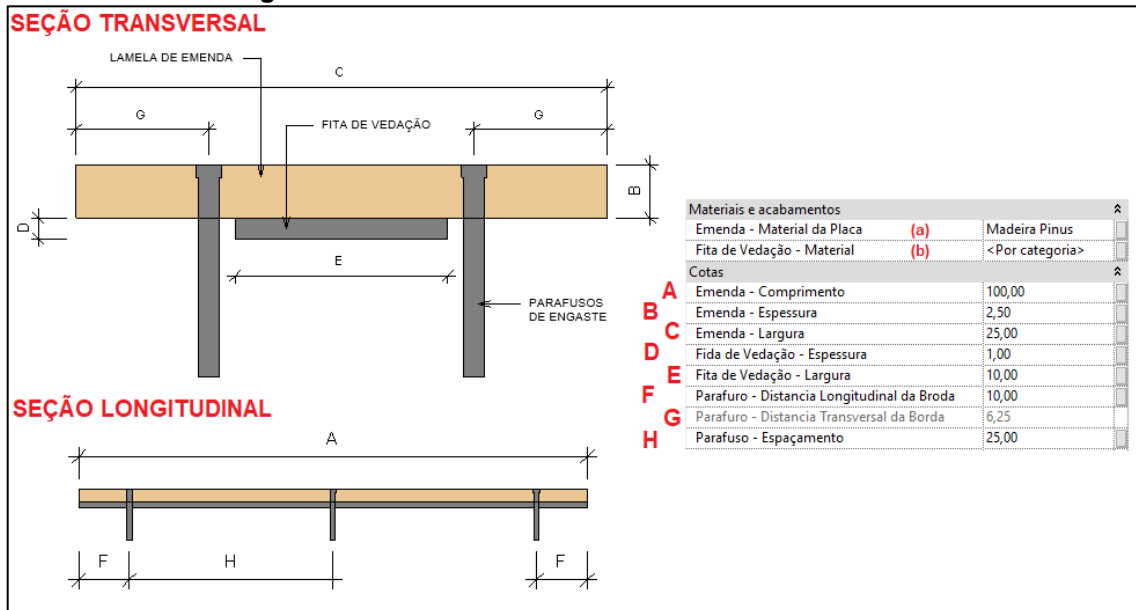
Figura 68 - Família do Steelfoot



Fonte: Autor

A Conexão dos Painéis Paralelos (Figura 69), possui os parâmetros (a) e (b), indicados na imagem, que alteram o material da placa de emenda e da fita de vedação. Quanto as dimensões dos elementos são editadas através dos parâmetros “A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “F”, “G” e “H”.

Figura 69 - Família de Conexão dos Painéis Paralelos

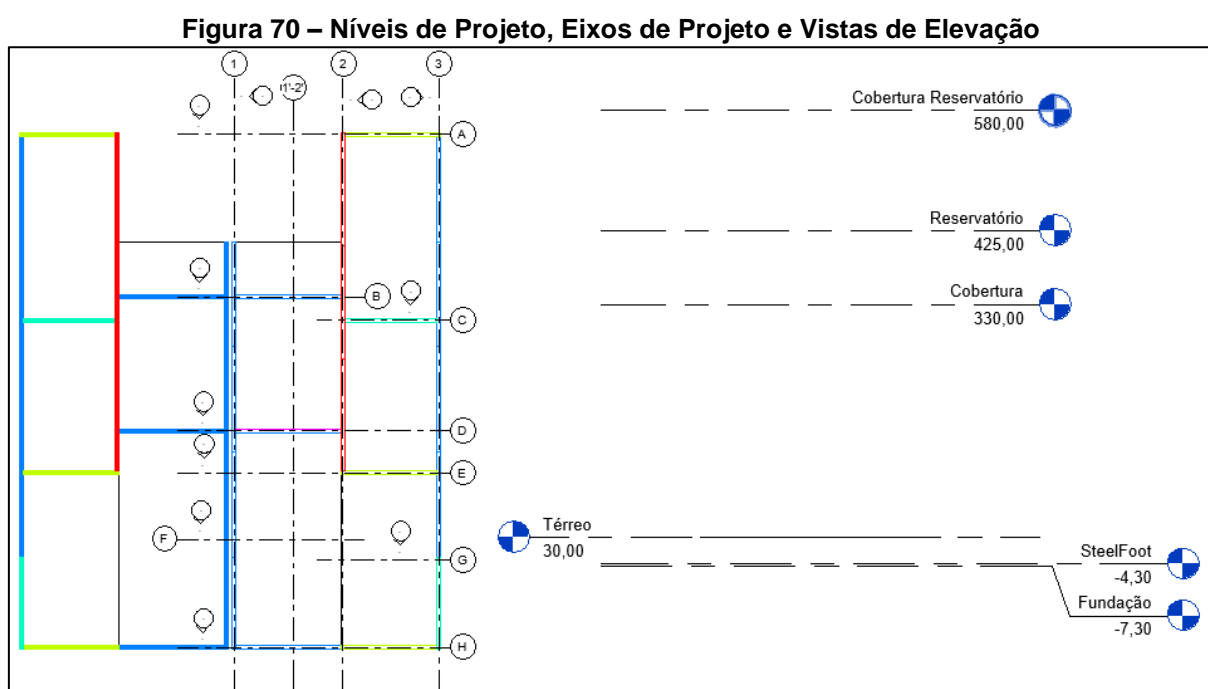


Fonte: Autor

#### 4.3.2 Desenvolvimento do Modelo BIM

Com as famílias finalizadas tem-se início a modelagem da edificação. Para tanto, criou-se um modelo de construção dentro do REVIT, onde inicialmente configurou-se as unidades, criou-se os níveis de projeto e inseriu-se um link de arquivo DWG da Figura 70 no modelo representando as dimensões da planta baixa e a posição dos tipos de placa conforme suas dimensões. Não se configurou as coordenadas geográficas por se tratar de um estudo de modelo.

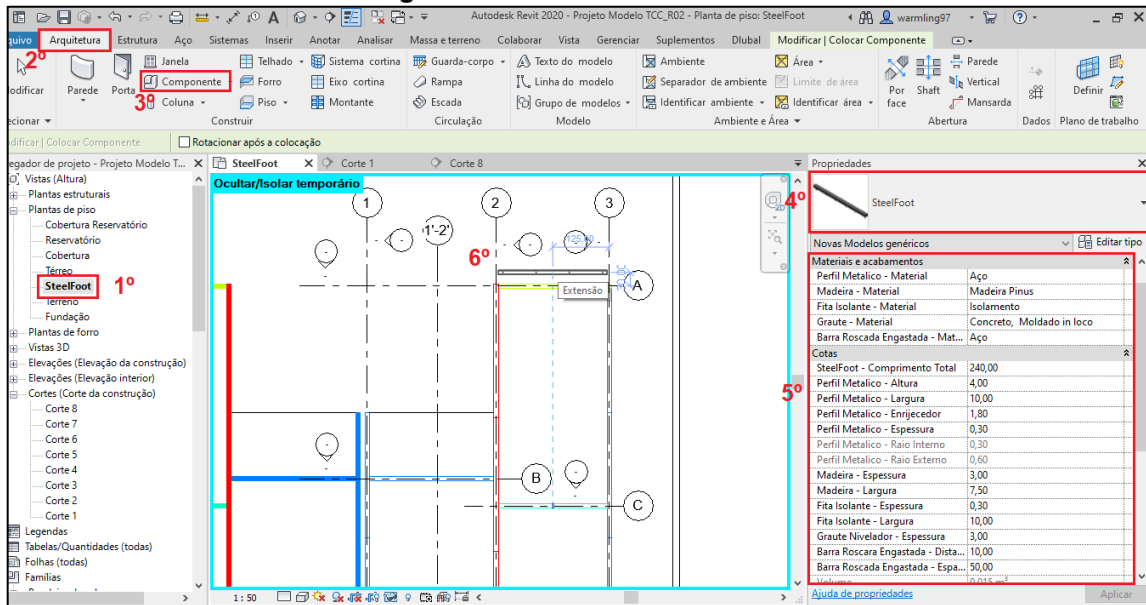
Após as configurações iniciais, criou-se os eixos das paredes utilizando a ferramenta “eixos”, sendo feito uma vista de elevação para cada eixo, buscando facilitar a alteração entre os planos de trabalhos e fazer a inserção das famílias das placas CLT.



Fonte: Autor

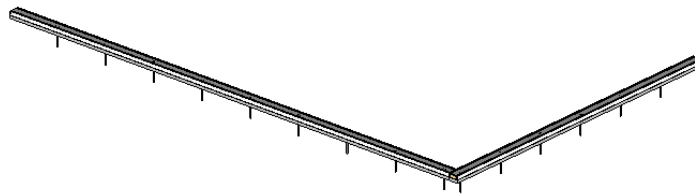
Com os níveis e eixos criados, foi inserido no modelo o *steelfoot* através do processo apresentado na Figura 71. Selecionou-se o nível que o *steelfoot* ficará, acessou-se a aba arquitetura, clicou-se na ferramenta de inserção de componentes, selecionou-se a família “*SteelFoot*” e alterou-se os parâmetros conforme as dimensões dos perfis disponíveis no mercado e inseriu-se na posição desejada. Na Figura 72 tem-se uma perspectiva de alguns perfis *steelfoot* inseridos no modelo.

**Figura 71 - Inserindo o Steelfoot**



Fonte: Autor

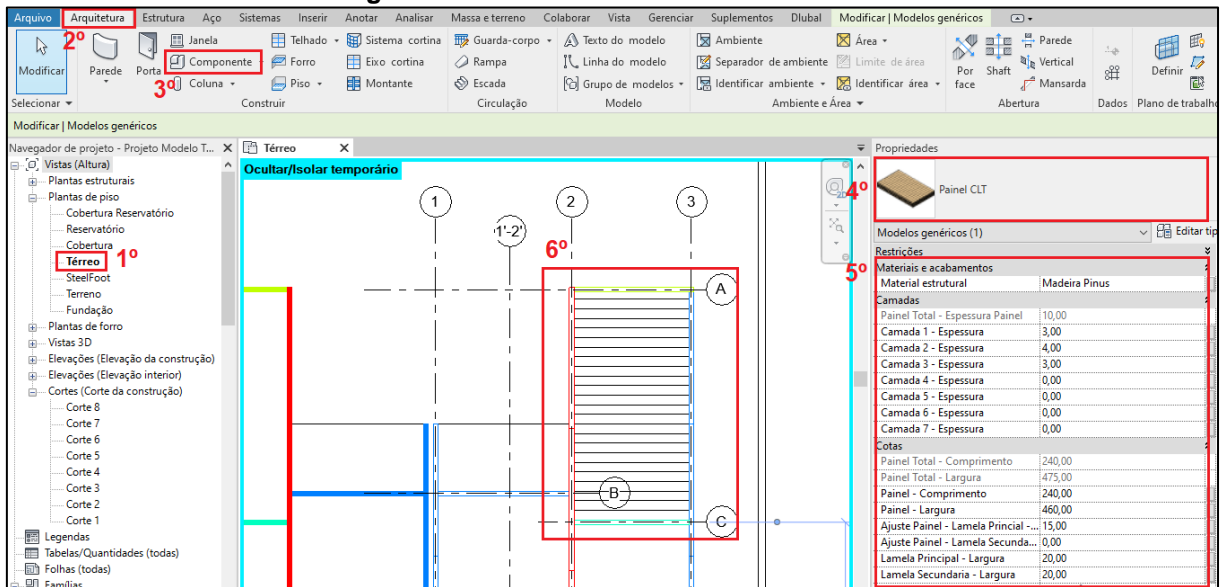
**Figura 72 - Steelfoot - Perspectiva 3D**



Fonte: Autor

Depois lançou-se as Placas CLT de piso através da ordem apresentada na Figura 73. Selecionou-se o nível que as placas de piso ficaram, acessou-se a aba arquitetura, clicou-se em inserção de componentes, selecionou-se a família "Painel CLT" e alterou-se os parâmetros conforme as dimensões dos perfis de acordo com a necessidade e foi inserido na posição desejada.

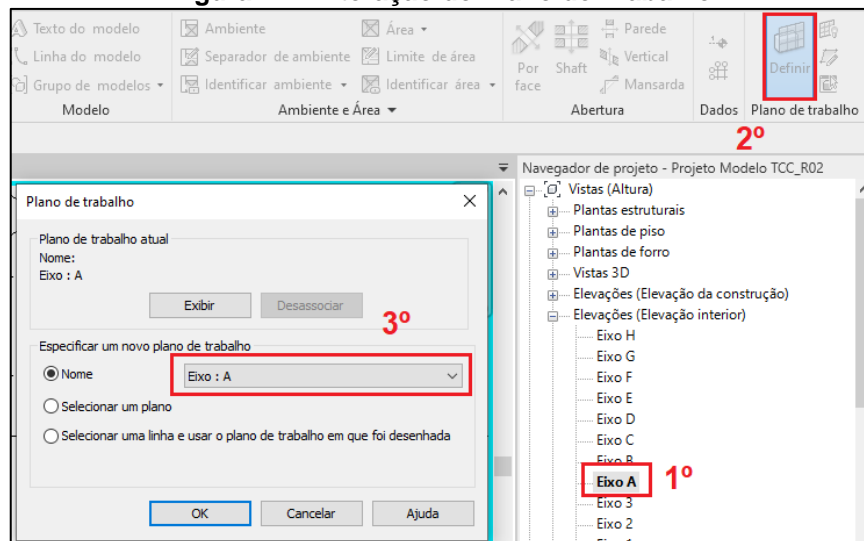
**Figura 73 - Inserindo o Painel CLT de Piso**



Fonte: Autor

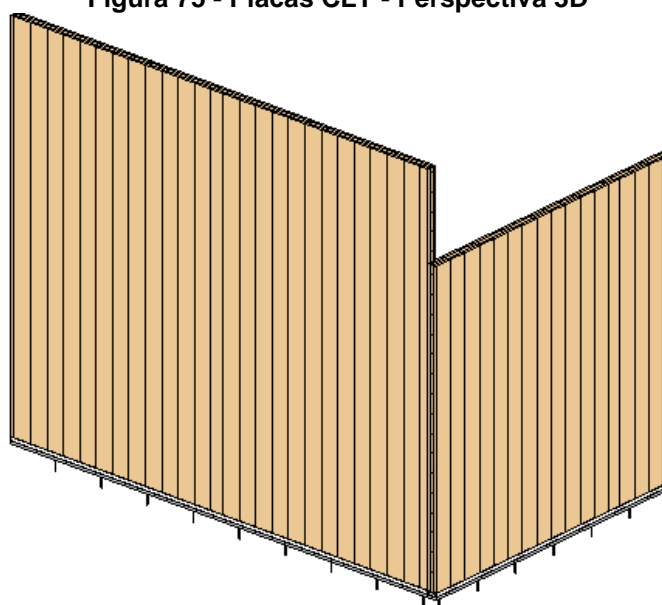
Já os painéis CLT como parede o processo de aplicação começa com a alteração do plano de trabalho, conforme a Figura 74, então selecionou-se a elevação correspondente ao eixo em que será trabalhado, clicou-se em definir o plano de trabalho e foi escolhido o nome do plano de trabalho correspondente ao eixo que foi inserido. Plano de trabalho definido, segue o processo apresentado na Figura 74 a partir da segunda etapa. Na Figura 75 tem-se uma perspectiva de algumas placas inseridas no modelo.

**Figura 74 - Alteração do Plano de Trabalho**



Fonte: Autor

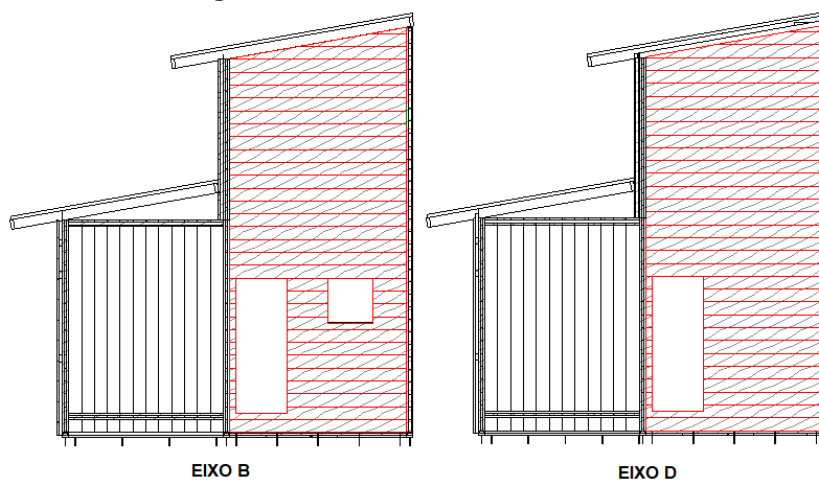
**Figura 75 - Placas CLT - Perspectiva 3D**



Fonte: Autor

Entre os eixos “B” e “D”, está locado o reservatório do projeto e são formados por uma placa em cada eixo, tendo seu comprimento iniciando no nível do *steelfoot* e indo até a cobertura do reservatório (Figura 76). Após o projeto finalizado, foi percebido que essa solução não é a melhor possível, visto que a altura total do módulo molhado dificultaria ou impediria o transporte como um módulo volumétrico. O mais indicado seria a divisão dessas placas em duas, uma placa indo do *steelfoot* até a cobertura e outra da cobertura até a cobertura do reservatório. Isso resultaria na divisão do módulo molhado em dois, sendo um módulo com a parte habitável (módulo molhado inferior) e outro módulo da torre da caixa d’água (módulo molhado superior).

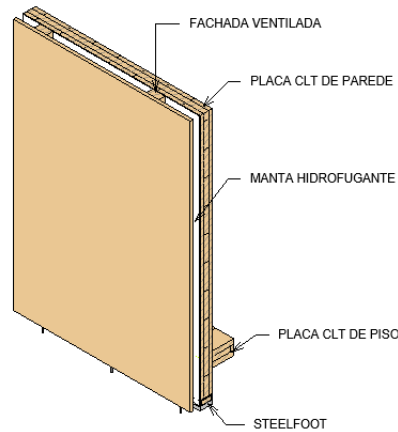
**Figura 76 - Placa dos eixos "B" e "D"**



Fonte: Autor

Com os painéis lançados, criou-se as camadas de impermeabilização e fachada ventilada, complementares aos painéis CLT, através da ferramenta “parede”. Na figura 77 temos a representação das camadas das paredes externas.

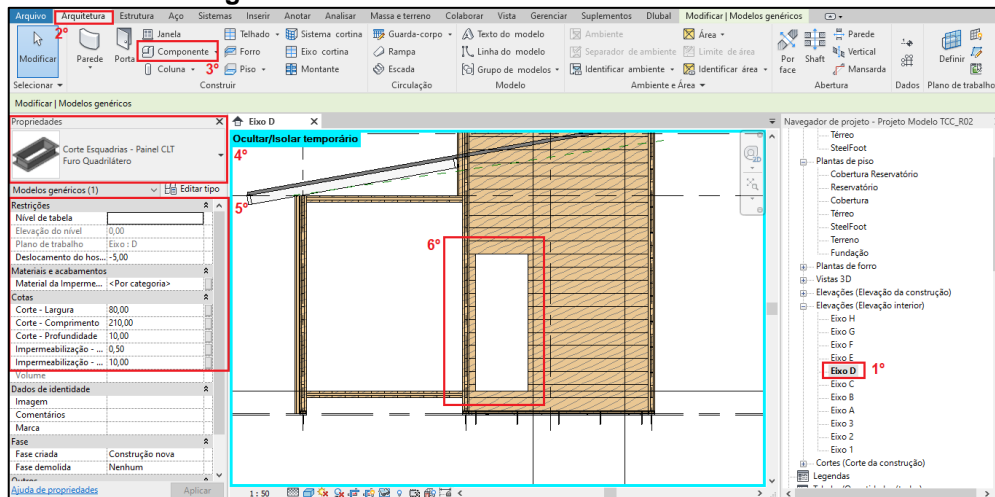
**Figura 77 - Camadas das Fachadas Externas**



Fonte: Autor

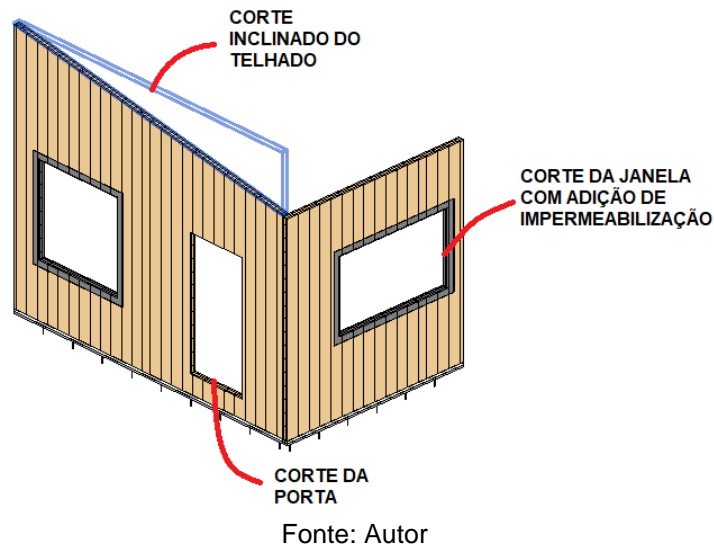
Fez-se o corte nos painéis para os oitões do telhado e das esquadrias através das famílias de corte. Para isso abriu-se as elevações no qual foi feito o corte, navegou-se para a aba arquitetura, selecionou-se a ferramenta componente, escolheu-se a família de corte, fez-se a configuração da família conforme necessidade, posicionou-se o elemento de corte, acessou-se a aba de modificar e utilizou-se a ferramenta chamada corte para subtrair a família de corte do painel CLT (Figura 78). Na Figura 79 tem-se uma perspectiva de alguns cortes inseridos no modelo.

**Figura 78 - Inserindo os Cortes Nos Painéis CLT**



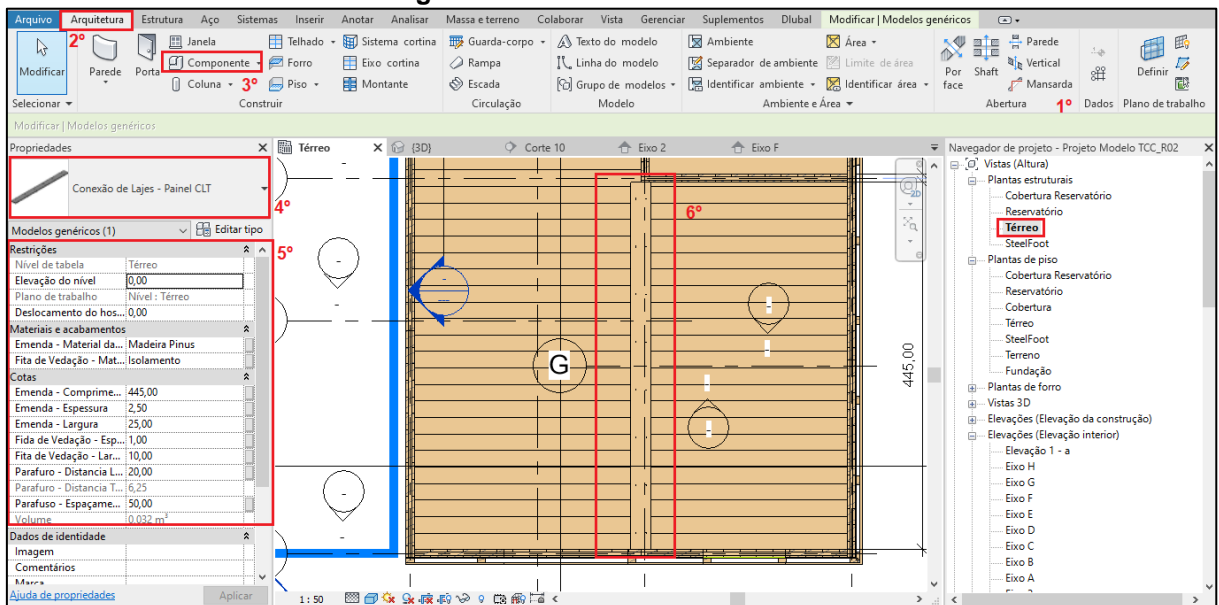
Fonte: Autor

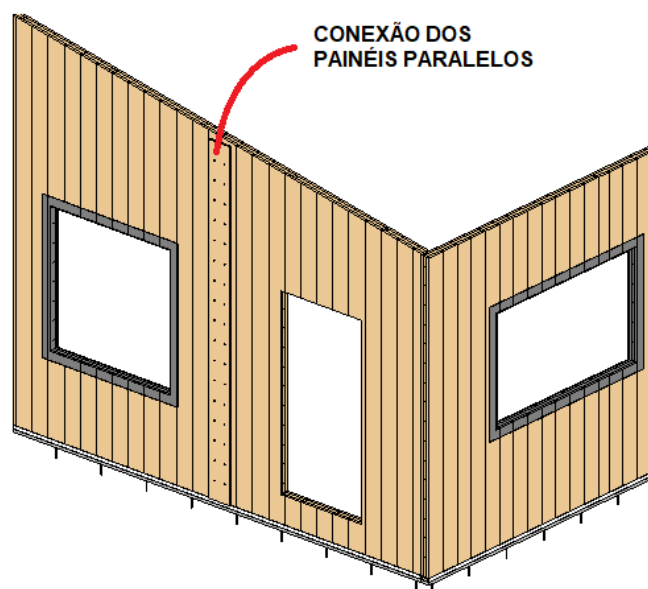
Figura 79 - Corte nos Painéis - Perspectiva 3D



Por fim, adicionou-se as conexões dos painéis através do mesmo processo apresentado anteriormente, alterando-se apenas na escolha da família, como apresentado na Figura 80 e também se criou a estrutura do telhado através da ferramenta telhado. Na Figura 81 tem-se uma perspectiva 3D com algumas conexões inseridas no modelo.

Figura 80 - Inserindo as Conexões



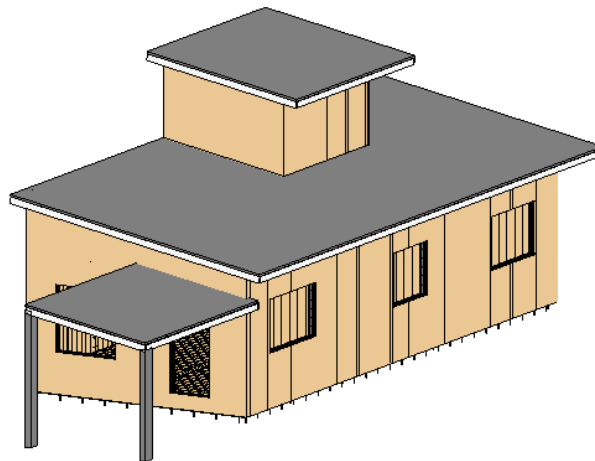
**Figura 81 - Conexão dos Painéis Paralelos - Perspectiva 3D**

Fonte: Autor

Todo esse processo culminou para o modelo de construção tridimensional no qual concentra todas as informações no modelo. Tais informações estão representadas de forma direta com a exibição efetiva no modelo como ocorre com a disposição das placas do sistema CLT, revestimentos e/ou coberturas no modelo, ou ainda de forma indireta, onde a informação é inserida através de outra informação, por exemplo o estudo de fluxo e circulações está incutido na disposição das placas.

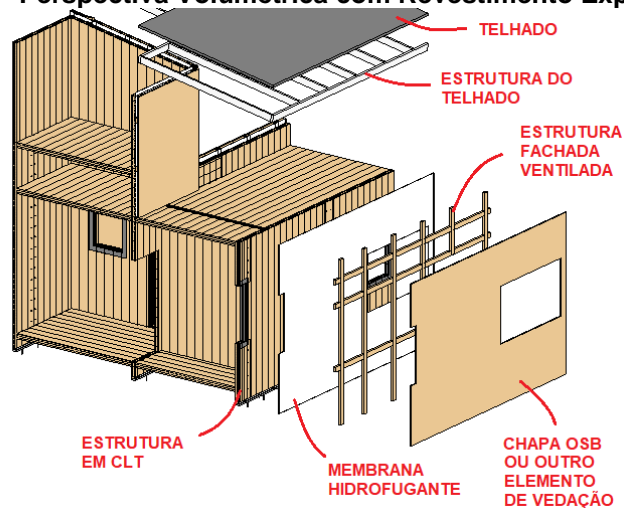
Na Figura 82 representa-se a perspectiva tridimensional do modelo com todos os elementos inseridos. Já na Figura 83 mostra as camadas utilizadas no modelo através de uma perspectiva explodida para melhor entender uma das possíveis soluções do sistema CLT.

**Figura 82 - Perspectiva 3D do Modelo Completo**



Fonte: Autor

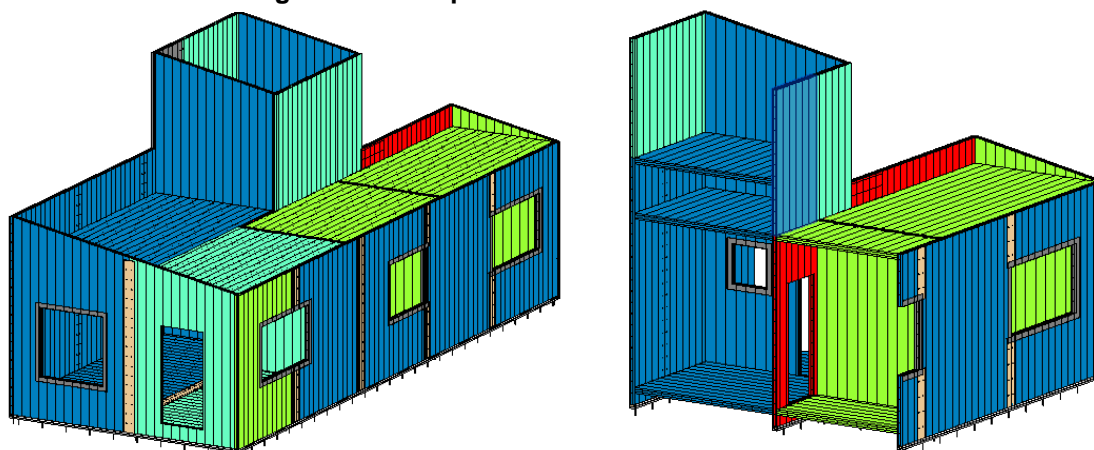
**Figura 83 - Perspectiva Volumétrica com Revestimento Explodidos**



Fonte: Autor

Na Figura 84 temos a estrutura da casa em CLT, onde as cores representam os diferentes tipos de placas padronizadas, sendo a divisão: a) verdes - 2,40 m; b) ciano - 2,50 m; c) azul - 2,75 m; d) vermelho - 2,95 m. Essa classificação por cor facilita o desenvolvimento de planos de montagem e cortes.

Figura 84 - Perspectivas 3D da Estrutura em CLT



Fonte: Autor

Nos Apêndice “A”, “B”, “C” e “D”, pode-se verificar de maneira mais detalhada as pranchas, elevações de eixos e vistas 3D que foram elaboradas no decorrer deste trabalho de conclusão de curso.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo geral desenvolver o projeto de uma habitação modular utilizando o *cross laminated timber* (CLT) em BIM, sendo este objetivo alcançado a partir dos objetivos específicos e apresentado através dos Apêndices “A”, “B”, “C” e “D”.

O primeiro objetivo específico foi alçado através da elaboração do programa de necessidades com base no projeto modelo, estudos de áreas dos ambientes, estudos de layout e fluxos de circulação que ajudaram a compor a disposição inicial das placas usando o *software* AutoCAD.

O segundo objetivo foi atingido através da elaboração do pré-dimensionamento através do método da Crosslam, onde foram utilizados os carregamentos sugeridos pela NBR 6120, possibilitando validar as espessuras e disposição inicial das placas.

O terceiro objetivo foi atingido através do desenvolvimento de famílias utilizando o *software* REVIT e os parâmetros vistos como necessários ao longo da modelagem.

Quanto ao quarto objetivo, modelou-se a edificação em uma plataforma BIM utilizando os objetos desenvolvidos nos objetivos específicos anteriores, onde foram inseridos dentro do ambiente de modelagem no *software* REVIT.

A criação das famílias foi executada sem muitas dificuldades por parte do autor que buscou criar famílias de fácil utilização, mas foi necessário refazer a família do painel CLT algumas vezes devido a necessidades de novos parâmetros que foram vistos no decorrer do projeto. Tal fato deve-se a falta de conhecimento por parte do autor sobre o sistema construtivo CLT o que resultou no levantamento raso dos parâmetros. Com o aprimoramento dos conhecimentos acerca do sistema CLT, foi aperfeiçoou-se os parâmetros utilizados. Já com o projeto pronto constatou-se que as famílias de corte não foram modeladas da melhor maneira possível, sendo mais adequado o uso de modelos com base na face.

No geral, as famílias criadas pelo autor se mostraram de fácil utilização, com processos similares de uso e acesso independente da família desejada no momento da modelagem. Mas é necessária a avaliação de outras pessoas quanto ao uso, visto que o próprio autor as criou e as utilizou.

Cogitou o uso de outros softwares, porém o conteúdo disponível de aprendizado do *software* foi um fator limitador. Também se pensou em utilizar *plug-ins* para o desenvolvimento da modelagem BIM, mas alguns se mostraram de uso complexo e não satisfatório devido ao baixo nível de detalhes oferecido e a outros não se teve acesso mesmo entrando em contato com a empresa desenvolvedora. Assim a alternativa utilizada de desenvolver as famílias mostrou-se a melhor dentro das possibilidades.

Quanto à modelagem da edificação também não se teve grandes dificuldades no seu desenvolvimento. A ideia inicial era fazer um estudo de caso no qual seria adaptado o projeto para o sistema CLT, mas notou-se que seria melhor iniciar o projeto do zero, visto que o projeto escolhido para o estudo de caso não possuía melhor solução quanto à disposição dos ambientes para o uso do sistema CLT. Assim, desenvolveu-se um projeto similar visando maximizar a eficiência do sistema modular e do CLT, tentando possibilitar a modularização volumétrica, painelizada ou a híbrida.

No mais, mesmo sendo possível desenvolver o projeto utilizando diretamente as famílias desenvolvidas em um ambiente BIM, o uso de plataformas CAD para realização dos estudos 2D se mostrou importante visto a maior facilidade de ajustar as dimensões e o posicionamento das placas em plataforma CAD quando comparado com o processo de modelagem exposto no método deste trabalho, o uso consonante dos dois ambientes (BIM e CAD) pode tornar o processo mais rápido.

## 5.1 Sugestão Para Trabalhos Futuros

Ademais, sugere-se para trabalhos futuros a exploração mais aprofundada sobre a integração do sistema construtivo em CLT com as instalações hidráulicas, elétrica, e afins abordado superficialmente neste trabalho. Recomendam-se estudos térmico-energéticos e análises estruturais mais profundas com relação ao sistema utilizado. Da mesma forma, recomenda-se a realização de estudos comparando a utilização da família criada pelo autor e *plug-ins* disponíveis no mercado comparando os níveis de detalhe, a praticidade no uso das ferramentas, os quantitativos, etc. Por fim, também se sugere estudos abordando projetos de planos de corte e planos de montagem necessários para fabricação das placas de CLT.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI - Agência Brasileira De Desenvolvimento Industrial. **Processo de projeto BIM: Coletânea guias BIM ABDI-MDIC / Guia 01**. Brasília: [S.I.], 2017. 82 p.

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **MANUAL DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA: conceitos e etapas volume 1: estrutura e vedação**. Brasília: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2015.

ADWORK. **Cadwork Wood**. Disponível em: <https://www.cadwork.com/cwen/Home>. Acesso em: 26 jul. 2021.

AGACAD. **Wood framing BIM & 3D modeling software for prefabricated timber frame system design in Revit®**. Disponível em: <https://agacad.com/products/bim-solutions/wood-framing-professional-suite/overview>. Acesso em: 27 jul. 2021.

AGOPYAN, V., JOHN, V. M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. 2a. ed. São Paulo, Blucher, 2011.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. **APA PRG 320: Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber**. Tacoma (EUA): APA, 2019. 65 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5456: Evaluation of Structural Composite Lumber Products**. West Conshohocken (EUA): [S.I.], 2021. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/astm-d5456pdf-pdf-free.html>. Acesso em: 03 jul. 2021.

AUTODESK. Revit: software de bim multidisciplinar para projetos coordenados e de maior qualidade. Software de BIM multidisciplinar para projetos coordenados e de maior qualidade. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview>. Acesso em: 29 jul. 2021 (a).

AUTODESK. **Software de modelagem de informações de construção**. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/revit/features>. Acesso em: 29 jul. 2021 (b).

BIM FORUM. **Level of development (LOD) specification part I & commentary: For Building Information Models and Data** April 2019.

BIM FORUM. **Level of Development Specification**. 2020. Disponível em: <https://bimforum.org/LOD>. Acesso em: 31 jul. 2021.

BM BOX. **Construção Modular**. 2021. Disponível em: <https://www.bmbox.com.br/construcao-modular.php>. Acesso em: 23 ago. 2021.

BRASIL AO CUBO. **Portfólio**. 2021. Disponível em: <https://brasilaoacubo.com/portfolio/>. Acesso em: 23 ago. 2021.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Centro Gráfico, 1988.

BRITO, Leandro Dussarrat. **PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE MADEIRA: METODOLOGIA DE INSPEÇÃO E TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO**. 2014. 502 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

BSLC - BINATIONAL SOFTWOOD LUMBER COUNCIL (Estados Unidos da America). **Nail Laminated Timber**: u.s. design & construction guide v1.0. Mineápolis: [S.I.], 2017.

CALIL JR., C. et al. (2006). **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**. ISBN: 85-98156-19-1. Suprema, São Carlos, 2006. Disponível em: <http://www.usp.br/agen/wp-content/uploads/Manual-de-Pontes-de-Madeira.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

CROSSLAM (São Paulo). **Guia Orientativo Para Uso e Manutenção De Estruturas De MLC e CLT**. 2021. Disponível em: <https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/GUIA%20ORIENTATIVO%20PARA%20USO%20E%20MANUTEN%20C3%87%20C3%83O%20DE%20ESTRUTURAS%20DE%20MLC%20E%20CLT%20-%20CROSSLAM.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021. (a)

CROSSLAM (São Paulo). **Cross Laminated Timber**: Detalhes Construtivos. 2021. Disponível em: [https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/CLT\\_Connections-Portuguese.pdf](https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/CLT_Connections-Portuguese.pdf). Acesso em: 17 nov. 2021. (b)

CROSSLAM (São Paulo). **Cross Laminated Timber: Pré-Dimensionamento**. 2021. Disponível em: <https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/Predimensionamento.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2021. (c)

CROSSLAM (São Paulo). **MODULARES**. Disponível em: [https://www.crosslam.com.br/site/projetos\\_modulares/](https://www.crosslam.com.br/site/projetos_modulares/). Acesso em: 23 fev. 2022.

CTE. **Madeira engenheirada: você conhece essa nova tecnologia construtiva?** 2020. Disponível em: <https://cte.com.br/blog/inovacao-tecnologia/madeira-engenheirada-voce-conhece-essa-nova-tecnologia-construtiva/>. Acesso em: 09 jun. 2021.

DIAS, Alan. **COMO A MADEIRA VAI SE TRANSFORMAR NO PRINCIPAL MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS ANDARES**. São Paulo: [S.I.], 2018. 176 p

DUBLAL. **RFEM - Programa estrutural de MEF para uso profissional**. Disponível em: <https://www.dlubal.com/pt/produtos/software-aef-rfem/o-que-e-o-rfem>. Acesso em: 27 jun. 2021.

EASTMAN, Charles *et al.* **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 3.

ed. Porto Alegre: Bookman, 2021. 592 p. Tradução de: Alexandre Salvaterra e Francisco Araújo da Costa.

EKOMPOSIT (Lages). **VIGA LVL**. Disponível em: <https://www.ekomposit.com.br/produto/30/viga-lvl>. Acesso em: 03 jul. 2021.

ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa. **HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM MADEIRA CONFORME OS PRINCÍPIOS DE COORDENAÇÃO MODULAR E CONECTIVIDADE**. 2010. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

FRERES LUMBER (Estados Unidos da América). **Mass Ply Panel**. 2021. Disponível em: <https://frereslumber.com/products-and-services/mass-ply-panel/>. Acesso em: 09 ago. 2021. (a)

FRERES LUMBER (Estados Unidos da América). **MPP - Design And Construction Guide**. Lyons: 2021, [S.l.]. 28 p. 28 f. (b)

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projeto de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 f.

GONÇALVES JUNIOR, Francisco. **BIM: Tudo o que você precisa saber sobre esta metodologia**. Disponível em: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/tudo-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 05 jun. 2021.

HORTA, Bernardo de Andrade. **CONSTRUÇÃO MODULAR TRIDIMENSIONAL: pré-fabricação, tecnologia, trabalho, obsolescência e arquitetura**. 2021. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Construção Metálica, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

HSBCAD. **HsbDesign**: Platform. Platform. Disponível em: <https://www.hsbcad.com/solutions/design-toolset-revit?toolset=Design>. Acesso em: 29 jul. 2021.

IBA - INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2020**. 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2021.

IDC (International Data Corporation). **Digital Transformation: The Future of Connected Construction**. 2020. Disponível em: [http://constructioncloud.autodesk.com/rs/572-JSV-775/images/Autodesk-IDC-Digital%20Transformation\\_The-Future-of-Connected-Construction.pdf](http://constructioncloud.autodesk.com/rs/572-JSV-775/images/Autodesk-IDC-Digital%20Transformation_The-Future-of-Connected-Construction.pdf) > acesso em 11 ago. 2021.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA. **Construção em madeira**. 2017. Disponível em: [https://www.ipt.br/centros\\_tecnologicos/CT-FLORESTA/noticias/1288-construcao\\_em\\_madeira.htm](https://www.ipt.br/centros_tecnologicos/CT-FLORESTA/noticias/1288-construcao_em_madeira.htm). Acesso em: 17 ago. 2021.

KLOTNICKI, Andrea. Categorias, famílias e tipos: Como os modelos BIM são compostos? **Archdaily**. [S.l.]. 07 maio 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/939049/categorias-familias-e-tipos-como-os-modelos-bim-sao-compostos#:~:text=A%20ferramenta%20de%20modelagem%20BIM,e%20uma%20representa%C3%A7%C3%A3o%20gr%C3%A1fica%20relacionada%22..> Acesso em: 21 mar. 2022.

MADEIRA ENGENHEIRADA. **O que é a Madeira Laminada Colada (MLC)?** 2020. Disponível em: <https://www.madeiraengenhirada.net.br/post/o-que-%C3%A9-a-madeira-laminada-colada-mlc>. Acesso em: 08 ago. 2021.

MASS TIMBER INSTITUTE (Canada). **Mass Timber Building Science Primer**. Toronto: [S.l.], 2021.

MCKINSEY. **Reinventing Construction: A Route To Higher Productivity**. Mckinsey, n. February, p. 168, 2017. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution> acesso em 11 ago. 2021.

MEIRELES, Taís. **Acordo de Paris completa cinco anos com lições aprendidas**. 2020. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?77471/Acordo-de-Paris-completa-cinco-anos-com-licoes-aprendidas>. Acesso em: 02 ago. 2021.

MODULAR BUILDING INSTITUTE (Estados Unidos da América). **What is Modular Construction?** Disponível em: [https://www.modular.org/HtmlPage.aspx?name=why\\_modular](https://www.modular.org/HtmlPage.aspx?name=why_modular). Acesso em: 04 jun. 2021.

NATURALLY WOOD. **Laminated strand lumber (LSL): the fabrication, uses, performance and sustainability of laminated strand lumber (Lsl)**.. The fabrication, uses, performance and sustainability of laminated strand lumber (LSL).. 2021. Disponível em: <https://www.naturallywood.com/products/laminated-strand-lumber/>. Acesso em: 09 ago. 2021.

NETO, Carlito Calil. **MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC): CONTROLE DE QUALIDADE EM COMBINAÇÕES ESPÉCIE-ADESIVO-TRATAMENTO PRESERVATIVO**. 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

OLIVEIRA, Gabriela Lotufo. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: Processo Construtivo e desempenho: recomendações para o processo de projeto arquitetônico**. 2018. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, Paulo. **MODULAR BUILDING: Benefícios da construção modular. BENEFÍCIOS DA CONSTRUÇÃO MODULAR.** 2019. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/modular-building/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

PALHOÇA. Lei nº 15, de 1993. **Fixa os objetivos, as diretrizes e as estratégias do plano diretor do município de palhoça, estado de santa catarina, e dá outras providências.** Palhoça, 1993. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-palhoca-sc#:~:text=Par%C3%A1grafo%20%C3%AAnico%20%2D%20%20Plano%20Diretor,nas%20condi%C3%A7%C3%B5es%20s%C3%B3cio%2Decon%C3%B4micas%20ocais..> Acesso em: 26 fev. 2022. (a)

PALHOÇA. Lei nº 17, de 1993. **Institui O Código de Obras e Edificações Para O Município de Palhoça.** Palhoça, 1993. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-palhoca-sc>. Acesso em: 26 fev. 2022. (b)

PANDOLFO, Alexandre. **O que é essa tal de construção modular, afinal?** 2020. Disponível em: <https://blogdaliga.com.br/o-que-e-essa-tal-de-construcao-modular-afinal/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

PASSARELLI, R. N. **Cross laminated timber: Diretrizes para projeto de painel maciço em madeira no Estado de São Paulo.** 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo. Instituto de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. São Carlos. 2013.

PLACLUX. **ProFort System na Construção Panelizada.** 2021. Disponível em: <https://www.placlux.com/profort-system-na-construcao-panelizada/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

PORTAL DA INDUSTRIA. **Indústria 4.0: Entenda seus conceitos e fundamentos.** 2021. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>. Acesso em: 24 ago. 2021.

RITTER, Michael A.. **Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance.** United States Department of Agriculture, USDA. Forest Service. Washington, Dc: [S.I.], 1990. 907 f.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas construtivos -:** formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. 321 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento da Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Usp, São Paulo, 1989.

SANTA CATARINA. **CADERNO DE ESPECIFICAÇÕES DE PROJETOS EM BIM. 2.** ed. Santa Catarina: [S.I.], 2018. 100 p. 100 f. Disponível em: [https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/doc-tecnicos/labim/Caderno%20de%20Especificaca%C3%A7%C3%B5es%20de%20Projetos%20em%20BIM\\_102018.pdf](https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/doc-tecnicos/labim/Caderno%20de%20Especificaca%C3%A7%C3%B5es%20de%20Projetos%20em%20BIM_102018.pdf). Acesso em: 25 fev. 2022.

SCHEER, Sergio; AYRES FILHO, Cervantes Gonçalves. **Abordando a BIM em níveis de modelagem**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, São Carlos. [S.I.]. [S.I.]: Antac, 2009. p. 591-601. Disponível em: [https://www.academia.edu/24889560/Abordando\\_a\\_BIM\\_em\\_n%C3%ADveis\\_de\\_modelagem](https://www.academia.edu/24889560/Abordando_a_BIM_em_n%C3%ADveis_de_modelagem). Acesso em: 25 fev. 2022.

SEMA. **TIMBER CONSTRUCTION**. Disponível em: <https://www.sema-soft.de/en/software/timber-construction/>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SMITH, Ryan E.; QUALE, John D.. **Offsite Architecture: constructing the future**. Reino Unido: Routledge, 2017.

SUCCAR, Bilal; SHER, Willy; WILLIAMS, Anthony. Measuring BIM performance:: five metrics. In: [S.I.] (ed.). **ARCHITECTURAL ENGINEERING AND DESIGN MANAGEMENT**. 8. ed. Newcastle: [S.I.], 2012. p. 120-142. Disponível em: [https://www.academia.edu/1487618/Measuring\\_BIM\\_performance\\_Five\\_metrics](https://www.academia.edu/1487618/Measuring_BIM_performance_Five_metrics). Acesso em: 25 fev. 2022.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation In Construction**. Australia, p. 357-375. 10 out. 2008. Disponível em: <http://bit.ly/BIMPaperA2>. Acesso em: 25 fev. 2022.

SUCCAR, Bilal. Building Information Modelling Maturity Matrix. In: MSED, Jason Underwood (ed.). **Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics:: concepts and technologies**. Hershey: [S.I.], 2009. p. 65-103. Disponível em: <http://bit.ly/BIMPaperA3>. Acesso em: 25 fev. 2022.

TDM STUDIO (Londres). **What is BIM and why do you need it?** 2017. Disponível em: <https://medium.com/studiotmd/what-is-bim-and-why-do-you-need-it-c4445eed7941>. Acesso em: 30 jul. 2021.

TECNOSIL. **O que são pré-moldados?** 2021. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/o-que-sao-pre-moldados-de-concreto-e-qual-a-diferenca-com-os-pre-fabricados/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

TECVERDE. **TECVERDE Construções Eficientes**. 2021. Disponível em: [https://www.tecverde.com.br/?utm\\_term=tec%20verde&utm\\_campaign=Julho+2021&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=5988557296&hsa\\_cam=13759234502&hsa\\_grp=119555292410&hsa\\_ad=531413493484&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=kwd-367035963527&hsa\\_kw=tec%20verde&hsa\\_mt=b&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&gclid=Cj0KCQjwjo2JBhCRARIsAFG667W6e4PPNTKy6O3jK4r18ICwmlaxh01wM0xfBctgFzPe5jLqXp-YxxYaAvyNEALw\\_wcB](https://www.tecverde.com.br/?utm_term=tec%20verde&utm_campaign=Julho+2021&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=5988557296&hsa_cam=13759234502&hsa_grp=119555292410&hsa_ad=531413493484&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-367035963527&hsa_kw=tec%20verde&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=Cj0KCQjwjo2JBhCRARIsAFG667W6e4PPNTKy6O3jK4r18ICwmlaxh01wM0xfBctgFzPe5jLqXp-YxxYaAvyNEALw_wcB). Acesso em: 23 ago. 2021.

**ANEXOS**

## ANEXO A – TABELA DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PISO VÃO SIMPLES COM E SEM TESTE DE VIBRAÇÃO

CLT COMO LAJE DE PISO													
ESPESSURA MÍNIMA DO PAINEL PARA R0 (DIMENSIONAMENTO A FRIJO) EM CASO DE EXPOSIÇÃO AO FOGO UNILATERAL - REQUISITOS AUMENTADOS, COM TESTE DE VIBRAÇÃO													
Carga permanente (g) [kN/m <sup>2</sup> ]*	Carga acidental (q)		VÃO SIMPLES, ℓ										
	CAT	[kN/m <sup>2</sup> ]	3.00 m	3.50 m	4.00 m	4.50 m	5.00 m	5.50 m	6.00 m	6.50 m	7.00 m		
1.00	A	1.50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL
		2.00											
		2.80											
	B	3.00	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL		
		3.50											
		4.00											
C	4.00	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL			
	5.00												
1.50	A	1.50	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL
		2.00											
		2.80											
	B	3.00	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL
		3.50											
		4.00											
C	4.00	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL	
	5.00												
2.00	A	1.50	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL
		2.00											
		2.80											
	B	3.00	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL
		3.50											
		4.00											
C	4.00	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL	
	5.00												

CLT COMO LAJE DE PISO													
ESPESSURA MÍNIMA DO PAINEL PARA R0 (DIMENSIONAMENTO A FRIJO), EM CASO DE EXPOSIÇÃO AO FOGO UNILATERAL - REQUISITOS SEM TESTE DE VIBRAÇÃO													
Carga permanente (g) [kN/m <sup>2</sup> ]*	Carga acidental (q)		VÃO SIMPLES, ℓ										
	CAT	[kN/m <sup>2</sup> ]	3.00 m	3.50 m	4.00 m	4.50 m	5.00 m	5.50 m	6.00 m	6.50 m	7.00 m		
1.00	A	1.50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 180 DL	6C 180 DL	6C 200 DL	6C 200 DL
		2.00											
		2.80											
	B	3.00	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 180 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7CC 220 DL
		3.50											
		4.00											
C	4.00	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL	
	5.00												
1.50	A	1.50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 180 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7CC 220 DL
		2.00											
		2.80											
	B	3.00	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 180 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL
		3.50											
		4.00											
C	4.00	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL	
	5.00												
2.00	A	1.50	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 180 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7CC 220 DL	7CC 220 DL
		2.00											
		2.80											
	B	3.00	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 180 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL
		3.50											
		4.00											
C	4.00	3C 100 DL	3C 100 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	6C 200 DL	7C 220 DL	7C 220 DL	7CC 220 DL	7CC 250 DL	
	5.00												

\* Além da carga, o peso próprio do CLT está considerado na tabela.

Resistência ao fogo:	R0	R30	R60	R90
----------------------	----	-----	-----	-----

Esquema de cargas e fixação da laje:

onde:

g = carga permanente  
q = carga acidental  
ℓ = comprimento de flambagem

Fonte: CROSSLAM (2021c) - Adaptado pelo Autor

## ANEXO B – TABELA DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PISO VÃO DUPLO COM E SEM TESTE DE VIBRAÇÃO

CLT COMO LAJE DE PISO - VÃO DUPLO													
ESPESSURA MÍNIMA DO PAINEL PARA R0 (DIMENSIONAMENTO A FRIO) EM CASO DE EXPOSIÇÃO AO FOGO UNILATERAL - REQUISITOS AUMENTADOS, COM TESTE DE VIBRAÇÃO													
Carga permanente (g) [kN/m²] *	Carga acidental (q) CAT	[kN/m²]	VÃO DUPLO, $\ell_1$										
			3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m		
1.00	A	1,50	3C 80 DL	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL		
		2,00			3C 100 DL								
		2,80											
	B	3,00	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL		
		3,50											
		4,00											
C	4,00	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7CC 220 DL			
	5,00												
1.50	A	1,50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL		
		2,00											
		2,80											
	B	3,00	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL		
		3,50											
		4,00											
C	4,00	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7CC 220 DL			
	5,00												
2.00	A	1,50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL		
		2,00											
		2,80											
	B	3,00	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL		
		3,50											
		4,00											
C	4,00	3C 90 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	5C 200 DL	7CC 220 DL			
	5,00												

CLT COMO LAJE DE PISO - VÃO DUPLO													
ESPESSURA MÍNIMA DO PAINEL PARA R0 (DIMENSIONAMENTO A FRIO) EM CASO DE EXPOSIÇÃO AO FOGO UNILATERAL - REQUISITOS SEM TESTE DE VIBRAÇÃO													
Carga permanente (g) [kN/m²] *	Carga acidental (q) CAT	[kN/m²]	VÃO DUPLO, $\ell_1$										
			3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m		
1.00	A	1,50	3C 57 DL	3C 78 DL	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 140 DL	5C 140 DL		
		2,00											
		2,80											
	B	3,00	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL		
		3,50											
		4,00											
C	4,00	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL			
	5,00												
1.50	A	1,50	3C 78 DL	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 140 DL	5C 140 DL			
		2,00											
		2,80											
	B	3,00	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL		
		3,50											
		4,00											
C	4,00	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL			
	5,00												
2.00	A	1,50	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 140 DL	5C 140 DL			
		2,00											
		2,80											
	B	3,00	3C 78 DL	3C 90 DL	3C 90 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL		
		3,50											
		4,00											
C	4,00	3C 90 DL	3C 100 DL	3C 120 DL	3C 120 DL	5C 140 DL	5C 160 DL	5C 160 DL	5C 200 DL	5C 200 DL			
	5,00												

\* Além da carga, o peso próprio do CLT está considerado na tabela.

Resistência ao fogo:	R0	R30	R60	R90
----------------------	----	-----	-----	-----

Esquema de cargas e fixação da laje:

onde:  
g = carga permanente  
q = carga acidental  
 $\ell$  = comprimento de flambagem  
 $0,6 \ell_1 \leq \ell_2 \leq \ell_1$

## ANEXO C – TABELA DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PAREDES

CLT COMO PAREDE EXTERNA													
ESPESSURA MÍNIMA DO PAINEL PARA CLASSES DE RESISTÊNCIA AO FOGO (R0 A R90) EM CASO DE EXPOSIÇÃO AO FOGO UNILATERAL													
Carga permanente (g) [kN/m <sup>2</sup> ]*	Carga acidental (q) [kN/m <sup>2</sup> ]	ALTURA DA PAREDE EXTERNA (comprimento de flambagem, $\ell$ )											
		2.40 m				2.75 m				2.95 m			
10.00	10.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT
	20.00												
	30.00												
	40.00												
	60.00												
20.00	10.00	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT	3C 57 DT	3C 100 DT	5C 95 DT	5C 140 DT
	20.00												
	30.00												
	40.00												
	60.00												

\* Além da carga, o peso próprio do CLT está considerado na tabela.

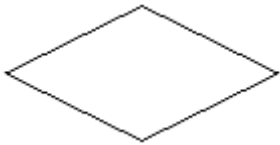

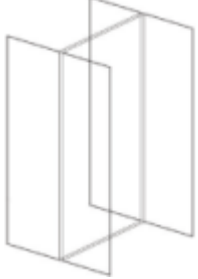

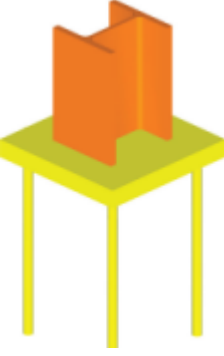

Resistência ao fogo: R0 R30 R60 R90

Esquema de cargas e fixação da parede:

onde:  
 Pressão do vento = 0,80 kN / m<sup>2</sup>  
 g = carga permanente  
 q = carga acidental  
 $\ell$  = comprimento de flambagem

Fonte: CROSSLAM (2021c) - Adaptado pelo Autor

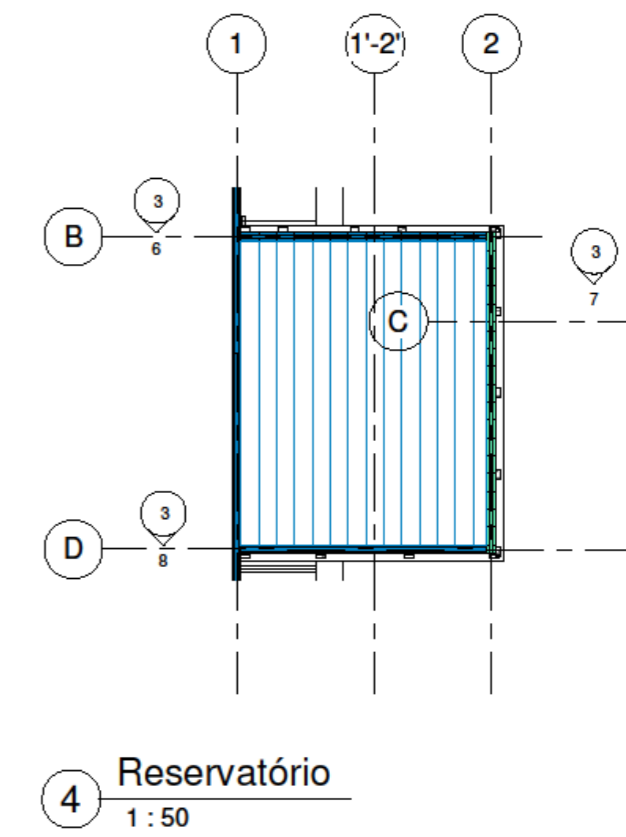
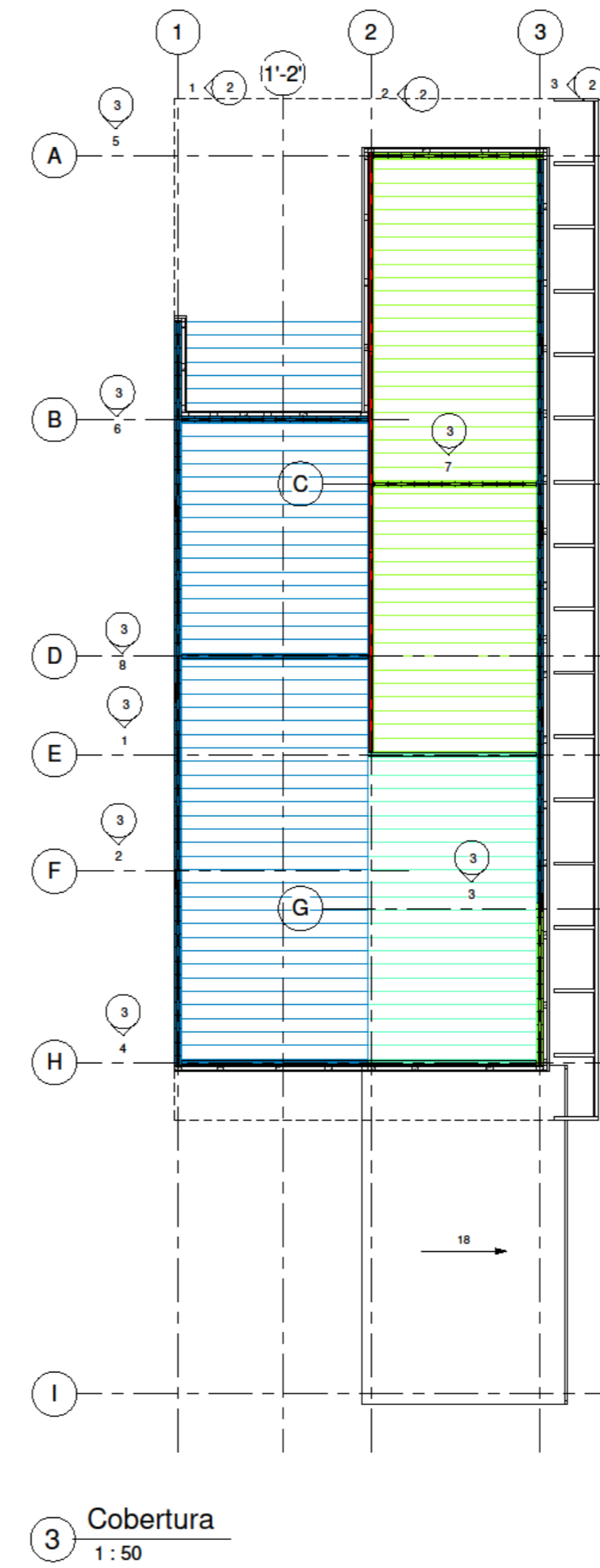
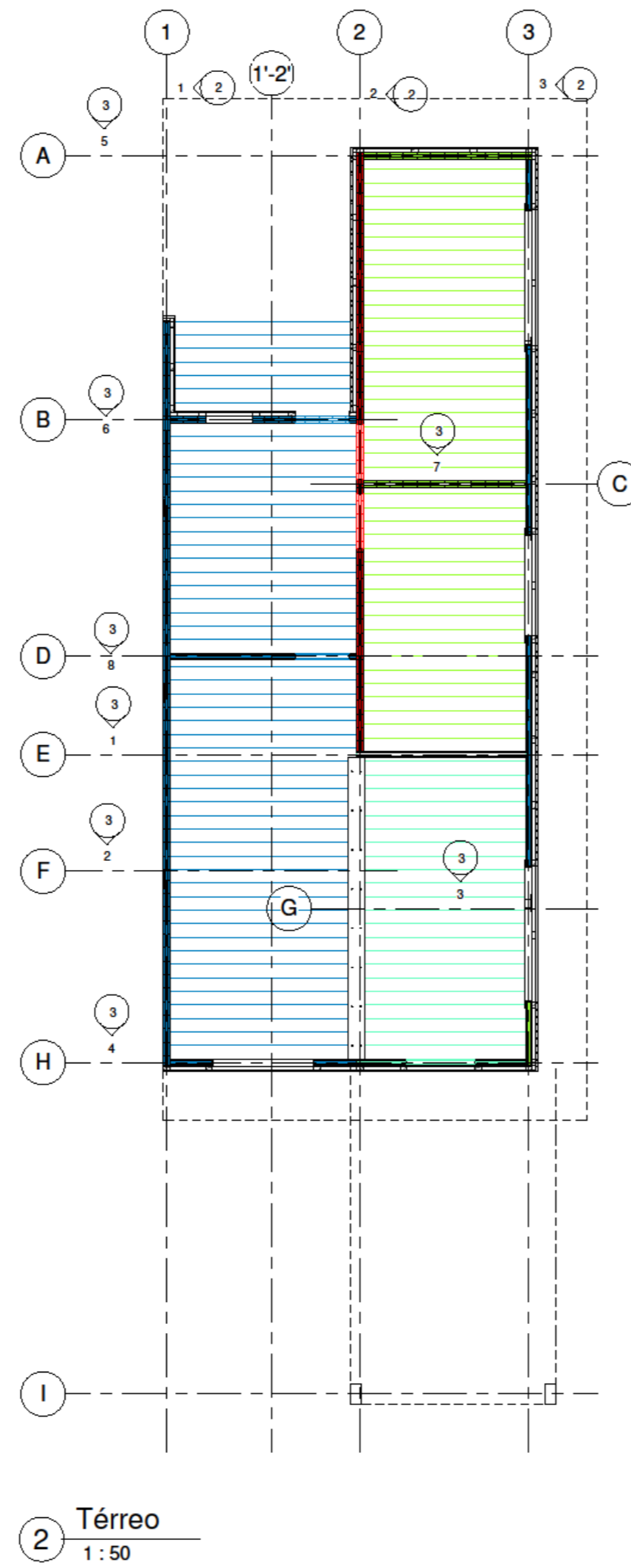
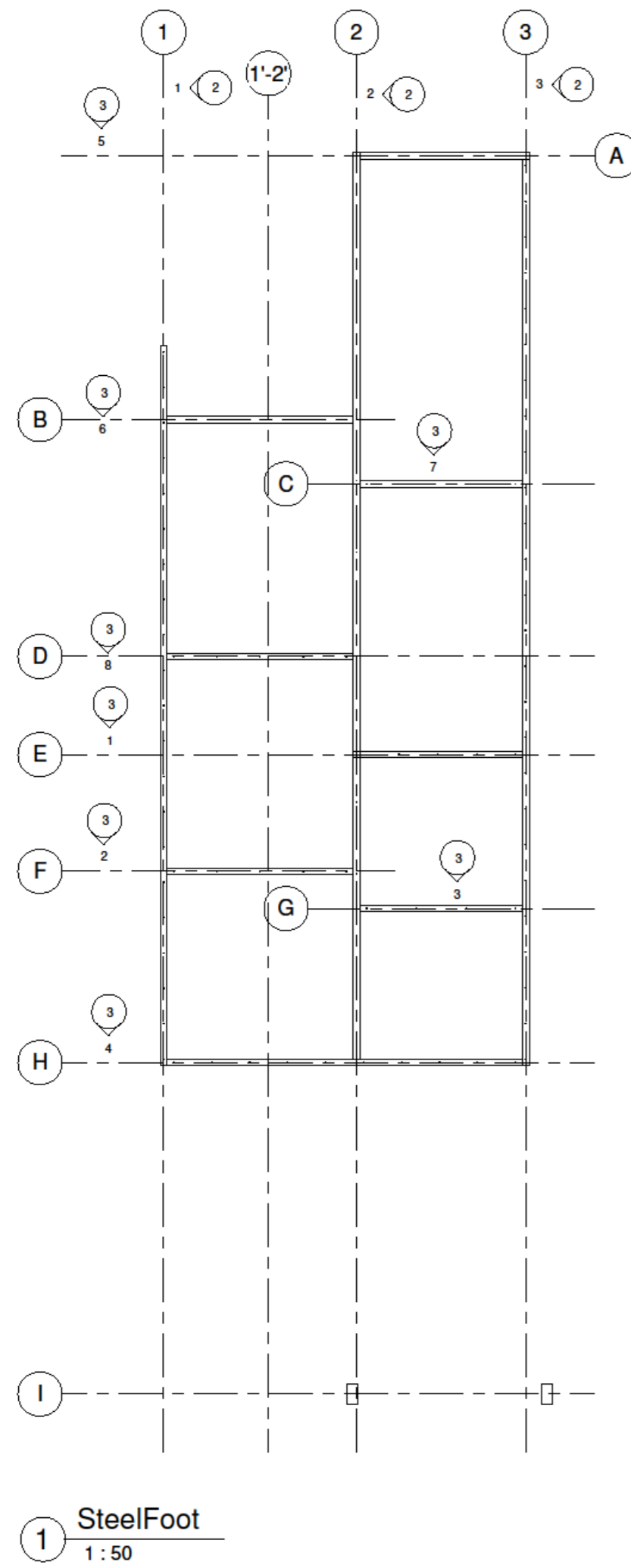
## ANEXO D – FASES, ETAPAS E DESCRIÇÃO DE DESENVOLVIMENTO (BIM) PROJETOS E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA


REPRESENTAÇÃO									<ul style="list-style-type: none"> <li>– Execução da obra</li> <li>– “As Built”</li> <li>– Realidade</li> <li>– Como executado</li> </ul>		
DESCRIÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Levantamento de informações (urbanísticas, ambientais, fundiárias e econômicas);</li> <li>– Identificação das necessidades;</li> <li>– Esboço; e</li> <li>– Estudo de Massa.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Desenhos esquemáticos;</li> <li>– Volumetria geral edifício;</li> <li>– Análise do prédio inteiro (volume, orientação, custos de metragem quadrada);</li> <li>– Predefinição dos componentes e elementos/objetos dos ambientes;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Desenvolvimento do desenho e do modelo;</li> <li>– Sistemas/conjuntos genéricos (quantidades aproximadas, tamanho, forma, localização, orientação);</li> <li>– Análise de desempenho do sistema selecionado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Desenvolvimento da modelagem da construção;</li> <li>– Criação da documentação pela geração de desenhos tradicionais;</li> <li>– Análise dos elementos/sistemas;</li> <li>– Inclusão de atributos e parâmetros definidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Finalização da modelagem da construção;</li> <li>– Construção da documentação;</li> <li>– Modelos finais sem as informações e detalhes de montagens, suas especificações com os correspondentes desenhos;</li> <li>– Análise detalhada de elementos/sistemas;</li> <li>– Inclusão de atributos e parâmetros definidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Planejamento e administração da construção;</li> <li>– Modelos finais com as informações, detalhes de montagens e suas especificações com os correspondentes desenhos;</li> <li>– Tabelas de quantitativos precisas, que incluem tamanhos, formas, localização e orientação dos elementos e objetos do projeto;</li> <li>– Representações virtuais dos elementos propostos, adequados para construção, fabricação e montagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Conclusão da execução da obra do Projeto;</li> <li>– Registro nos projetos e documentação de como foi construído e suas condições (As-built);</li> <li>– O modelo deve estar reajustado e configurado para ser usado como base de dados central para a integração nos sistemas de manutenção e operações do empreendimento;</li> <li>– As entidades devem conter os parâmetros e atributos, conforme especificado pela CONTRATANTE, ao tempo da execução, instalação ou montagem.</li> </ul>		
ETAPAS	Levantamento de Dados (LV)	Programa de Necessidades (PN)	Estudo de Viabilidade (EV)	Estudo Preliminar (EP)	Anteprojeto (AP)	Projeto Legal (PL)	Projeto Básico (PB)	Projeto Executivo (PE)	Licitação da Obra	Contratação da Obra	Obra Concluída
FASES	Concepção do Produto			Definição do Produto	Identificação e Solução de Interfaces			Projeto de Detalhamento de Especialidades	Pós-Entrega do Projeto		

Fonte: Santa Catarina (2018)

## APÊNDICES

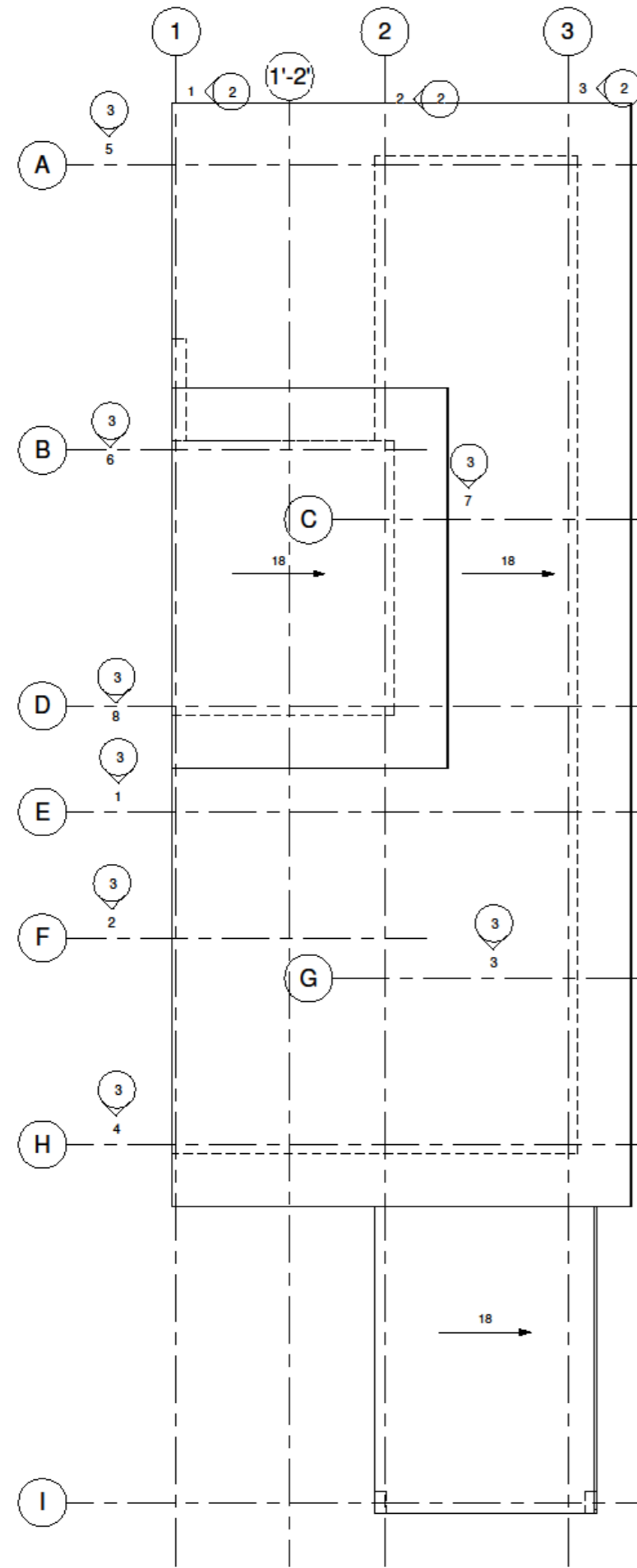
APENDICE A – PLANTAS BAIXAS



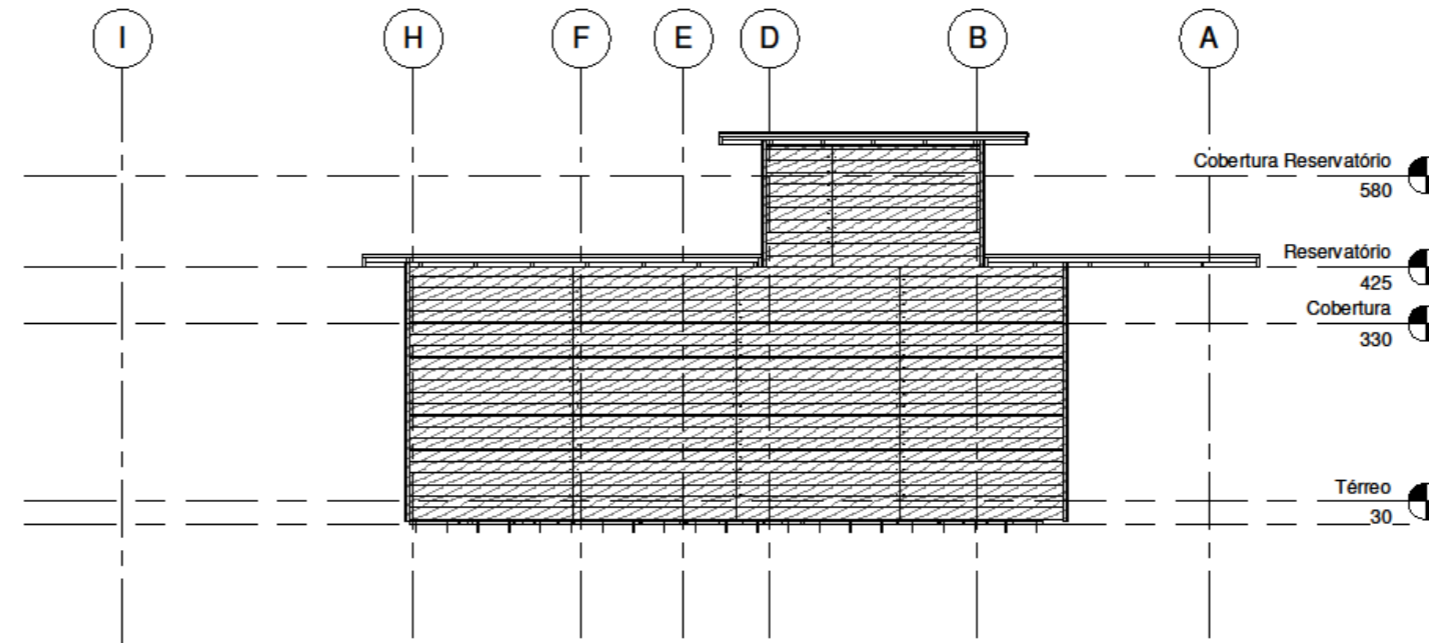
 <b>INSTITUTO FEDERAL</b> Santa Catarina	
JOSÉ GUSTAVO WARMLING PROJETO MODULAR	
CONTEÚDO: <b>Planta Baixa</b>	
APÊNDICE A	
ALUNO: JOSÉ GUSTAVO WARMLING	
<b>1 / 4</b>	
Escala	1 : 50

01/03/2022 12:53:17

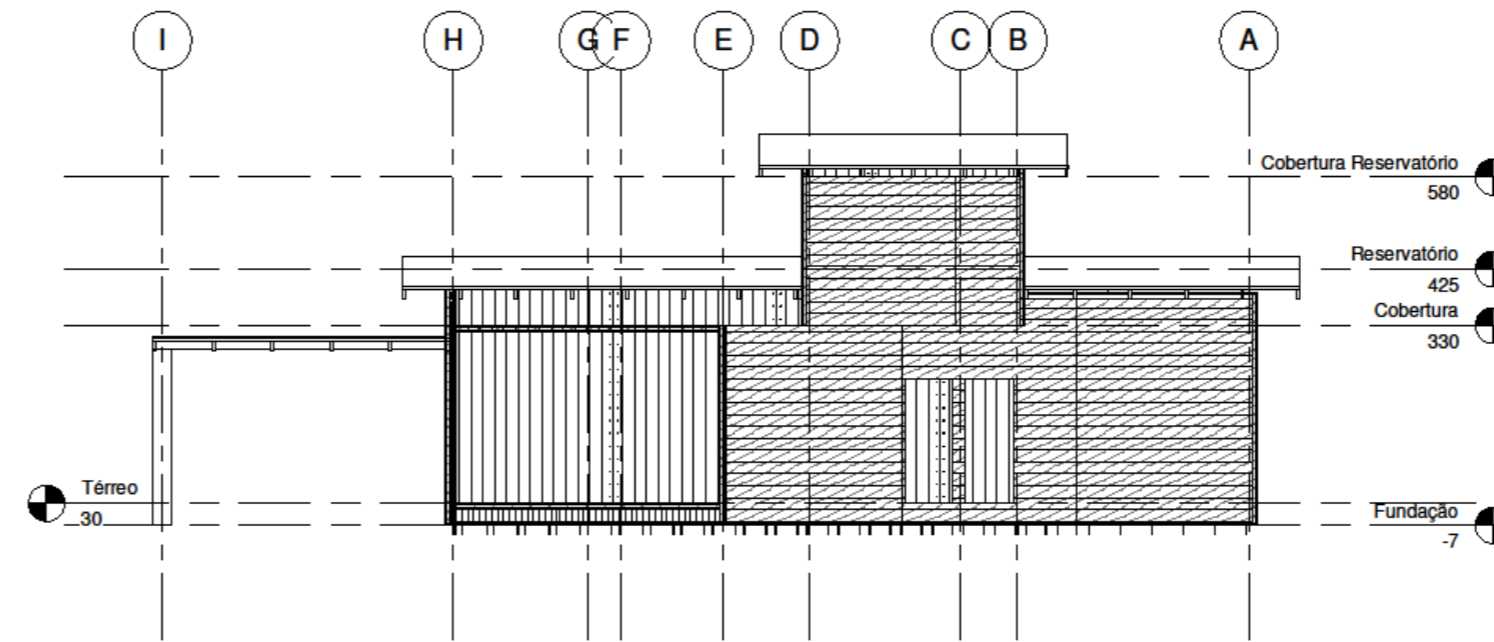
APENDICE B – PLANTA BAIXA E EIXOS



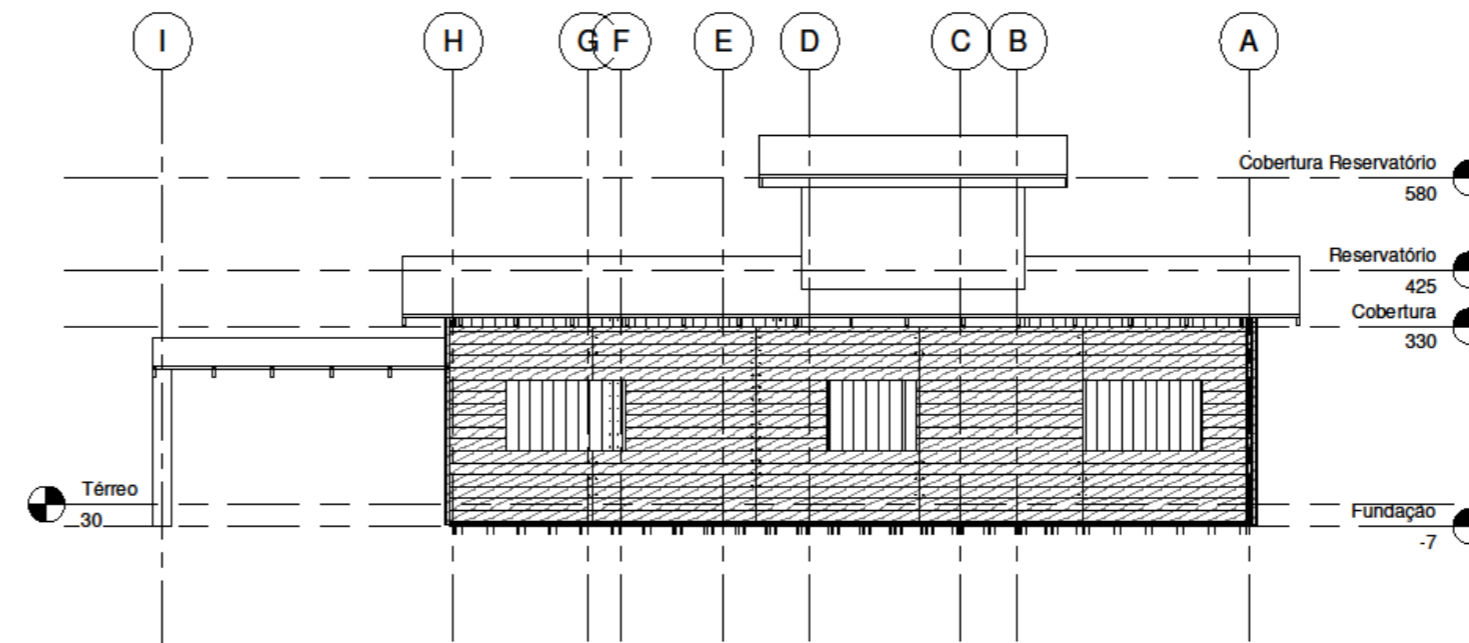
4 Cobertura Reservatório  
1:50



1 Eixo 1  
1:75



2 Eixo 2  
1:75



3 Eixo 3  
1:75



JOSÉ GUSTAVO  
WARMLING  
PROJETO MODULAR

CONTÉUDO:  
**Planta Baixa e  
Eixos**

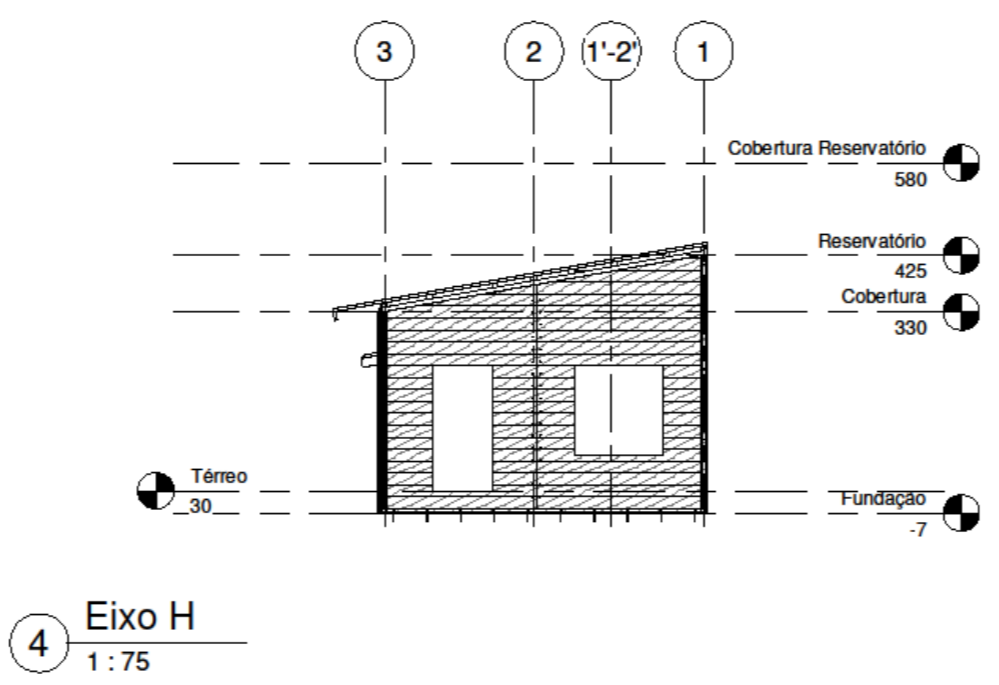
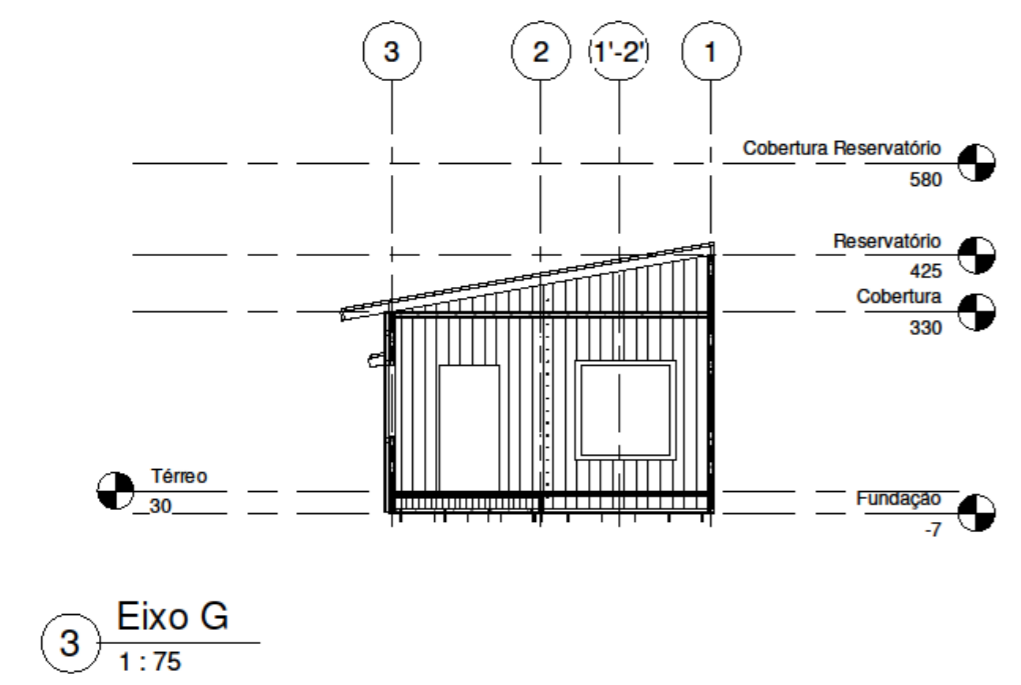
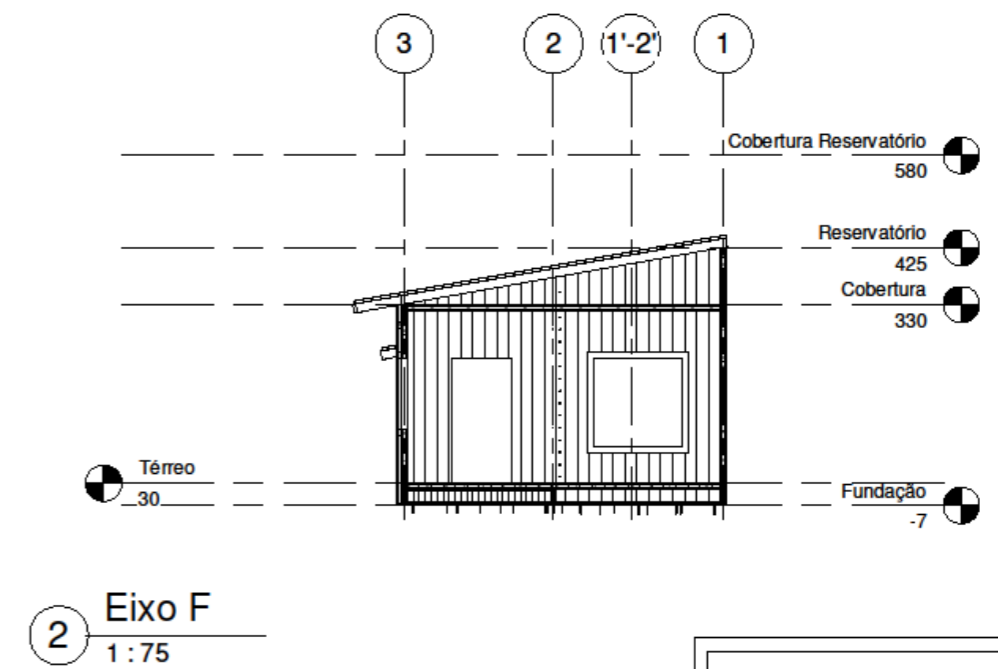
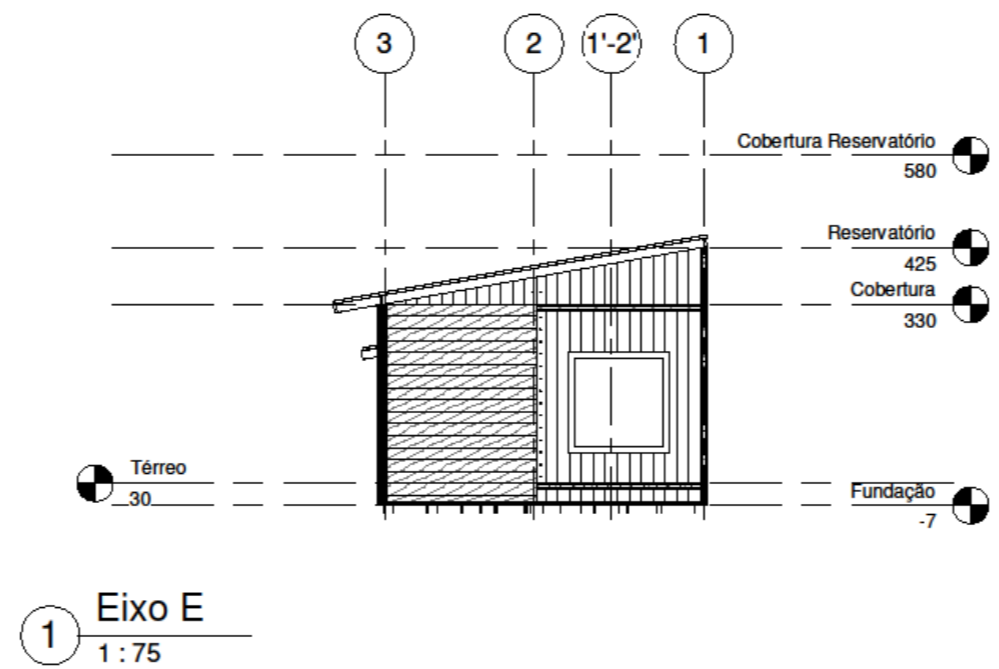
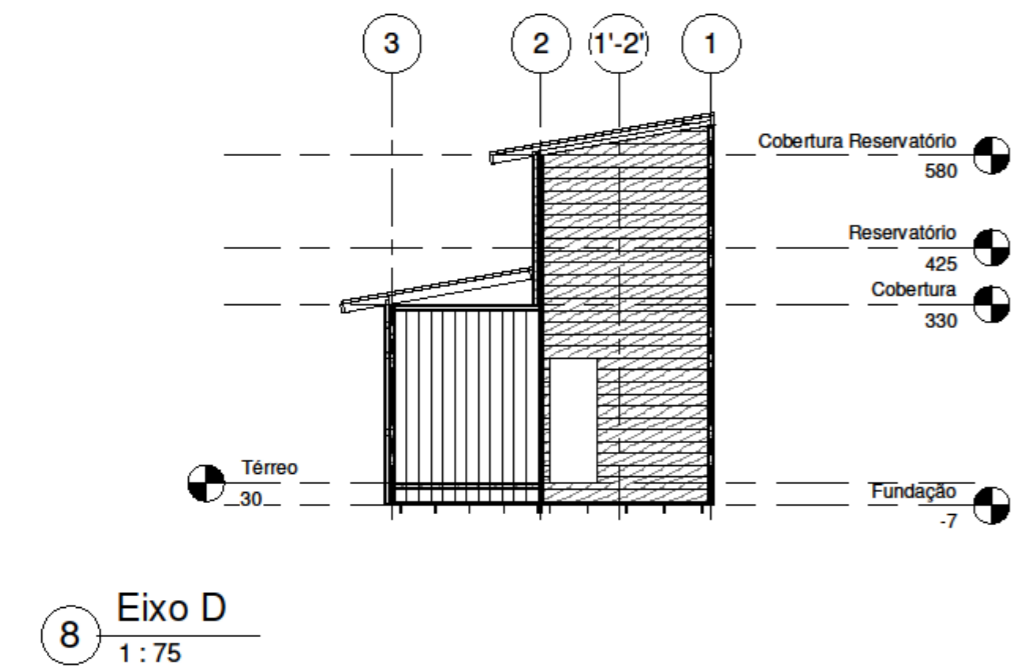
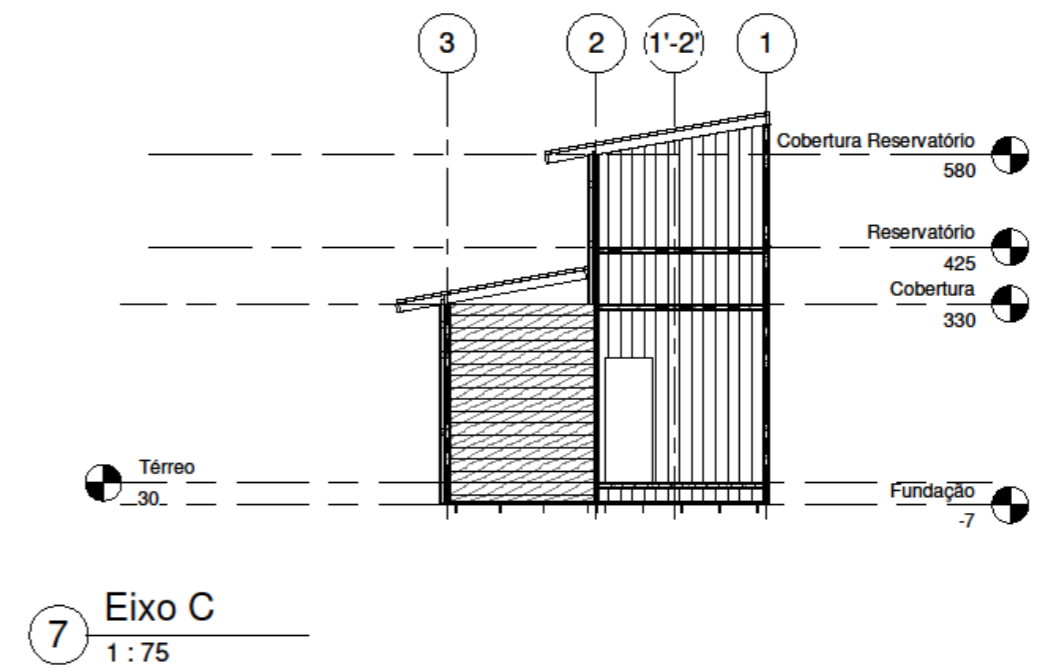
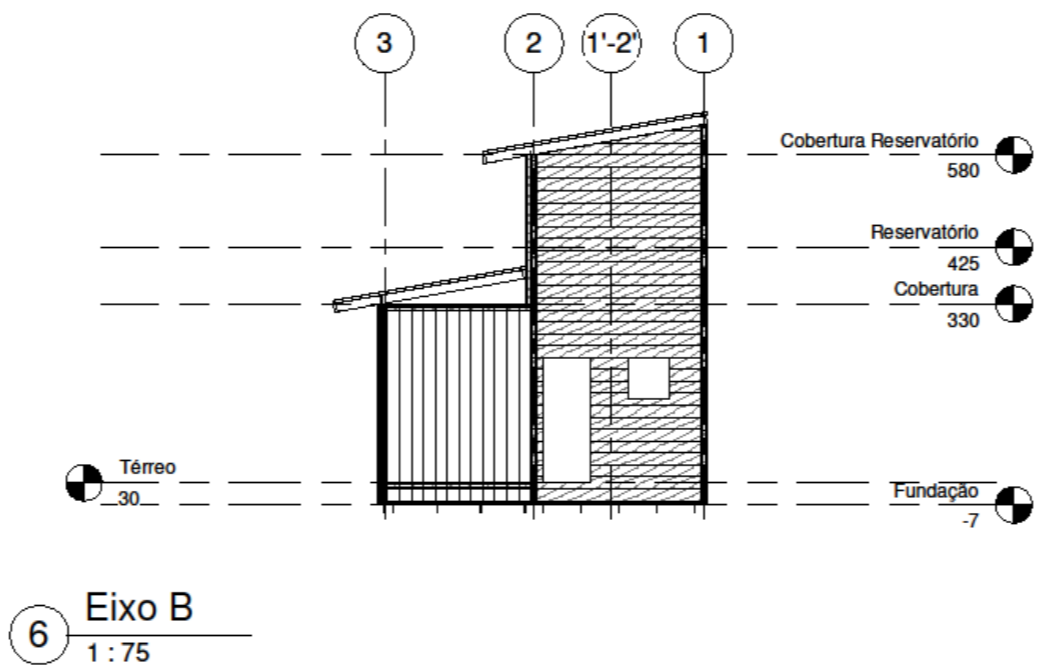
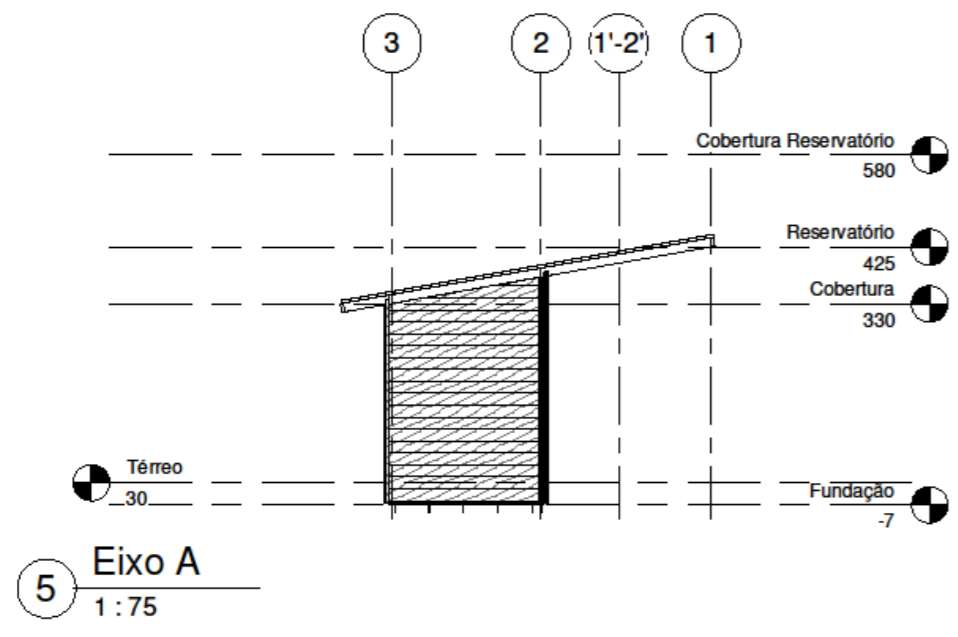
APÊNDICE B


ALUNO:  
JOSÉ GUSTAVO  
WARMLING

2 / 4  
Escala Como indicado

01/03/2023 12:52:30

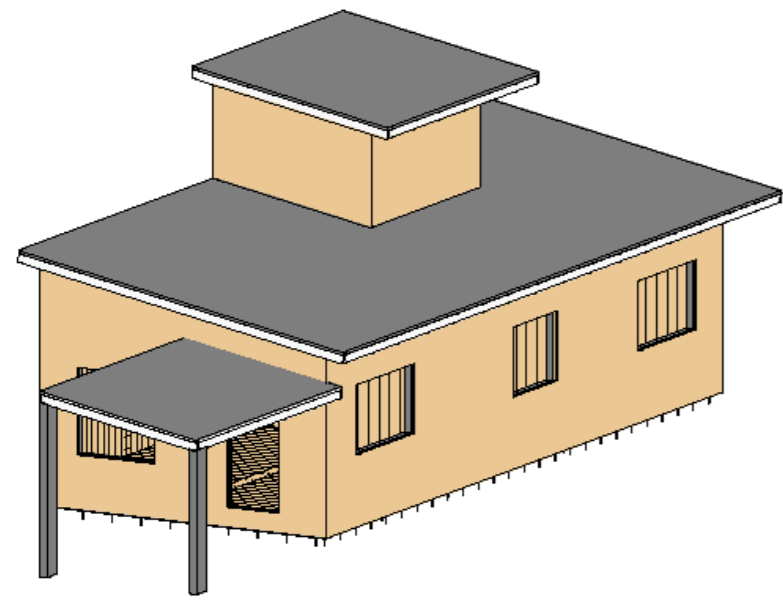
APENDICE C – EIXOS



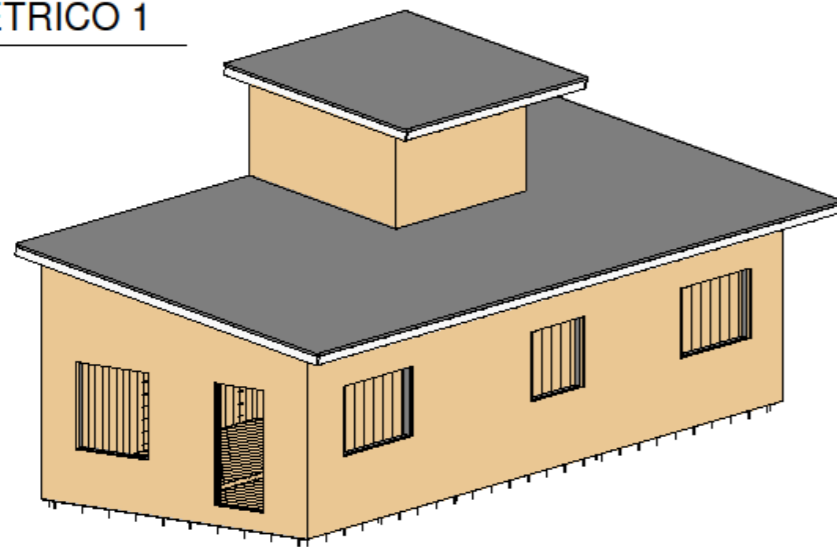
 <b>INSTITUTO FEDERAL</b> Santa Catarina	
JOSÉ GUSTAVO WARMLING PROJETO MODULAR	
CONTEÚDO:  <h2 style="text-align: center;">Eixos</h2>	
APÊNDICE C	
ALUNO:  JOSÉ GUSTAVO WARMLING	
<h1 style="font-size: 2em;">3 / 4</h1>	
Escala	1 : 75

28/02/2022 21:23:52

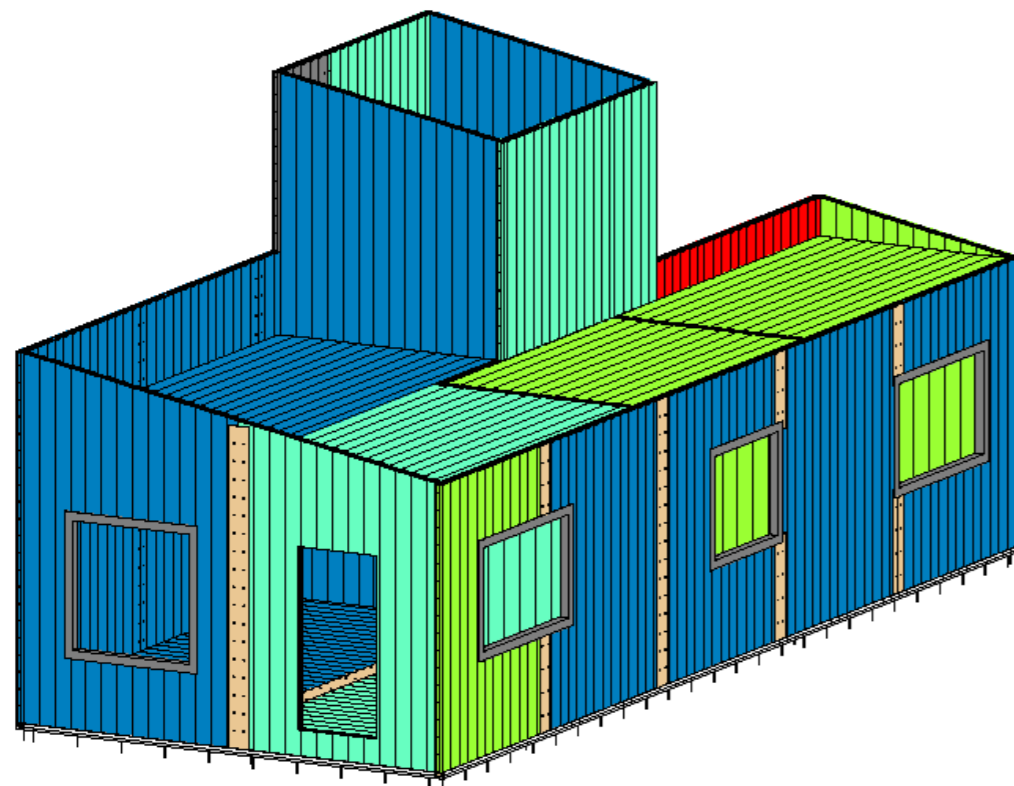
APENDICE D – VISTAS 3D



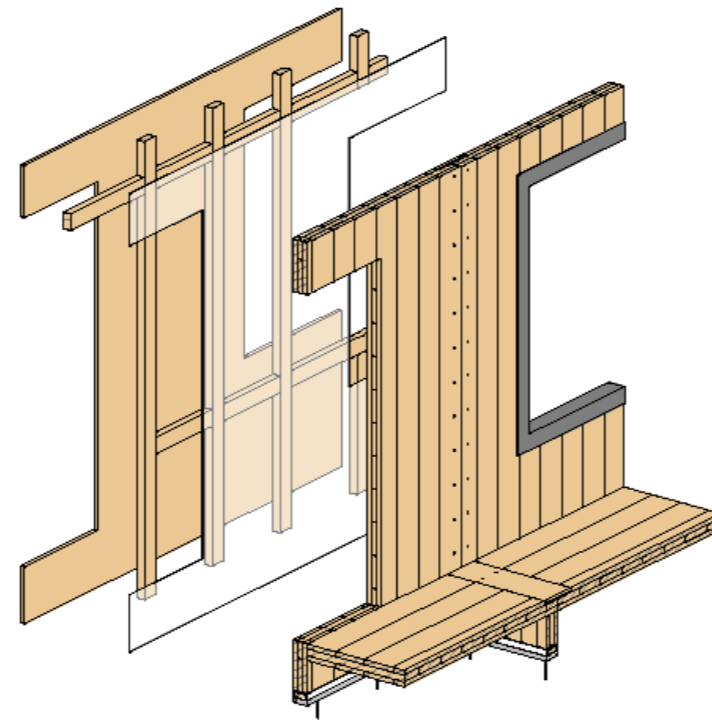
1 ISOMÉTRICO 1



2 ISOMÉTRICO 2



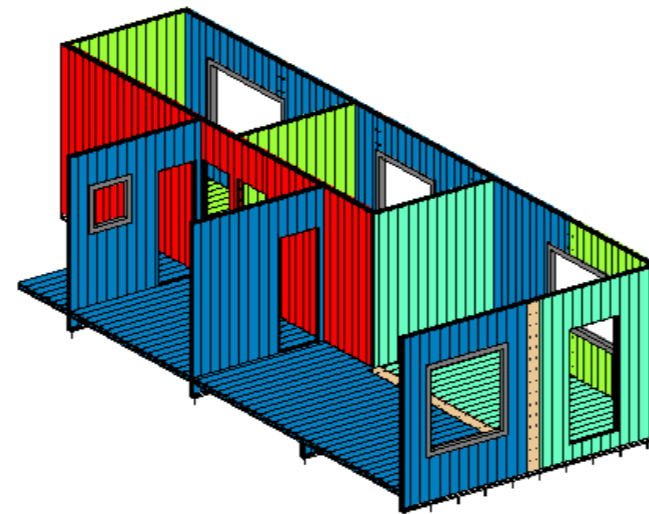
5 ISOMÉTRICO PLACA - 1



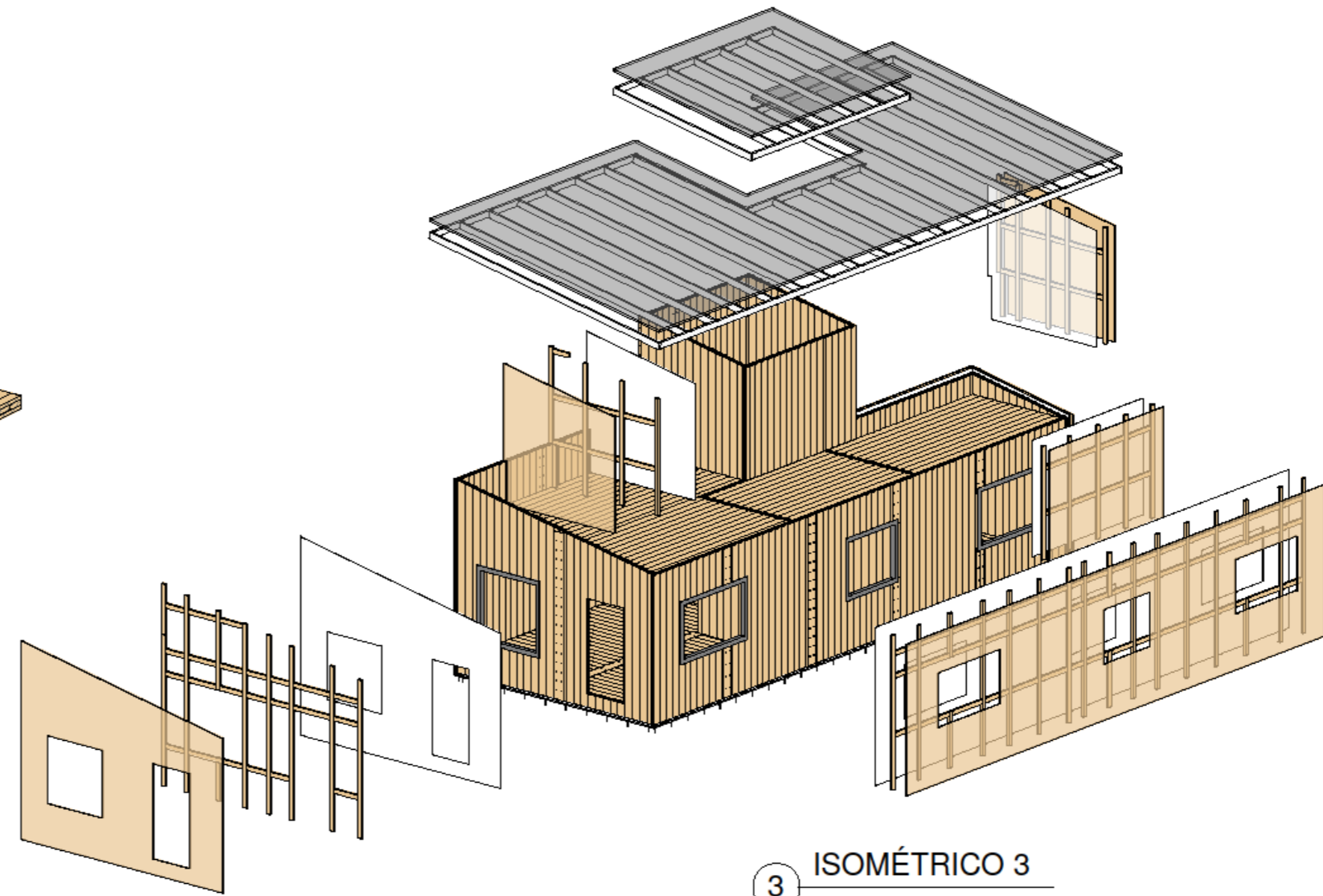
4 ISOMÉTRICO 4



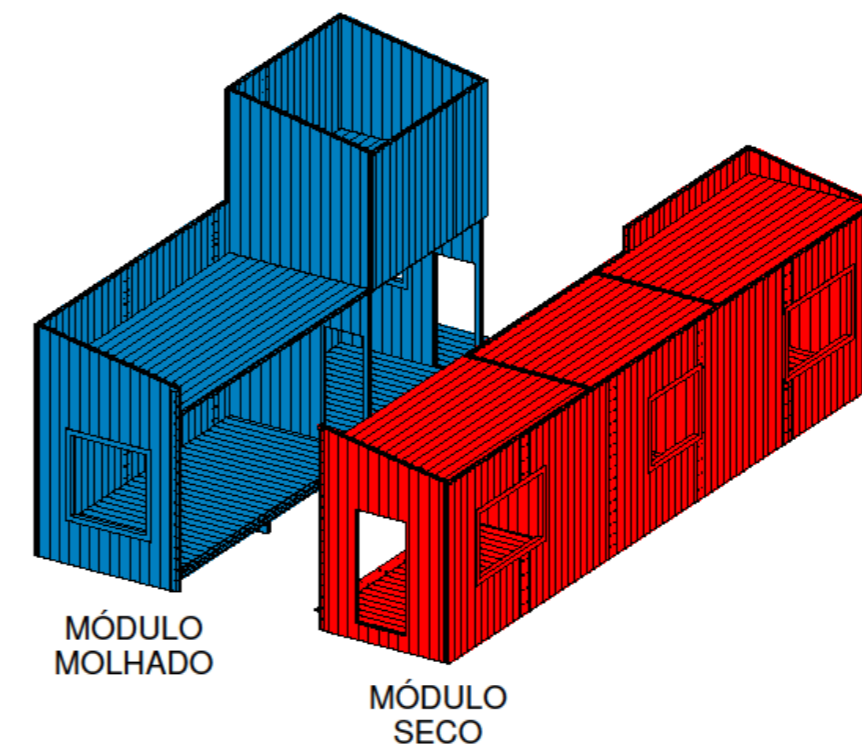
6 ISOMÉTRICO PLACA - 2



7 ISOMÉTRICO PLACA - 3



3 ISOMÉTRICO 3



8 ISOMÉTRICO PLACA - 4



JOSÉ GUSTAVO WARMLING  
PROJETO MODULAR

CONTEÚDO:

VISTAS 3D

JOSÉ GUSTAVO WARMLING

ALUNO:

JOSÉ GUSTAVO WARMLING

4 / 4

Escala

01/03/2022 12:51:44