



GABRIEL AVELAR FINOCHIO

LETÍCIA SILVA PINTO

PRÉ FABRICAÇÃO MODULADA: PROPOSTA DE
UM SISTEMA CONSTRUTIVO EM MADEIRA
ENGENHEIRADA

LAVRAS – MG
2021

GABRIEL AVELAR FINOCHIO
LETÍCIA SILVA PINTO

PRÉ FABRICAÇÃO MODULADA: PROPOSTA DE UM SISTEMA
CONSTRUTIVO EM MADEIRA ENGENHEIRADA

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo
Orientador

LAVRAS – MG
2021

GABRIEL AVELAR FINOCHIO
LETÍCIA SILVA PINTO

PRÉ FABRICAÇÃO MODULADA: PROPOSTA DE UM SISTEMA
CONSTRUTIVO EM MADEIRA ENGENHEIRADA

MODULATED PREFABRICATION: PROPOSAL OF AN ENGINEERED WOOD
CONSTRUCTION SYSTEM

Monografia apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do Curso de
Engenharia Civil, para a obtenção do título de
Bacharel.

APROVADO em 11 de 6 /2021.



Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo
Orientador

LAVRAS – MG
2021

RESUMO

Entende-se por construção modular pré fabricada um processo construtivo que tem como base a separação da edificação final em blocos de tamanho limitado, com a capacidade de transporte disponível. Tais blocos, ou módulos, são construídos em uma planta industrial fixa e são posteriormente transportados e montados no local da edificação. Este trabalho trata da concepção de um sistema que permite a construção de módulos em madeira que podem compor tanto edificações térreas como de múltiplos pavimentos, através da introdução de um sistema estrutural externo aos módulos, que permite sua sobreposição sem que haja transferências significativas de cargas entre os módulos em si. Foram desenvolvidos projetos arquitetônicos, análises estruturais em elementos finitos e projetos complementares para uma avaliação inicial da viabilidade da proposta. Foi concluído que o sistema construtivo proposto tem potencial para aplicação prática, uma vez em que foi possível desenvolver e avaliar os sistemas propostos dentro das características fundamentais de um sistema modular.

Palavras-chave: Sistema Construtivo Modular. Madeira Lamelada Colada. Madeira Lamelada Cruzada

ABSTRACT

Pre-fabricated modular construction means a construction process that is based on separating the final building into blocks of limited size according to the available transport capacity. Such blocks, or modules, are built in a fixed industrial plant and are subsequently transported and assembled at the building site. This paper shows the design of a system that allows the construction from single to multiple story buildings using the same wooden based modules, with an external structural system that gives the possibility of overlapping the modules without significant load transfer between themselves. Architectural projects, structural analyzes in Finite Elements Method' and complementary projects were developed for an initial assessment of the proposal's viability. The accomplishment of this work suggests that the system has potential of practical application, given that it was possible to develop and evaluate the design without lose the modular system's fundamental properties.

Keywords: Modular Construction System. Glulam. Cross Laminated Timber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Módulos dispostos em diferentes configurações.....	9
Figura 2.1 – Estrutura curvada em MLC.....	14
Figura 2.2 – Disposição das Lamelas em uma placa de CLT.....	16
Figura 2.3 – Puukuokka.....	18
Figura 2.4 - Murray Grove, Londres.....	19
Figura 2.5 - Brock Commons, Vancouver.....	20
Figura 2.6 - Edifício Amata, São Paulo.....	21
Figura 2.7 – Elemento submetido a esforços externos.....	23
Figura 2.8 - Círculo de Mohr.....	24
Figura 3.1 - Módulos combinados.....	28
Figura 4.1 – Ligação Pilar – Laje.....	30
Figura 4.2 – Exemplos dos elementos modelados.....	31
Figura 4.3 – Exemplos dos elementos modelados.....	32
Figura 4.4 – Exemplos dos elementos modelados.....	32
Figura 4.5 – Exemplos de um Módulo com os Pilares Externos.....	33
Figura 4.6 – Montagem Final dos Módulos.....	33
Figura 4.7 – Sobrecarga do Vento.....	35
Figura 4.8 – Malha gerada para análise global.....	36
Figura 4.9 – Malha gerada para análise da ligação pilar externo – módulo – pilar externo.....	37
Figura 4.10 – Mapa de calor – Tensão de Von Mises (MPa) - Ligação L3.....	38
Figura 4.11 – Mapa de calor – Tensão de von Mises (MPa) - Ligação L3 - 8 Pavimentos.....	39
Figura 4.12 – Mapa de Calor – Tensão de Von Mises – Módulo M1.....	40
Figura 5.1 - Módulo Caixa d'água.....	42
Figura 5.2 - Parede Hidráulica, Banheiro.....	44
Figura 5.3 - Parede Hidráulica, Área de serviço.....	44
Figura 5.4 - Parede Hidráulica, Cozinha.....	45
Figura 5.5 - Laje Sanitária.....	46
Figura 5.6 - Tubos de queda conectado ao coletor.....	47
Figura 5.7 - Sistema Hidrossanitário, Vista 3D.....	49

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	7
1 INTRODUÇÃO	4
1.1. OBJETIVO	5
1.2. JUSTIFICATIVA	5
1.2.1. Sociedade, meio ambiente e economia.....	6
1.2.2. Módulos autoportantes	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1. Pré Fabricação	10
2.2. Histórico	11
2.3. Materiais	13
2.3.1. Madeira.....	13
2.3.2. Madeira Lamelada Colada (MLC)	14
2.3.3. Cross Laminated Timber (CLT).....	15
2.4. Construções em CLT pelo mundo	17
2.5. Métodos computacionais de projeto	21
2.5.1. BIM (Building Information Modeling)	21
2.5.2. Projeto Paramétrico	22
2.6. Critério de falha de von Mises.....	23
2.7. Método dos Elementos Finitos	25
3 CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA.....	26
3.1. Plano de necessidades.....	26
3.2. Módulos	26
3.3. Planta baixa.....	28
3.4. Planta de cobertura	28
4 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL	29
4.1. Modelagem geométrica dos componentes.....	31
4.2. Modelagem dos materiais	33
4.3. Condições de Contorno	34
4.4. Carregamentos	34
4.5. Discretização dos elementos	36
4.6. Avaliação individual dos elementos	37
4.6.1. Ligações Pilar Externo – Módulo – Pilar Externo.....	37
4.6.2. Módulos individuais	39
5 PROJETOS COMPLEMENTARES	41
5.1. Concepção Hidrossanitária	41
5.1.1. Sistema Hidráulico	42

5.1.2. Sistema Sanitário	45
5.1.3. Sistema de Ventilação	48
5.2. Concepção Elétrica	50
5.2.1. Sistema elétrico do Módulo Geral	51
5.2.2. Sistema elétrico do Módulo MEP.....	53
5.2.3. Sistema elétrico geral	56
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE A.....	62
APÊNDICE B.....	64
APÊNDICE C.....	66
APÊNDICE D.....	68
APÊNDICE E.....	70

1 INTRODUÇÃO

A construção civil sempre se fez presente na história da humanidade, desde os primórdios o homem procurou sistemas para sanar sua necessidade de abrigo e proteção. Entretanto, a preocupação com o meio ambiente e o impacto que as técnicas construtivas geravam à natureza não eram trazidas em pauta, passando despercebidas à sociedade da época.

Após a Segunda Guerra Mundial, surgiu uma maior preocupação com a poluição no mundo e o movimento ambientalista ganhou o seu destaque. Em 1972 a Organização das Nações Unidas (ONU), convocou a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, em Estocolmo (Suécia), o qual determinou 19 princípios que representaram um Manifesto Ambiental. “Defender e melhorar o meio ambiente para as atuais e futuras gerações se tornou uma meta fundamental para a humanidade.” (ONU, 1972). Mais tarde em 1987, a Comissão de Brundtland, liderada por Gro Harlem Brundland, publicou o relatório *Nosso Futuro Comum*, trazendo conceitos para o desenvolvimento sustentável. “Muitos de nós vivemos além dos recursos ecológicos, por exemplo, em nossos padrões de consumo de energia... No mínimo, o desenvolvimento sustentável não deve pôr em risco os sistemas naturais que sustentam a vida na Terra: a atmosfera, as águas, os solos e os seres vivos.” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. Noruega, 1987).

No Brasil, segundo a Comissão do Meio Ambiente da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CMA/CBIC) a indústria da construção é o setor que mais gera empregos no país, sendo também um dos setores que mais tem influência na economia nacional. Entretanto o atual sistema utilizado na construção civil ainda é uma das atividades humanas que mais consome os recursos naturais, sendo responsável por cerca de 25% do total de resíduos industriais no país. Além de ser uma das maiores responsáveis pela grande quantidade de emissão de carbono.

“Sob o prisma ambiental, a legislação brasileira está se tornando cada vez mais restritiva com relação aos impactos causados pelas obras realizadas, coibindo diversas ações ou condutas que anteriormente eram aceitáveis. Do ponto de vista econômico, os anseios sociais e as recentes crises ambientais demandam atitudes mais drásticas do poder público relativamente à preservação dos recursos naturais, cabendo ressaltar que essa proteção ainda é realizada com base no clássico princípio do poluidor/utilizador pagador.” (COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE (Brasil); CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.

Mapeamento de Incentivos Econômicos para a Construção Sustentável. Brasília, DF: CMA; Brasília, DF: CIBIC, 2019. 12 p.).

Com o avanço da urbanização e a crescente migração da população para as áreas urbanas a construção civil teve a necessidade de inovar o seu sistema de maneira mais sustentável e limpa, surgindo assim a Construção Sustentável a qual se baseia em 5 ideias para preservar o meio ambiente e poupar os recursos naturais, sendo eles:

- Projetos inteligentes, os quais estudam o terreno para aproveitar o melhor que a natureza tem a oferecer à construção, como por exemplo a iluminação, poupando gastos energéticos futuros.
- Redução da poluição através do melhor aproveitamento dos materiais, reduzindo o desperdício, além do uso de estruturas mais eficientes em termos de dimensionamento, durante a construção.
- Materiais ecológicos, os quais trazem maior sustentabilidade para a construção.
- Eficiência energética, mantendo a edificação sustentável ao decorrer da sua vida útil.
- Aproveitamento de água, estudando maneiras de evitar o seu desperdício.

O intuito de reduzir os impactos ambientais gera ganhos não só à indústria da construção, mas também àqueles que desfrutam do empreendimento.

1.1. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo apresentar a proposta de um sistema construtivo em madeira engenheirada, derivado da construção modular e associado a um sistema externo e independente de distribuição de cargas verticais, e realizar uma primeira análise de sua viabilidade através de um estudo de seus principais sistemas.

1.2. JUSTIFICATIVA

De acordo com o Instituto de Construção Modular, em 2017 a indústria de construção modular movimentou cerca de 7 bilhões de dólares, o que corresponde a uma fatia de 3,27% do mercado e de acordo com as previsões, esse número tende a crescer.

A construção modular permite a adoção de sistemas de eficiência energética de forma mais fácil, em relação ao sistema tradicional de construção, o que implica também no retorno

financeiro gerado por tal prática assim como sua maior tendência à sustentabilidade (GANIRON JR e ALMARWAE, 2014). Os mesmos autores também concluem que apesar do método exigir um investimento inicial maior, a diferença de custo em relação ao sistema tradicional é rapidamente compensada, seja pela maior eficiência no consumo de materiais e maquinário ou pelo fato de disponibilizar em menor tempo a edificação ao cliente, que pode deixar de pagar aluguel ou disponibilizar para negócio.

A produção num lugar planejado, proporciona também um melhor conforto à vizinhança do projeto, pois o trabalho de montagem in-site é rápido e gera menos ruído em relação ao processo tradicional.

Oposto à construção tradicional, o processo de construção modular é dado de dentro para fora. O quadro estrutural é fabricado, em seguida as finalizações, os componentes hidráulicos, elétricos e mecânicos e só em seguida as paredes. Isso proporciona uma maior qualidade de montagem e maior facilidade de inserção de tecnologias (WILSON, 2019).

A utilização da construção modular se faz útil em empreendimentos que demandam construções repetitivas, como, por exemplo, complexos de casas e edifícios iguais que possuem unidades básicas vendidas, sem nenhum design interior. Desse modo, a utilização da pré fabricação aumenta na produtividade da construção, uma vez que através dos projetos arquitetônicos e complementares é possível montar uma linha de produção eficiente dentro de fábrica, reduzindo os riscos no planejamento, como intempéries e logística de transporte de materiais, e requisitos, como a infraestrutura do canteiro de obras e a necessidade de diferentes mãos de obra especializadas, os quais estarão concentrados em um mesmo local.

1.2.1. Sociedade, meio ambiente e economia

As casas pré-fabricadas, como as modulares, têm 95% da sua montagem feitas nas fábricas. Dessa maneira, possuem maior controle de qualidade além de diminuir o desperdício de materiais. Gerando grande influência no meio ambiente, já que trabalha com otimização de recursos.

Sendo considerada uma produção enxuta, a pré-fabricação gera grande influência na sociedade a qual está inserida, já que atinge os efeitos favoráveis ao clima, à saúde humana, ao ecossistema, à infraestrutura e leva a mudança de padrões. A maneira em que acontece a produção do produto, o seu uso e o público afetado pelo mesmo atingem a vida humana trazendo melhor qualidade e segurança. A construção das edificações nas fábricas reduz os acidentes e

doenças laborais já que possui maior segurança. Entretanto, deve-se entender que a segurança depende do que está sendo realizado, de tal maneira que os processos podem diminuir ou aumentar a segurança em função dos riscos de cada etapa. Ainda assim, a produção enxuta diminui as tarefas, os movimentos e a quantidade de material a ser usado, diminuindo os acidentes por contato de materiais radioativos. Além disso, também há diminuição de problemas de saúde de operários em função da ergonomia, como, por exemplo, problemas nas costas, ombros e pulsos. A taxa de acidentes em fábrica chega a ser 29% menor para acidentes graves e 52% menor para mortes (KRUG et al., 2013).

Na economia a produção enxuta utiliza-se de duas estratégias sendo uma delas a correlação entre a economia a sociedade e o meio ambiente.

No âmbito social leva-se em conta as etapas e a vida útil do produto, nesse caso a sustentabilidade se dá na manutenção de uma mão de obra de qualidade em função da segurança do local de trabalho. Já o meio ambiente da importância ao uso da energia e da matéria-prima, nas emissões de poluentes na atmosfera e nas águas, além da geração de resíduos sólidos, sempre com foco na redução do desperdício. A economia então vem com a preocupação na diminuição dos custos iniciais, operacionais e de manutenção, trazendo economia dos recursos e melhorando a capacidade de desempenho.

O atual sistema da construção civil no Brasil faz com que esta seja uma das atividades humanas que mais consome os recursos naturais do mundo, sendo responsável por cerca de 25% do total de resíduos industriais. Além disso, é uma das maiores responsáveis pela grande quantidade de emissão de carbono no país.

Com o avanço da urbanização e a crescente migração da população para as áreas urbanas a construção civil se vê na necessidade de inovar o seu sistema de maneira mais sustentável e limpa.

O aumento da taxa de natalidade e a diminuição das taxas de mortalidade, no Brasil, trouxeram consequências no perfil demográfico do país, o qual vem mudando paulatinamente de alguns anos para cá. Em 2020, a população brasileira teve um aumento de 0,77% de sua população em relação a 2019, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) resultando em 211,8 milhões de habitantes em seu território, concentradas em 17 cidades com mais de 1 milhão de habitantes. Entretanto, segundo a IPEA (2020), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, quase 222 mil brasileiros vivem em estado de desabrigo atualmente. E esses índices vêm crescendo ainda mais devido à crise econômica em que o país está vivendo em função da pandemia do coronavírus, que elevou as taxas de desemprego no país. Segundo

o IBGE a taxa de desemprego teve um aumento de 14,6% no trimestre de julho-setembro de 2020, aumentando o estado de miséria dos brasileiros.

A rapidez e facilidade em se fabricar módulos em larga escala, proporciona à população maior disponibilidade de moradia, diminuindo o índice de desabrigados. Com um novo conceito de se construir, a Construção Modular fornecerá à economia brasileira uma nova maneira de se reestruturar. As habitações de baixa renda que até então demandam grandes planejamentos e tempo de construção, poderão ter sua fabricação facilitada, aumentando a disponibilidade de moradia em curtos períodos de tempo. Haverá também o aumento da disponibilidade de emprego com a introdução de um novo ramo da indústria da Construção Civil através da fabricação de módulos pré-fabricados com seus setores de fabricação em massa, logística, transporte, matérias primas entre tantas outras áreas que fornecem à população grandes oportunidades de crescimento.

1.2.2. Módulos autoportantes

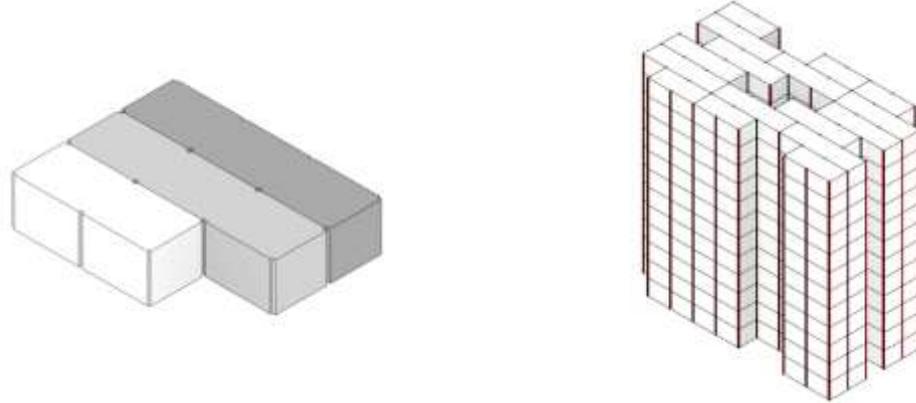
A introdução de módulos autoportantes na construção modular traz maior facilidade durante a criação das edificações. Por trabalharem de forma independente, a combinação dos mesmos não se torna restrita, possibilitando diferentes tipos de empreendimentos.

Ao criar o projeto de apenas um tipo de módulo e montar sua logística de fabricação, uma única produção em massa poderá contemplar diferentes edificações, com diversas alturas, modelos e combinações, mantendo a essência da arquitetura que defende a individualidade de cada empreendimento. Segundo Davies (2015), “enquanto a arquitetura vem enfrentando problemas para encontrar a verdadeira expressão artística da produção industrial, a construção vem silenciosamente se industrializando por trás das costas da arquitetura.”

Em um só local será possível produzir desde residências com um só pavimento até edifícios maiores, com diferentes tipos de combinações entre os módulos, como exemplificado a seguir, na Figura 1.1.

Na imagem da esquerda da Figura 1.1, é demonstrada a utilização de três módulos para uma edificação de apenas 1 pavimento com aproximadamente 100 m², onde não haveria a necessidade de uma estrutura auxiliar, dadas as características autoportantes dos módulos. Na imagem da direita da Figura 1.1, tem-se um exemplo de um edifício de 12 pavimentos, com 11 módulos por andar, totalizando 132 módulos.

Figura 1.1 – Módulos dispostos em diferentes configurações.



Fonte: Dos autores (2021)

As diferentes combinações exigem, portanto, infra e superestruturas projetadas de acordo com o porte do projeto. Uma edificação térrea pode, por exemplo, não necessitar do sistema de suporte externo ao passo em que uma edificação de múltiplos pavimentos pode exigir a utilização de uma exoestrutura mais robusta, com a utilização de diferentes materiais e até um sistema próprio de contraventamentos.

Deste modo, pode-se notar a necessidade da introdução de trabalhos que visam não somente reestruturar procedimentos específicos da construção civil, mas desenvolver sistemas construtivos que permitam um ganho global de eficiência em todo o processo construtivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Entende-se por construção modular um processo construtivo que se baseia na separação da edificação final em blocos de tamanho limitado a capacidade de transporte disponíveis, que são fabricados off-site e apenas montados in-site. Como definida pela Brasil ao Cubo, startup brasileira de construção off-site, a construção modular consiste na fabricação da edificação em “fatias” com tamanho, estrutura e acabamentos distintos, produzidos em fábrica e transportada até o local que será instalada.

A construção modular vem sendo empregada cada vez mais ao redor do mundo, uma vez em que aliada à pré-fabricação, todo o processo construtivo é otimizado, possibilitando a adoção de medidas padronizadas e o uso da tecnologia a favor do controle de qualidade. Tal processo, implementado desde o princípio com eficiência, proporciona um projeto de maior qualidade, entregue mais rápido, com menor custo e maior previsibilidade.

2.1. Pré Fabricação

Pré-fabricar uma edificação implica em trazer a maior parte da execução para uma planta fixa de fabricação (processo também conhecido como *off-site*), sendo que apenas a fase de montagem se dá no local final da obra. Já no sistema convencional de construção leva-se a fábrica até o local de execução, e assim todo o processo (ou a maior parte dele) é realizado no canteiro da obra (*in-site*). São diversas as vantagens de centralizar e fixar um processo de fabricação, como a possibilidade de se ter melhor controle de qualidade das peças fabricadas; utilização de ferramentas e maquinário mais robustos; melhor logística em recebimento e verificação de qualidade de matéria prima e materiais empregados; otimização de processos com redução de desperdício, maior segurança dos trabalhadores por ser em local de constante monitoramento, entre outras.

De acordo com *The American Institute of Architecture*, há diversas diferenças entre a construção tradicional e a modular, sendo uma das mais importantes a existência – para esta última - da necessidade de um nível muito maior de coordenação e planejamento desde o início do projeto, uma vez em que a maior parte do mesmo é executado em fábrica. Tal afirmação implica na necessidade de um projeto de maior qualidade e detalhamento de informações, o que pode ser alcançado com a utilização de *softwares* que empreguem sistema BIM (*Building Information Modeling*), como o Revit ® da empresa Autodesk, por exemplo.

Inicialmente determina-se a equipe de profissionais especializados na área para o estudo preliminar da edificação. Arquitetos e engenheiros, a partir das orientações do cliente iniciam a criação da concepção arquitetônica da construção, determinando os materiais a serem utilizados, o tipo de estrutura e o seu design. Com o auxílio do plano de necessidade e dos materiais escolhidos, determina-se a malha modular a ser utilizada, padronizando as medidas dos elementos, como por exemplo os cômodos e o pé direito da edificação, procedendo todas as etapas de projeto. Após várias análises e chegando-se à conclusão de que o projeto está adequado, inicia-se a fabricação e a montagem das peças, alocando os elementos estruturais da casa e criando um sistema de chassi. Com a “caixa vazada” montada, inicia-se o enquadramento e a disposição da estrutura do telhado, seguido do enquadramento e montagem da estrutura a laje.

Com a estrutura global pronta, iniciam-se as instalações complementares da edificação. Os sistemas elétrico e hidrossanitário são montados antes do fechamento das paredes e do teto.

Na sequência, procede-se a finalização da produção, com as pinturas, instalação das esquadrias, do piso e finalização dos sistemas complementares. Antes do sistema sair da fábrica, na última fase, instalam-se as janelas, os revestimentos arquitetônicos e as proteções contra intemperismos. E assim, a edificação está pronta para ser instalada no local de destino.

2.2. Histórico

Apesar do recente crescimento de interesse gerado pelo fato de que os avanços tecnológicos na área possibilitam uma maior facilidade na concepção de projetos complexos, a construção modular não é algo recente. Tal sistema foi amplamente utilizado em momentos de grande necessidade de habitação em curto prazo. Exemplos disso são a corrida do ouro no século XIX e a segunda guerra mundial no século XX, porém com menor acompanhamento tecnológico

Em meados do Século XVIII, durante o início da industrialização, a arquitetura se viu na necessidade de desenvolver ações para inovar seus métodos e acompanhar os passos da modernidade. Personagens da Arquitetura Moderna, com formação na época do Racionalismo Clássico Europeu, começaram a estudar e defender uma nova maneira de projetar, a qual consistia na junção do classicismo com a industrialização. Profissionais apoiavam a pré-fabricação na construção civil, como Walter Gropius, que projetou junto a outros arquitetos, o bairro operário Weissenhof, idealizado pela Associação de Artesãos Alemã e construído na

cidade de Stuttgart, na Alemanha, no ano de 1927, e a Casa Ampliável em 1932 na Alemanha (NISSEN, 1976); Ludwig Mies van der Rohe que trabalhou com novos materiais como o aço, o vidro e o alumínio; e Frank Lloyd Wright, que em 1932 apresentou o conceito da “Casa Montada” (SMITH, R. E., 2010).

Le Corbusier, durante a Segunda Guerra Mundial, iniciou a criação de um sistema de medidas conhecido como “Modular”. Sua concepção é dada com inspiração na Razão Áurea e da Progressão de Fibonacci, estabelecendo um sistema próximo à estatura humana, possibilitando a padronização das medidas na indústria. Assim como na Arquitetura Clássica, Le Corbusier seguia as ideias sobre Taxis, Genus e a Simetria, possibilitando uma construção harmônica e bonita, como encontrado nos templos gregos.

Para a Construção Modular, Taxis é o sistema de referência com pontos, linhas e planos, sendo o módulo criado por dois planos consecutivos de um mesmo sistema. Já o Genus, consiste nos elementos e componentes de medida como, por exemplo, as divisórias modulares internas e os painéis modulares verticais. A simetria nesse caso será as proporções de medidas, podendo ser tanto a distância teto-piso como piso-piso (MACEDO e SILVA, 2007).

Na Alemanha, ainda na Segunda Guerra Mundial, Ernst Neufert, afim de solucionar os problemas do fim das moradias em decorrência da guerra, iniciou os estudos sobre a coordenação modular. O sistema criado por ele tinha como base um módulo de 12,5cm e por mais que tenha recebido críticas teve grande influência nos futuros estudos da coordenação modular. (BOUWCENTRUM, 1972 *apud* SOUZA, 2011)

Além dos expoentes citados anteriormente, outros aspirantes estudaram sobre o assunto, e após a criação da Agência Europeia para a Produtividade (AEP), em 1953, foi percebida a necessidade da introdução da coordenação modular, iniciando um estudo internacional sobre o assunto e a criação de normas por diversos países, tendo a França como pioneira no desenvolvimento normativo, em 1942. (MELLO, 2010) Após 30 anos o Brasil publica sua primeira norma sobre coordenação modular em 1977, a ABNT NBR 5706 – Coordenação Modular na Construção. A qual foi substituída pela ABNT NBR 15873 - Coordenação modular para edificações em 2010.

2.3. Materiais

No estudo do empreendimento, o uso de materiais eficientes e sustentáveis tem grande responsabilidade no resultado final. A escolha dos mesmos se faz seguindo alguns critérios, como a sustentabilidade, a eficiência energética, a resistência mecânica, a possibilidade de combinação com outros materiais, e a geração de resíduos durante a fabricação, dentre outros. As propriedades físicas também são um quesito importante para a determinação do material a ser empregado, uma vez que sua densidade (ou peso específico) influencia o transporte e a montagem da edificação, bem como na especificação das fundações.

2.3.1. Madeira

Diferente de outros materiais utilizados na construção civil, como o concreto e o aço, a madeira é um material renovável, de fácil obtenção, fácil manejo, que utiliza energia solar em sua formação, que armazena carbono em sua composição, e é oriunda de florestas que - se plantadas ou manejadas adequadamente - representam uma fonte inesgotável de suprimento. Tais características, aliadas ao fato, dentre outros, de que seu beneficiamento para a tornar apta à utilização é um processo de baixa demanda energética e de que seu transporte consome também reduzida energia por ser um material de baixa densidade, conferem ao material um caráter sustentável.

A madeira pode ser utilizada em diferentes técnicas construtivas, sendo empregada desde os primórdios da civilização para a concepção de abrigos e residências e que vem ganhando um enorme espectro de inovações. Com diversas pesquisas de desenvolvimento tecnológico sendo desenvolvidas de modo a aumentar ainda mais as possibilidades de utilização, gerando novas técnicas e melhores controles de qualidade que aumentam a previsibilidade do material.

Um exemplo é a Madeira Lamelada Colada (MLC), que em síntese, consiste em um material engenheirado obtido pela colagem de lamelas de madeira sob pressão, de forma planejada, o que gera um produto com propriedades superiores em termos físicos, mecânicos e geométricos (proporciona a criação de grandes arcos, por exemplo). Com isso, gerando a possibilidade da criação de edificações de grande capacidade portante leves, com grandes vãos e das mais diversas formas.

Ainda, apesar de seus explícitos benefícios, não é um material empregado em grandes quantidades para uso estrutural na construção civil brasileira, onde há poucas unidades fabris de madeira engenheirada e poucos profissionais aptos a projetar edificações com este material. Entretanto, observa-se um crescimento global pelo interesse em construções sustentáveis, alavancado por países desenvolvidos que já estabelecem – em muitos casos – a obrigatoriedade do emprego da madeira nas edificações de interesse público, por exemplo. No Brasil, ganham impulso os projetos de habitações unifamiliares, e até outros mais avantajados, como o do Edifício Amata, um empreendimento de alto padrão com 13 pavimentos na Vila Madalena, em São Paulo, cuja sua estrutura é elaborada em MLC.

Assim, como forma de demonstrar o potencial do material, incentivar sua utilização e como meio para obter um projeto mais sustentável, a madeira foi definida como principal material estrutural do presente trabalho.

2.3.2. Madeira Lamelada Colada (MLC)

A Madeira Lamelada Colada é um material desenvolvido em meados de 1900 a partir da união, sob pressão, de lamelas de madeira com adesivos estruturais. As lamelas são organizadas de forma paralela em suas diferentes camadas, que podem variar de acordo com a necessidade. Para a composição das camadas, podem ser utilizadas diferentes espécies de madeiras e adesivos estruturais, de acordo com as especificações de utilização, disponibilidade e viabilidade econômica dos materiais. A MLC possibilita a concepção de elementos estruturais de elevadas dimensões, muitas vezes limitadas à capacidade de transporte e com variadas formas, como arcos ou elementos com múltiplas curvaturas, como demonstra a Figura 2.1.

Figura 2.1 – Estrutura curvada em MLC.



Fonte: Kingston Craftsmen (2020)

As estruturas que utilizam de tal material apresentam a característica de que podem ser utilizadas simultaneamente como elemento estrutural e arquitetônico, uma vez em que há uma maior liberdade de formas, possibilitando ao projetista a utilização dos elementos estruturais de forma visível sem prejuízo ao conceito.

Com a possibilidade de utilização de diferentes espécies e adesivos estruturais, a gama de utilizações do material é diversificada, podendo ser encontrado em pontes, coberturas dos mais variados tipos, portais, vigas, etc.

Dentre os adesivos estruturais utilizados estão o PUR (Poliuretano Reativo), que possui um componente e sua cura se dá pela reação com a própria umidade ambiente e o RF (Resorcinol Formaleído) bicomponente. A escolha do adesivo é avaliada de acordo com a disponibilidade, espécies de madeira, resistências esperadas e equipamentos disponíveis, uma vez em que alguns adesivos exigem uma maior pressão e temperatura de colagem do que outros.

Quanto às espécies de madeiras, há uma diversidade de estudos que buscam avaliar a viabilidade de utilização de espécies, em especial aquelas reflorestamento e de rápido crescimento, uma vez em que tal característica torna o produto mais atraente para o mercado, por possibilitar um mais rápido ciclo produtivo. Um exemplo de madeira de reflorestamento e de rápido crescimento é o Pinus, que é amplamente utilizada como principal componente de peças de MLC.

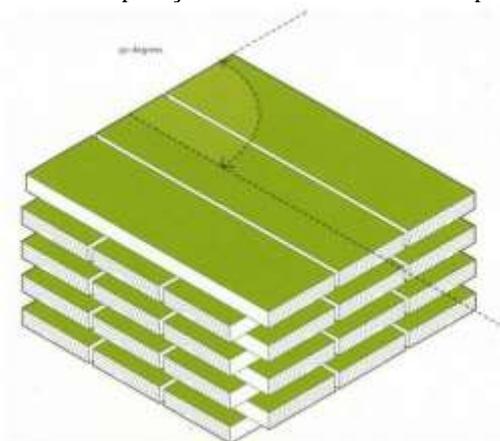
Assim, com as características apresentadas, é possível observar que a utilização da MLC possibilita projetar o próprio material de acordo com as características desejadas, matéria-prima disponível e equipamentos, utilizando diferentes composições de madeiras, adesivos estruturais, dimensões de lamelas, número de camadas, pressões e temperaturas de colagem.

2.3.3. Cross Laminated Timber (CLT)

Conhecida como também como MLCC, a Madeira Lamelada Colada Cruzada é um dos produtos engenheirados criados a partir da combinação de lamelas de madeira e adesivos estruturais. Desenvolvida na Europa no início da década de 1990, o CLT é capaz de atingir valores de resistências próximas às encontradas em materiais como concreto armado e aço, sendo capaz de competir com os mesmo em segmentos da construção civil.

Diferente da MLC, o CLT possui suas lâminas coladas ortogonalmente com direções transversais e longitudinais alternadas, como ilustrado na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Disposição das Lamelas em uma placa de CLT.



Fonte: Costa (2013)

Devido a essa tecnologia, as peças possuem excelentes propriedades resistentes, uma vez que suas lâminas cruzadas permitem uma distribuição de carga de forma bidirecional. Ao contrário dos sistemas porticados em que as cargas são transmitidas predominantemente em fluxos unidirecionais, nas estruturas em painéis de CLT os elementos comportam-se como placas, sendo a transmissão da carga feita de forma bidirecional (COSTA, 2013). Assim, esse método construtivo possibilita peças com elevada rigidez, possuindo funcionalidade estrutural e de vedação, além de descartar a necessidade de elementos de contraventamento quando utilizado como parede e laje.

O processo de fabricação da Madeira Lamelada Colada Cruzada possui grande influência em suas propriedades finais, tendo as disposições de suas lamelas restritas em números ímpares, variando de 3, a 7 camadas, criando um eixo de simetria na camada central (COSTA, 2013). Além disso, para manter a baixa retratibilidade do CLT, ou seja, sua baixa variação dimensional em função do seu teor de umidade, as lamelas utilizadas na produção devem ser selecionadas cuidadosamente garantindo teores de água entre 10 e 14% para que os elementos após a produção atinjam teores de água de aproximadamente 12%.

Além da elevada rigidez estrutural, o CLT possui bons valores para resistências ao fogo, térmica, acústica e sísmica, propriedades as quais possui grande importância para a utilização do material em empreendimentos multifamiliares, e para sua escolha no atual trabalho.

Por ser uma estrutura com todo o interior da seção transversal isolado, devido a prensagem durante a fabricação, não há entrada de ar para a região central da peça, inibindo a proliferação do fogo em casos de incêndio, já que o comburente disponível (O_2) é limitado. Além disso, sua massa térmica sólida permite que durante um incêndio um lado do painel de CLT receba altos valores de temperaturas, enquanto o outro lado permaneça na temperatura

ambiente (CROSSLAM, 2016), proporcionando também, baixa variação de calor, mantendo a edificação quente nas estações frias, e fria nas estações quentes. Sua característica hermética, citada anteriormente, não permite a passagem de calor por rachaduras, como ocorre em construções convencionais. Segundo as informações técnicas apresentadas pela CROSSLAM (2016) a CLT possui condutividade térmica de 0,13 W/mK e capacidade térmica efetiva de 2,10 KJ / kgK.

Sua baixa densidade, cerca de 550 kg/m³, reduz os custos de construção devido à baixa necessidade de grandes fundações e maior rapidez de construção já que sua leveza facilita o manuseio das peças.

Todas as propriedades citadas anteriormente em conjunto com a tecnologia BIM, transformam a Madeira Lamelada Colada Cruzada em um novo conceito de construção sustentável, sem desperdícios, com rapidez, eficiência e exatidão. E é devido a isso que a construção civil mundial vem trazendo o CLT como uma solução e mostrando ao mundo através de exemplos as grandiosidades que esse novo material é capaz de proporcionar.

2.4. Construções em CLT pelo mundo

A Madeira Lamelada Colada Cruzada vem sendo introduzida no mercado da engenharia civil mundial desde os anos 90, conquistando primeiramente a Europa e se espalhando aos outros continentes com o decorrer do tempo. Mesmo que para o Brasil, essa técnica construtiva seja algo novo e pouco utilizado, em outros países o material já se tornou convencional e normatizado, tal como o Canadá que em 2011, após 22 meses de discussão, apresentou a primeira norma de CLT do continente norte americano, a ANSI/APA PRG 320-2011 Standard for Performance Rated Cross Laminated Timber, e os países da Europa que introduziram a normatização do CLT desenvolvendo a norma EN 16351, que regulamenta a produção de CLT, em 2014.

Por serem os pioneiros em relação à introdução dessa nova tecnologia, os países da Europa trazem em sua história grandes obras em CLT. Um exemplo são os blocos habitacionais em Puukuokka, na Finlândia, constituídos por 3 edifícios de 6 a 8 pavimentos formados por módulos de CLT. (Figura 2.3)

Figura 2.3 - Puukuokka



1Fonte: OOPEAA (2020)

O complexo habitacional possui moradia para 184 famílias. Cada apartamento é constituído por dois módulos, sendo que um deles se encontra um dormitório, uma sacada e uma sala de estar e no outro um banheiro, cozinha e um hall de entrada. O uso do CLT trouxe aspectos importantes para a qualidade da edificação, como a facilidade de controlar a temperatura nas unidades devido a propriedade maciça do material, além do uso de módulos pré-fabricados de CLT proporcionar uma melhor organização das instalações elétricas, hidrossanitárias e de incêndio, concentrando-as em um mesmo local.

Outra edificação importante para a história do CLT na Europa é a edificação Murray Grove (Figura 2.4), localizado na Inglaterra com aproximadamente 30 metros de altura. Seu projeto foi realizado em 2009 pelo escritório de arquitetura Waugh Thistleton Architects, a qual tinha como objetivo mostrar ao Reino Unido que o uso de painéis em CLT nas obras de grande porte, seria a solução para uma grande problemática do país, o elevado crescimento urbano das cidades.

Figura 2.4 - Murray Grove, Londres



Fonte: Waugh Thistleton Architects (2009)

Sua concepção arquitetônica visou o uso misto, tendo o térreo com uso comercial e os demais 8 pavimentos com 29 apartamentos para uso habitacional, sendo 9 arrendados para moradias sociais, com preços acessíveis.

O Murray Grove demonstrou ao Reino Unido a facilidade em se construir habitações de grandes densidades em um curto período de tempo, além de introduzir o conceito de construção sustentável, solucionando mais uma problemática do país, a grande emissão de carbono em suas construções convencionais. A utilização da madeira proporcionou um armazenamento de carbono, diminuindo o impacto da construção civil ao meio ambiente.

O Canadá é responsável por possuir o maior arranha-céu de CLT do mundo, com 53 metros de altura, localizado em Vancouver. O Brock Commons (Figura 2.5), projetado para recepcionar os estudantes da University of British Columbia, possui 18 andares com 33 apartamentos de quatro quartos cada um, 272 estúdios, áreas de estudos e lounge para os estudantes, comportando um total de 404 moradores.

Figura 2.5 - Brock Commons, Vancouver



2Fonte: BuildIn Construção & Informação (2016)

Toda sua estrutura foi erguida em menos de 70 dias após a chegada dos componentes pré-fabricados de madeira no local da obra. Com a construção do primeiro pavimento em uma semana, o prédio diminuiu seu tempo de montagem drasticamente, sendo capaz de levantar dois ou mais andares por semana.

No Brasil, o uso do CLT vem sendo introduzido gradativamente na indústria da construção civil. Recentemente, na cidade de São Paulo, foi proposta a construção do Edifício Amata, primeiro edifício residencial em CLT do país. O projeto (Figura 2.6), realizado pelo escritório de arquitetura Triptyque, possui 13 andares e trouxe propostas inovadoras à cultura brasileira, tanto na maneira de construção quanto na vivência social, uma vez que a edificação apresenta áreas de *coworking* e *coliving*, iniciativas aderidas recentemente pelos brasileiros.

Figura 2.6 - Edifício Amata, São Paulo



3 Fonte: Galeria da Arquitetura (2020)

Sua estrutura é composta por uma mistura de aço, concreto e madeira engenheirada, sendo a última o principal material da construção, proporcionando leveza em toda a edificação.

2.5. Métodos computacionais de projeto

2.5.1. BIM (Building Information Modeling)

Não existe uma definição precisa do que é o BIM, mas pode ser entendido como uma tecnologia de modelagem e associação de uma série de processos, análise e comunicação de modelos de edifícios, que são caracterizados por componentes construtivos inteligentes, digitalmente representados por meio de informações que descrevem o que eles são, como eles são e como se comportam. Assim, o foco não está no tradicional modelo tridimensional, que é apenas uma parte do todo, mas sim nas informações.

Um exemplo simples seria uma parede no sistema BIM: em CAD (Computer Aided Design) ela é simplesmente um elemento geométrico direto, um vetor com espessura de linha e camada associada; em BIM, além do elemento geométrico direto, a parede possui intrinsecamente como objeto, parâmetros associados, como os próprios geométricos (espessura, comprimento, altura e forma), físicos e mecânicos (resistências mecânicas, térmicas, sonora, densidade, absorvância, etc.), de projeto (custo, fabricante, tempo de execução por unidade, , dentre outros) e quaisquer outros que sejam de interesse e que podem ser atualizados

automaticamente com relações entre si.

Com isso torna-se possível uma grande integração e coordenação entre as fases de projeto, onde a única diferença é o tipo de informação de interesse: no design, principalmente parâmetros geométricos; na análise estrutural, parâmetros físico-mecânicos; e no planejamento, parâmetros de custos e tempos.

Integrando todos estes parâmetros num só elemento, os problemas de interoperabilidade/comunicação se vão, a facilidade de mudanças é alcançada, um elemento sempre será dimensionalmente conciso independente da vista em que é representado e com isso uma significativa redução de tempo e custo.

A seguir, são descritas algumas etapas para iniciar um projeto modular empregando *software* é necessária a criação de uma malha de referência, o Quadriculado Modular de Referência, através do módulo básico. O módulo básico consiste na menor unidade de medida linear da coordenação modular e é representado pela letra M, a qual possui um valor de 100mm (M=100mm), segundo a NBR 15.873:2010.

Após a criação do sistema de referência, estuda-se os componentes que serão utilizados no projeto e suas dimensões para que seja possível determinar o multimódulo que será utilizado, este é dado pela multiplicação do módulo, em função da necessidade do projeto e dos componentes, sendo representado por $n \times M$, o qual n será o valor a ser multiplicado.

O projeto então é criado a partir das medidas já referenciadas e compatibilizado com o estudo preliminar, o qual é feito da mesma maneira que se faz um projeto convencional. Dessa forma, a modularização permite um menor desperdício de material, além da racionalização e da introdução de materiais pré-fabricados.

2.5.2. Projeto Paramétrico

De acordo com Ganiron e Almarwae (2014), um modelo paramétrico pode ser definido como "um série de equações que expressam informações sobre o desenvolvimento de um sistema arquitetônico de informações, como funções explícitas de um número de parâmetros". Os parâmetros de entrada podem ser vistos como variáveis independentes, ao passo em que os parâmetros de saída são as variáveis dependentes. Uma comparação pode ser feita com funções matemáticas, nas quais as funções são meios pelos quais as variáveis independentes são convertidas em variáveis dependentes; num modelo arquitetônico paramétrico, o algoritmo é o meio pelo qual os parâmetros são refletidos em transformações no modelo.

Em sua composição mais básica, um modelo paramétrico opera numa via de mão única, com parâmetros alimentando um algoritmo que explicitamente transforma-os em saídas (Ganiron, 2014).

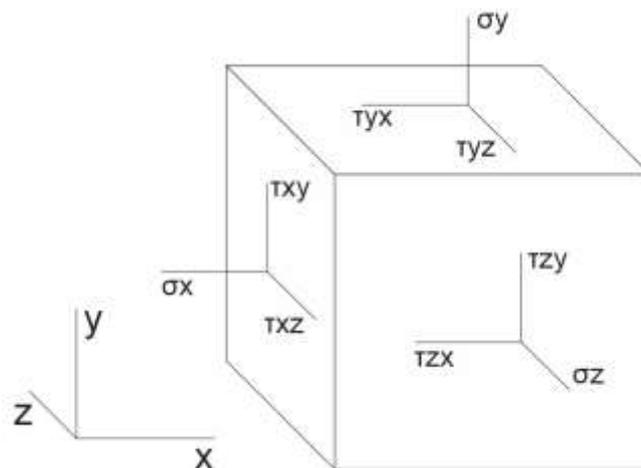
Um modelo paramétrico é composto por definições geométricas com informações e regras associadas, é um objeto não redundante, ou seja, as informações extraídas numa vista não geram conflitos em outras: medidas não podem ser forçadas sem a alteração de todo o elemento; uma vista é sempre consistente com os cortes.

2.6. Critério de falha de von Mises

Também conhecida como Critério da Energia de Distorção Máxima, a Teoria de von Mises, nome homenageado ao Matemático Richard von Mises, tem como conceito a energia associada a variação de forma de um elemento. Sendo válida apenas para materiais dúcteis, a teoria estuda o comportamento do elemento submetido a estados planos de tensões.

Quando um corpo está submetido a carregamentos, sua superfície cria diversos estados de tensões, como indicado na Figura 2.7. Ou seja, ao analisar cada elemento de uma peça, haverá um conjunto de tensões aplicado a ele que influenciará no comportamento geral do componente, como exemplificado na Figura abaixo, a qual indica um cubo sólido, retirado de um corpo submetido a esforços externos, em equilíbrio de tensões.

Figura 2.7 – Elemento submetido a esforços externos



Fonte: Dos autores (2021)

Percebe-se que há tensões aplicadas em cada plano do cubo, de forma perpendicular e paralela, nomeadas como tensões de tração e compressão e tensão de cisalhamento respectivamente.

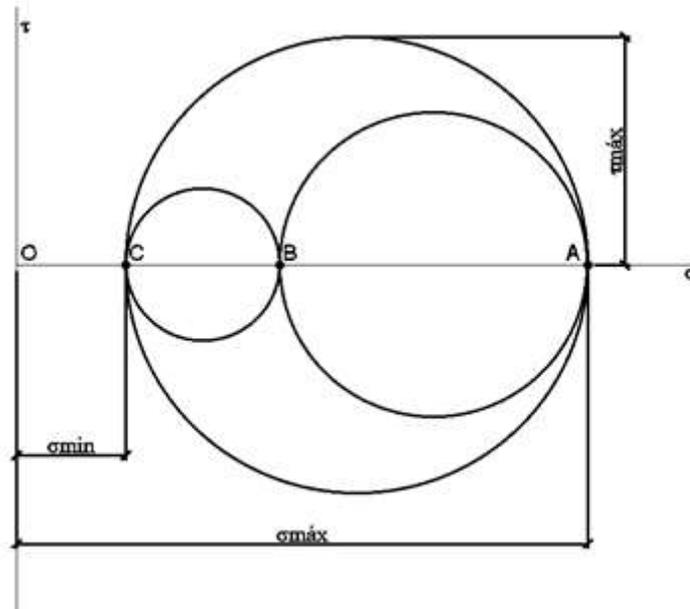
Seguindo então as considerações de que um corpo esteja recebendo um carregamento externo é possível afirmar que cada elemento da peça estará submetido a um estado de tensão, com tensões normais σ_x , σ_y e σ_z e de cisalhamento τ_{xy} , τ_{xz} e τ_{zy} . Desse modo, a influência dos planos no elemento, formará uma tensão principal média, dada pela equação 2.6.1.

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} \quad (2.6.1)$$

É possível prever também, as tensões principais mínima e máxima no ponto, sendo uma atuante em um plano e a outra no outro plano.

Nessas condições, afirma-se que o cisalhamento do elemento é máximo na tensão principal média, e nulo nas tensões mínimas e máximas, como ilustrado pelo Círculo de Mohr na Figura 2.8, através de equações simples de circunferência e mudança de coordenadas.

Figura 2.8 - Círculo de Mohr



Fonte: Dos autores (2021)

A Teoria de von Mises, afirma que a energia de deformação de um elemento é dada pela ação conjunta das tensões principais média, mínima e máxima de cada parte de um corpo, quando este é submetido a carregamentos externos. Tal ação gera uma tensão equivalente ou

energia máxima de distorção, representada pela diferença, em módulo, entre as três tensões, através da equação

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_{\max} - \sigma_{\text{med}})^2 + (\sigma_{\text{med}} - \sigma_{\min})^2 + (\sigma_{\min} - \sigma_{\max})^2}{3}} \quad (2.6.2)$$

Em vista disso, o critério de energia de deformação máxima compara a energia máxima de distorção do material com sua energia máxima de escoamento. Sendo que, para que o componente estrutural esteja seguro, é necessário que a energia de distorção seja menor que a energia de escoamento.

2.7. Método dos Elementos Finitos

A aplicação da Teoria de von Mises na análise de um componente estrutural é então dada, no escopo deste trabalho, através do Método dos Elementos Finitos. O método consiste em subdividir os componentes em pequenas partes, sendo elas triangulares, trapezoidais ou quadrilaterais, nomeados de elementos finitos, termo que nomeia o método. Tal subdivisão permite a aplicação das equações diferenciais e suas condições de contorno de forma simplificada/discretizada. A precisão da análise pode ser dada em função da quantidade de subdivisões que a peça terá, uma vez que as equações são aplicadas em cada elemento dividido, porém, uma divisão excessiva pode impedir a convergência dos modelos, devendo haver, assim, um cuidado na definição das malhas.

Em outras palavras, cada elemento da malha terá um estudo individual da sua deformação através da Teoria de von Mises e ao final, cada ponto de encontro de elementos, pontos nodais, trará um valor médio de análise. O resultado de cada nó corresponderá à média dos valores de cada elemento que possui o nó em comum, gerando em cada ponto o resultado da comparação entre a distorção máxima do material e seu valor máximo de escoamento.

O método dos elementos finitos se torna didático, uma vez que os resultados em cada ponto são apresentados através de uma escala de cores, denominada *Heatmap* ou Mapa de Calor, variando do vermelho ao violeta, sendo que estas representam os extremos máximos e mínimos da análise.

3 CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA

3.1. Plano de necessidades

A concepção arquitetônica para edificações modulares, assim como nas construções convencionais, inicia-se com um eficiente plano de necessidade. Como o intuito do atual trabalho é oferecer uma solução econômica e sustentável para residenciais através da Construção Modular, realizou-se um plano de necessidade voltado a uma família composta por quatro pessoas, em um terreno com dimensões 15 metros de frente por 20 metros de lado.

Dessa maneira, levantou-se alguns requisitos a fim de sanar as necessidades da família, idealizando uma construção de aproximadamente 225 m² composta por uma sala de estar, uma sala de TV, uma cozinha conjugada com uma sala de jantar, dois quartos, uma suíte, um banheiro social, um lavabo, garagem para dois automóveis e um escritório, com disposições e dimensões confortáveis, proporcionando uma edificação agradável e moderna.

3.2. Módulos

O módulo a ser utilizado deve ser estudado levando em consideração o Quadriculado Modular de Referência, através do módulo básico nomeado por M com valor de 100mm e seu multi-módulo (n) determinado por diferentes fatores, como as características dos materiais o qual o módulo final será composto. Com o objetivo de trazer maior conforto na edificação, serão utilizados painéis de Madeira Lamelada Colada Cruzada em paredes, lajes e pisos, telhas sanduiche na cobertura e Madeira Lamelada Colada nos pilares.

De maneira a facilitar a criação do módulo padrão a ser utilizado no atual trabalho, determinou-se como um fator limitante para o cálculo de “n” as dimensões dos painéis de CLT. Além disso a fabricação dos materiais em madeira engenheirada serão realizados no mesmo local da fabricação dos módulos, uma vez que, quando planejada, sua produção em massa se torna pouco complexa, facilitando o controle de qualidade das peças e diminuindo a logística de transporte. Desse modo, é possível determinar as dimensões dos painéis em CLT de modo a criar módulos de tamanhos confortáveis que atendam às necessidades de projeto.

Assim sendo, os painéis foram divididos em 3 categorias diferentes, definidas a partir do local onde serão instalados, sendo 2 categorias para as paredes (tipo A e B) e uma para laje (tipo C) como indicada na Tabela 3.2.1 abaixo.

Tabela 3.2.1- Categoria de painéis que compõem um módulo

Categoria de painéis			
Categoria	Lado 1 (m)	Lado 2 (m)	Tipo
Painel A	4,00	2,90	Parede
Painel B	3,60	2,90	Parede
Painel C	4,00	10,80	Laje

Fonte: Dos autores (2021)

1As paredes também terão subcategorias em função do seu uso, externo ou interno, com variação de suas espessuras apresentada na Tabela 3.2.2.

Tabela 3.2.2 - Espessura de painéis - Paredes

Espessura de painéis (Paredes)		
Categoria	Interno (m)	Externo (m)
Painel A	0,12	0,20
Painel B	0,12	0,20

Fonte: Dos autores (2021)

As lajes, por sua vez, terão duas espessuras diferentes, sendo uma quando utilizada para coberturas e outra para pisos, como indicada na Tabela 3.2.3

Tabela 3.2.3 - Espessura de painéis - Lajes

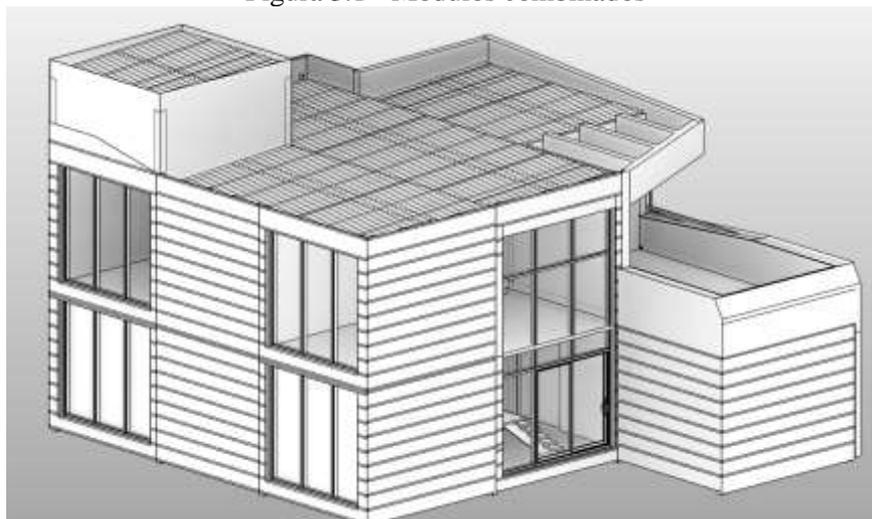
Espessura de painéis (Lajes)		
Categoria	Piso (m)	Cobertura (m)
Painel C	0,20	0,10

Fonte: Dos autores (2021)

Para atender os estudos preliminares, determinou-se que cada módulo teria dimensões de 4,00 m de largura, 10,80 m de comprimento e 2,90 m altura, ou seja, serão dispostos 2 painéis do tipo A, 6 painéis do tipo B e 1 painel do tipo C, para compor um módulo. Analisando as dimensões em função da metodologia do Quadriculado Modular de Referência, tem-se que cada módulo terá n igual a 108 para o comprimento, n igual a 40 para largura e sua altura corresponderá a n igual a 29 x M.

Sendo assim, para o caso de estudo, utilizou-se 6 módulos combinados, como mostrado na Figura 3.1, de modo a dispor os cômodos estrategicamente em relação a iluminação, possibilitando maior eficiência energética para a construção. Para outros casos, basta recombina os módulos de acordo com as necessidades específicas do projeto.

Figura 3.1 - Módulos combinados



4Fonte: Dos autores (2021)

Para as análises complementares os módulos foram nomeados de modo MX, sendo X variando de 1 a 6 conforme seu tipo. A representação é indicada no Apêndice A.

3.3. Planta baixa

Como cada tipo de ambiente exige diferentes dimensões, os módulos foram subdivididos e/ou combinados para cômodos menores e maiores. Como já dito anteriormente, os ambientes foram dispostos de maneira estratégica em função da iluminação durante o dia, priorizando ambientes de permanências prolongadas, como salas, cozinha e quartos, em regiões com maior incidência do sol. Também se fez necessário a utilização de 2 pavimentos devido às dimensões do terreno e à taxa de permeabilidade do solo, segundo o Apêndice A, Projeto Arquitetônico.

3.4. Planta de cobertura

Seguindo a tendência de edificações modernas, optou-se pelo o estilo de platibanda e a cobertura composta por telhas sanduiche com estrutura em aço. Para facilitar a montagem no local e o transporte, a cobertura já será instalada nos módulos que serão ligados entre si no local da construção. Por conseguinte, os planos do telhado foram estudados para facilitar a ligação das estruturas sem que houvesse problemas de infiltração de água da chuva na edificação.

4 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

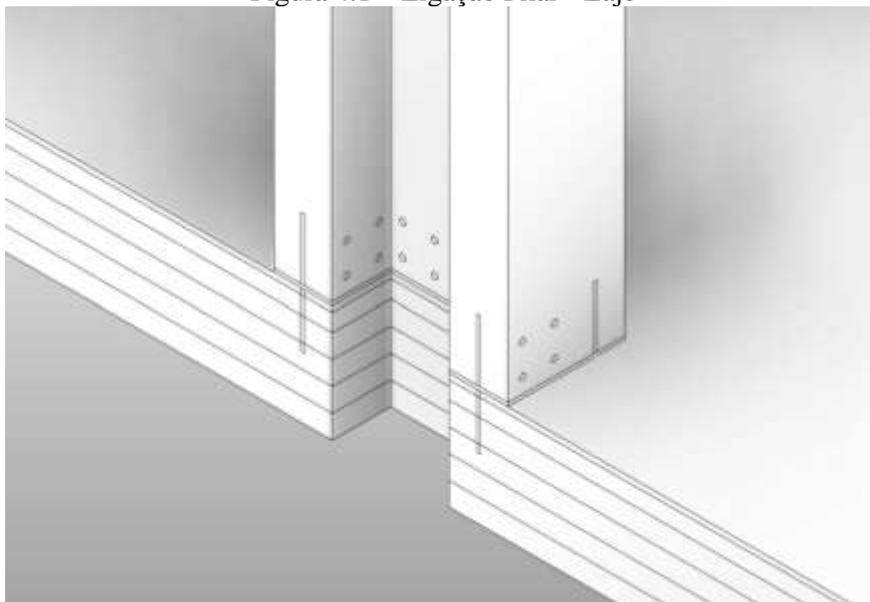
Inicialmente, foi proposto que um determinado programa computacional seria utilizado para toda a análise estrutural, porém, ao decorrer do trabalho observou-se uma grande dificuldade em se trabalhar com elementos volumétricos e com as interações entre tais elementos. Desta forma, optou-se pela utilização do software Inventor®, que permite a modelagem volumétrica das peças, montagem considerando diferentes interações entre as peças e análise estrutural através do método dos elementos finitos. Uma vez em que nativamente o Inventor® não possui a funcionalidade de cálculos considerando-se materiais não isotrópicos, como é o caso da madeira, foi necessária a utilização do programa Nastran® para tal. Em síntese, para a análise estrutural, foi concebida a modelagem geométrica dos elementos no Inventor®, com base nos projetos desenvolvidos no Revit® e a modelagem dos materiais e cálculos pelo Nastran®.

Como citado anteriormente, os módulos são autoportantes e independentes, ou seja, eles suportam seus próprios carregamentos individuais mas não transmitem carga para módulos adjacentes, afirmação que será verificada. Tal característica indica a necessidade de uma estrutura complementar, denominada exoestrutura no escopo deste trabalho, no caso da utilização dos módulos para uma edificação de dois ou mais pavimentos, tal estrutura é responsável pela transmissão das cargas individuais dos módulos para o sistema de fundação.

É notável que a utilização de um sistema de pilares possibilita uma maior liberdade arquitetônica, uma vez em que se pode dispor as paredes de qualquer forma desejável.

Na Figura 4.1 é demonstrada um exemplo da intersecção dos pilares com a laje do módulo. O formato permite a passagem da exoestrutura ao mesmo tempo em que possibilita o posicionamento de outro módulo adjacente no mesmo plano. As ligações dos pilares à laje foram pensadas de forma a aproximar o máximo possível do engaste, diminuindo a necessidade de contraventamento do módulo.

Figura 4.1 – Ligação Pilar - Laje



Fonte: Dos autores (2021)

A análise estrutural foi feita de acordo com o seguinte procedimento:

1. Modelagem da geometria e materiais dos seguintes componentes:
 - a. Laje;
 - b. Pilares internos;
 - c. Forro (Laje Superior);
 - d. Pilares Externos; e
 - e. Ligações Pilares Externos – Lajes.

As demais ligações não fazem parte do escopo do trabalho, uma vez em que se focou na validação do sistema estrutural e as tais ligações são elementos convencionais já presentes no mercado com validações mecânicas.

2. Análise global da estrutura:
 - a. Para a análise global foi feita uma montagem dos componentes, considerando a interação rígida entre os elementos do módulo (laje, pilares internos e forro), o apoio do módulo nas ligações laje – pilares externos e a fixação das ligações com os pilares externos; e
 - b. As bases dos pilares externos do térreo foram consideradas engastadas, uma vez em que se utilizará uma ligação que se aproxima do engaste de modo a reduzir a necessidade de um contraventamento global.

É importante ressaltar que foram analisadas as tensões pelo critério de von Mises e as deformações, de forma a não ultrapassar os limites normativos.

3. Análise individual dos componentes críticos:

A análise local (individual) foi feita após a análise global para que se tenha os resultados de esforços nos elementos individuais.

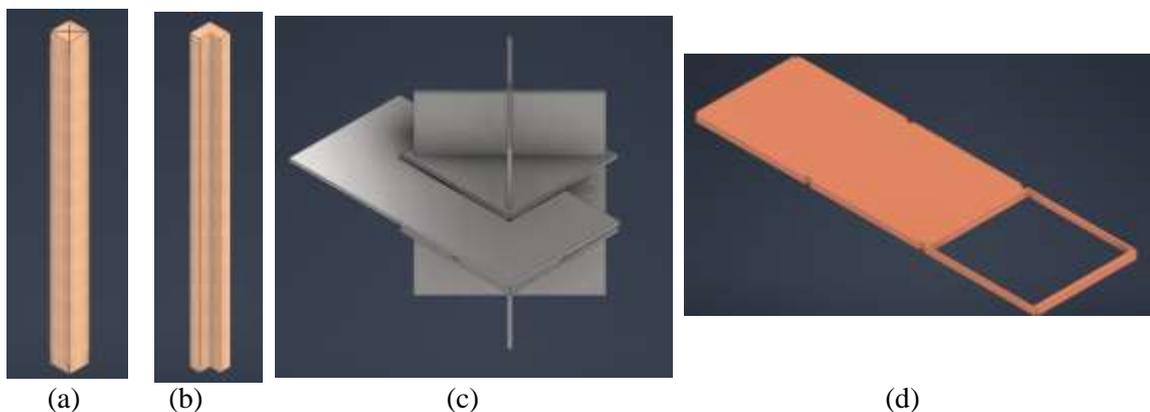
- a. As lajes foram verificadas individualmente para validação do comportamento do material tridimensionalmente ortotrópico e deformação; e
- b. As ligações pilares externos – módulos – pilares externos também foram analisadas de forma individual, de forma a permitir a otimização de sua geometria dadas regiões de acúmulo ou ausência de tensões

4.1. Modelagem geométrica dos componentes

Como citado anteriormente, os componentes foram modelados geometricamente no software Inventor ®. À seguir, são apresentados exemplos dos elementos.

A Figura 4.2 exhibe exemplos dos pilares externos (a), pilares internos (b) da ligação de 2 apoios (c) e da laje de pé-direito duplo do módulo M5 (d). Pode-se notar que, para uma maior precisão na análise da interface das lajes, ligações e pilares externos, foram consideradas as aberturas nos pilares externos para encaixe das ligações.

Figura 4.2 – Exemplos dos elementos modelados

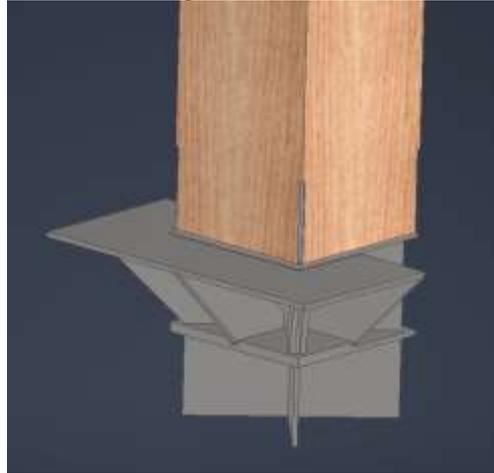


Fonte: Dos autores (2021)

Após a modelagem dos elementos individuais, foram definidas as montagens.

A Figura 4.3 demonstra um exemplo de ligação de um pilar externo com a ligação pilar externo – módulo – pilar externo. Foi considerada uma ligação superficial sem atrito entre os elementos, de modo em que há uma transferência de cargas apenas em planos normais entre as superfícies.

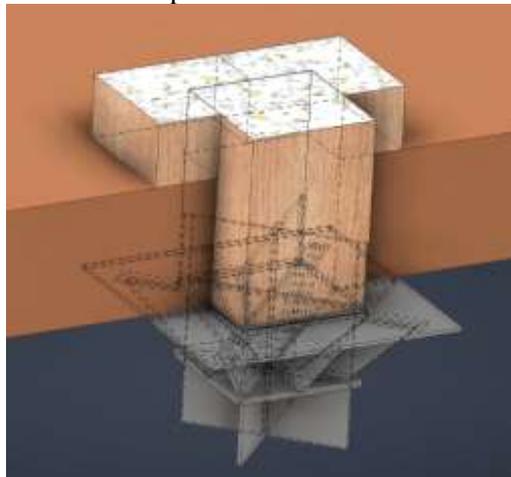
Figura 4.3 – Exemplos dos elementos modelados



Fonte: Dos autores (2021)

A Figura 4.4 demonstra a interface completa das ligações dos módulos com a estrutura externa. O módulo é considerado apoiado na ligação pilar – módulo – pilar e as cargas horizontais são transmitidas pelo contato direto dos pilares internos com os externos, possibilitando que não haja sobrecarga dos pilares internos de um módulo por interferência dos módulos adjacentes.

Figura 4.4 – Exemplos dos elementos modelados



Fonte: Dos autores (2021)

Na Figura 4.5, é possível visualizar um dos módulos já apoiados nos pilares externos e na Figura 4.6 abaixo, os módulos dispostos de acordo com o projeto arquitetônico.

Figura 4.5 – Exemplos de um Módulo com os Pilares Externos



Fonte: Dos autores (2021)

Figura 4.6 – Montagem Final dos Módulos



Fonte: Dos autores (2021)

4.2. Modelagem dos materiais

Como previamente descrito, as lajes e forros são de CLT os pilares internos e externos de MLC e as ligações em Aço A36.

Os dados relativos às propriedades mecânicas do aço foram considerados de acordo com o catálogo da Gerdau (2020) possuindo as seguintes características:

Tabela 4.1 – Propriedades mecânicas do aço

f_y (MPa)	f_u (MPa)	E (GPa)	ν
250	500	200	0.26

Fonte: Adaptado do Catálogo Gerdau (2020)

Em contrapartida, os painéis de madeira, por possuírem características distintas dependentes da forma de fabricação - disposição e quantidade de lâminas, espessuras, espécies de madeira, adesivos, pressões e temperaturas de fabricação, foram considerados como painéis comerciais, cujas características mecânicas foram disponibilizadas pela fabricante alemã Metsä, com os valores descritos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Propriedades Mecânicas do Painel de Madeira

Valores Característicos	Símbolo	Unidade	Paralelo às Lamelas		Paralelo às Lamelas	
			Paralelo às Fibras	Perpendiculares às Fibras	Paralelo às Fibras	Perpendiculares às Fibras
Tração	ft	MPa	26	6		0
Compressão	fc	MPa	26	9		2.2
Cisalhamento	fs	MPa		4.5	1.3	0.6
Mod. Elasticidade	E	GPa	8.8	2		0.1
Mod. Cisalhamento	G	MPa		400	100	16

Fonte: Adaptado Catálogo Metsä (2021)

4.3. Condições de Contorno

Como descrito anteriormente, com exceção da interface entre os módulos e a exoestrutura, todos os componentes foram considerados engastados um nos outros. Para uma maior precisão nos resultados de reações na base, as restrições foram consideradas apenas nos planos perpendiculares às ligações, desconsiderando o efeito do atrito entre a ligação da base e a fundação.

4.4. Carregamentos

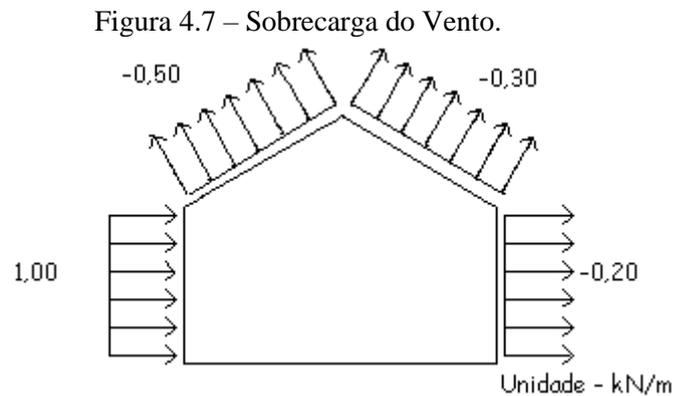
Os pesos próprios dos elementos estruturais foram considerados automaticamente pelo software de acordo com as características definidas dos materiais, sendo a madeira com 5kN/m^3 e o aço com $78,5\text{kN/m}^3$. As ações variáveis, em acordo com a Tabela 6.1 da NBR6120:2019 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações e com a NBR6123:2013 Forças devido ao vento em edificações. Para as lajes, foi considerada uma ação variável de $3,00\text{ kPa}$ para toda a laje, uma vez em que sua utilização pode variar de acordo com as especificações do módulo. Para o forro, foi considerada uma carga de $1,00\text{ kPa}$, uma vez em que ele será acessível somente na montagem e para manutenção. Vale ressaltar que o modelo analisado é considerado como uma edificação residencial.

Para os pesos próprios dos elementos de vedação e acabamento, foi considerada uma carga adicional de 1kN/m^2 , em acordo com a NBR6120:2019 Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.

As sobrecargas provenientes das ações do vento foram consideradas apenas na análise global da estrutura e foram determinadas com o auxílio do software Visual Ventos 2.0.2 ®, considerando-se os seguintes parâmetros:

1. Faces Normais ao vento 90° com 12m de comprimento;
2. Faces Normais ao vento 0° com 10,8m de comprimento;
3. Altura da Edificação: 6,2m;
4. Velocidade Básica $V_0 = 45\text{m/s}$;
5. Terreno Plano: $S_1 = 1$;
6. Categoria III no fator de rugosidade: $S_2 = 0,9$ (considerado para toda a edificação);
7. Grupo 2 para o Fator estatístico: $S_3 = 1$; e
8. C_{pi} para 4 faces igualmente permeáveis: $C_{pi} = -0,3$ ou 0 .

O que resultou nas cargas críticas da Figura 4.7.



Fonte: Dos autores (2021)

É importante notar que os dados representados na saída do software estão em kN/m , uma vez que o resultado é referente a um pórtico da edificação, porém, foi considerada uma distância entre pórticos unitária (1m), assim, pôde-se considerar que as cargas demonstradas na Figura 5.4.1 são equivalentes à cargas de pressão distribuídas nas superfícies dos módulos. Uma vez que para todas as combinações houve apenas a presença de ventos de sucção com valores relativamente muito inferiores ao peso próprio dos elementos de forro (na ordem de $1/10$), a

possibilidade de inversão de esforços foi desconsiderada assim como a influência da carga, que atuaria somente como um alívio nas combinações.

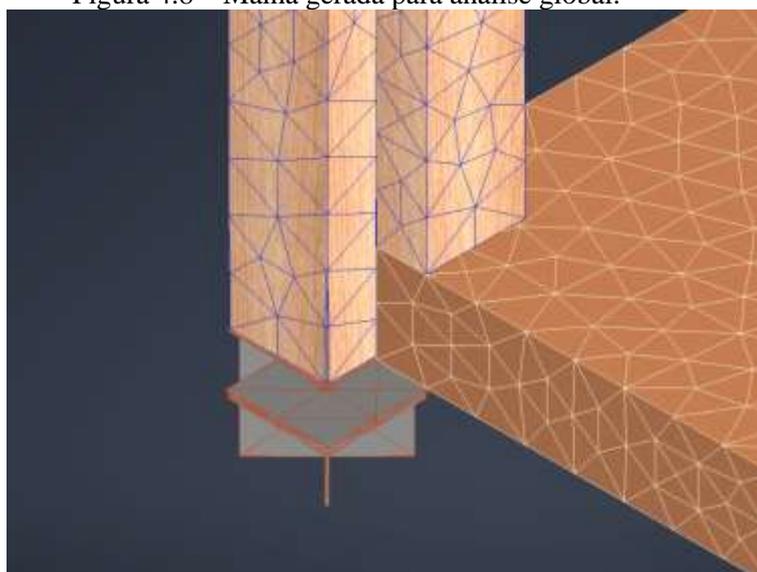
Deste modo, aplicando-se um fator de majoração de 40% na combinação das cargas, obtém-se uma pressão de $1,4 \times (3\text{kPa} + 1\text{kPa}) = 5,6\text{kPa}$ nas lajes, e $1,4 \times 1\text{kPa} = 1,4\text{kPa}$ nas faces externas.

4.5. Discretização dos elementos

Para a verificação individual dos componentes, foram geradas malhas menores, como por exemplo, para as ligações foi gerada uma malha de 3 mm (metade da espessura das chapas), o que pode ser observado na Figura 4.9, para a análise individual dos componentes e para análise global da estrutura, uma malha de 50 mm. Para os pilares, foi considerada uma malha de 20 mm para a análise individual, e de 50 mm para a global; e para a laje foi empregada malha de 50mm em ambos os estudos, com exceção das regiões de apoio, onde foram determinadas maiores precisões para uma verificação de possíveis regiões de acúmulo de tensão.

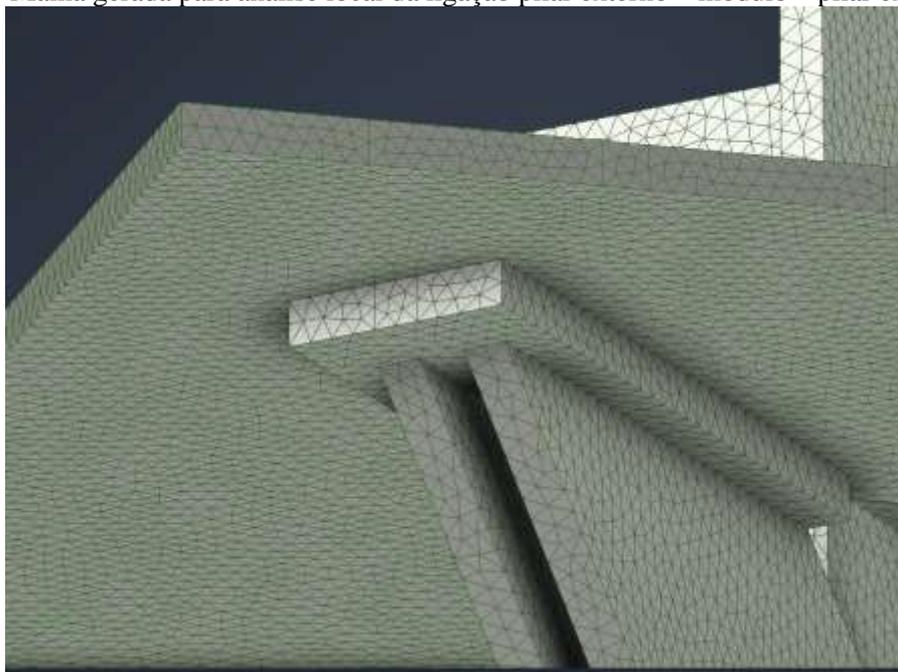
A Figura 4.8 demonstra a discretização realizada para a análise global dos módulos, onde foi considerada uma malha com 50 mm para todos os elementos, uma vez em que a prioridade desse estudo foi determinar o comportamento global da estrutura.

Figura 4.8 – Malha gerada para análise global.



Fonte: Dos autores (2021)

Figura 4.9 – Malha gerada para análise local da ligação pilar externo – módulo – pilar externo.



Fonte: Dos autores (2021)

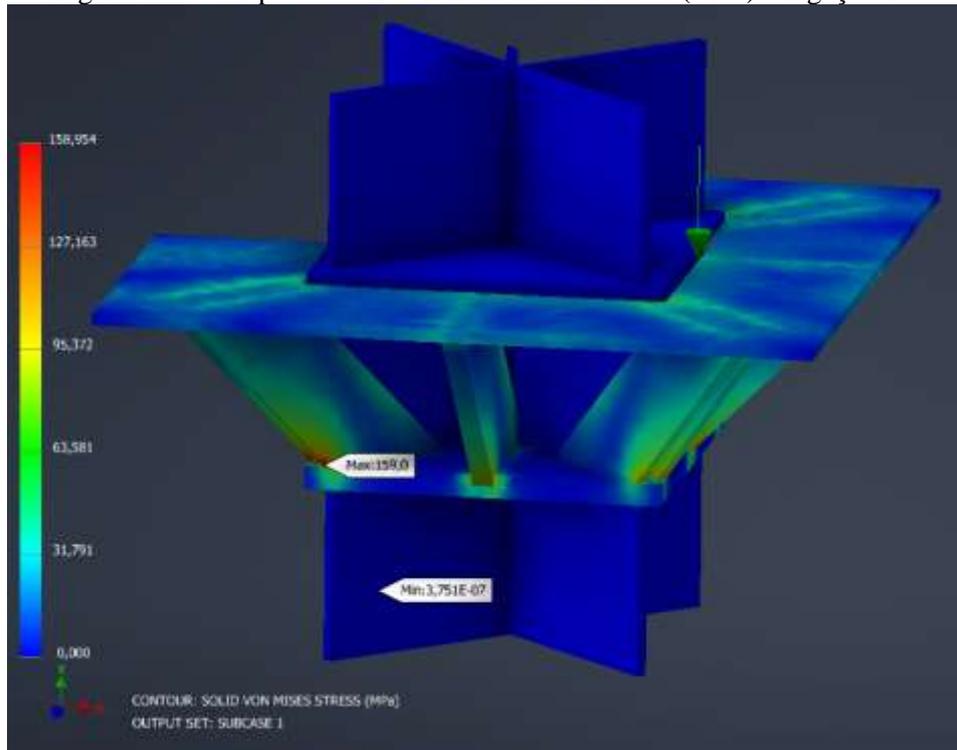
4.6. Avaliação individual dos elementos

A avaliação individual dos elementos foi feita de modo a determinar os limites de carregamentos suportados pelos elementos críticos, de modo a determinar os limites de utilização das peças, simplificando a análise e seleção.

4.6.1. Ligações Pilar Externo – Módulo – Pilar Externo

Para a ligação L3, demonstrada na Figura 4.10, foi aplicada uma pressão de 0,55 MPa na superfície de apoio dos módulos na ligação, tensão estimada para suportar 2 módulos no mesmo pavimento, sendo um na região central e outro na região de canto. Na Figura 4.10 é possível observar o resultado para a tensão de Von Mises.

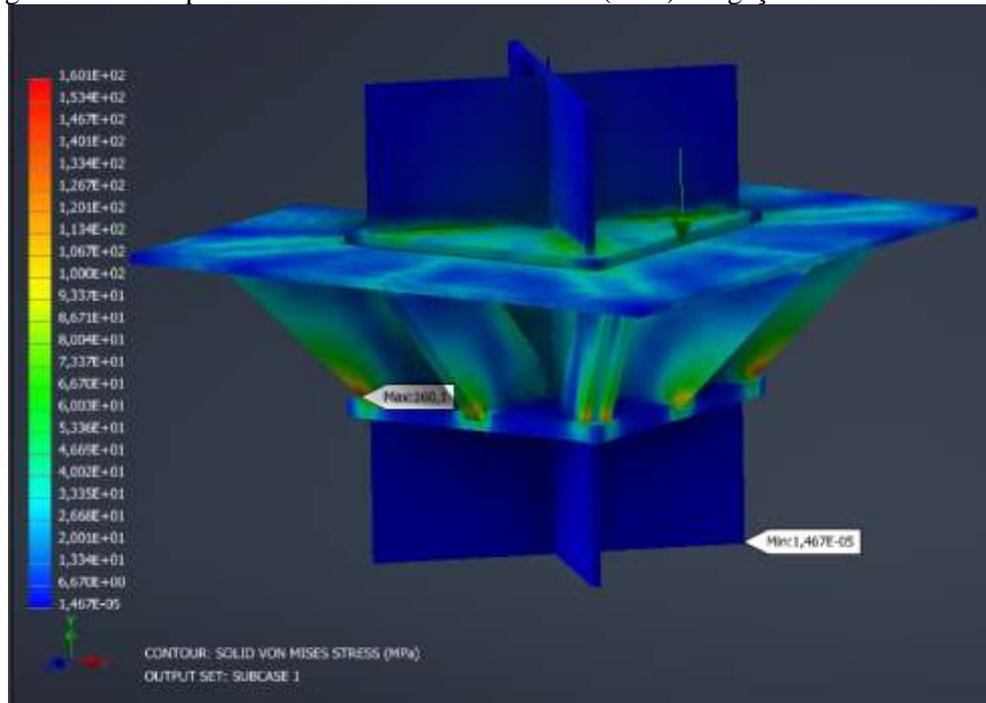
Figura 4.10 – Mapa de calor – Tensão de Von Mises (MPa) - Ligação L3



Fonte: Dos autores (2021)

Com a análise da distribuição de tensões pela peça, pôde-se concluir que houve um resultado satisfatório, uma vez em que as partes mais solicitadas da ligação foram as partes responsáveis por absorver as tensões provenientes dos módulos, ou seja, é uma parte não efetivamente afetada pela quantidade de módulos verticalmente adjacentes. Deste modo, o estudo demonstra a capacidade da ligação de suportar múltiplos pavimentos. Em seguida, para verificação da afirmação anterior, foi inserida uma nova carga de 2,35 MPa na superfície de contato superior da ligação, onde o pilar externo se apoia. Tal valor é estimado para um pilar central suportando o carregamento de 8 pavimentos de módulos, totalizando a carga de 16 módulos, sendo um apoio central e um de extremidade.

Figura 4.11 – Mapa de calor – Tensão de von Mises (MPa) - Ligação L3 - 8 Pavimentos



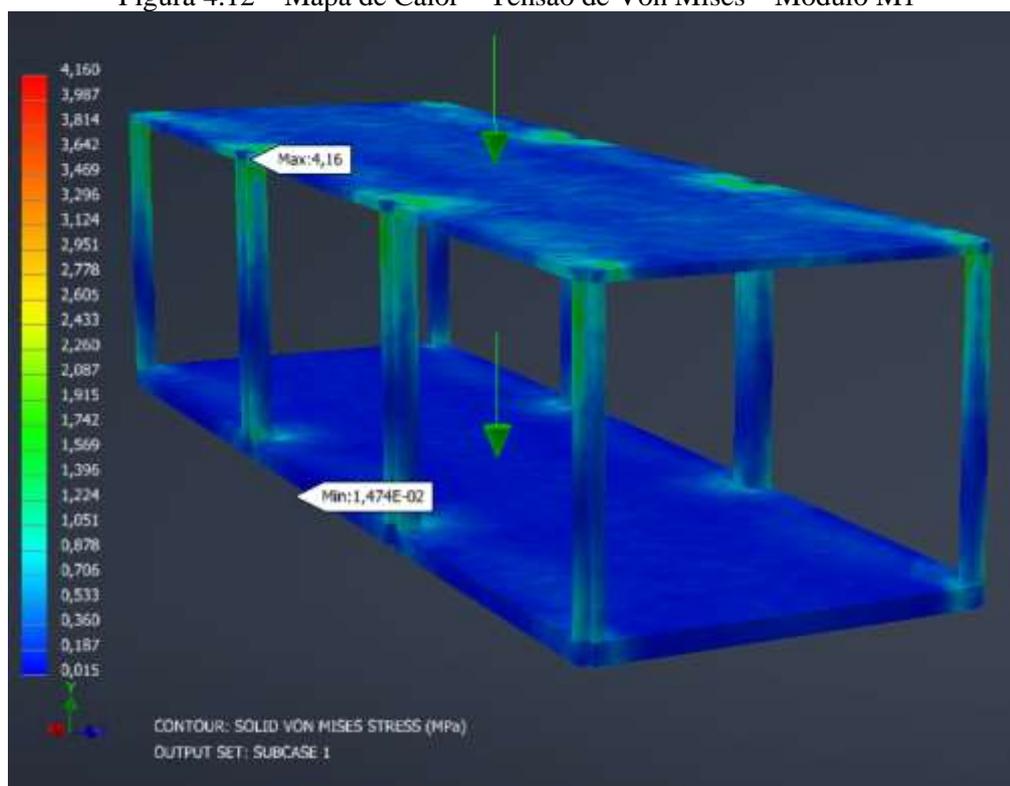
Fonte: Dos autores (2021)

Pode-se observar através da Figura 4.11, que a hipótese feita de que a parte da ligação responsável pelo apoio do módulo não é afetada pelas cargas provenientes dos pilares superiores é verdadeira, uma vez em que não houve um aumento considerável da máxima tensão na ligação – foi de 158,95MPa para 160,10 MPa, uma diferença de menos de 1% (0,7%).

4.6.2. Módulos individuais

Para a análise individual da estrutura dos módulos, foram consideradas as cargas de 5,6 kPa nas lajes e 1,4 kPa nos forros. Lembrando que os pesos próprios foram automaticamente considerados dadas as propriedades dos materiais e a aceleração da gravidade foi majorada em 40% como forma de ajustá-la à combinação. A seguir, a Figura 4.12 demonstra os resultados de tensão de Von Mises para o módulo M1.

Figura 4.12 – Mapa de Calor – Tensão de Von Mises – Módulo M1



Fonte: Dos autores (2021)

É notável que a maior concentração de cargas se deu nas regiões das ligações entre as lajes e os pilares, o que é esperado. Também pôde-se avaliar que as tensões resultantes possuem uma magnitude relativamente baixa, onde o máximo atingido foi 4,16 MPa, o que valida a sugestão de utilização de madeiras de menor resistência. Para tais condições, houve uma deformação máxima de 19,37 mm, a qual está abaixo do ELU (Estado Limite Último): $L/200 = 20 \text{ mm} > 19,37 \text{ mm}$, tal deformação ocorreu no centro do forro, que é uma área acessível somente para manutenção, tal fato implica que apesar de haver uma pequena margem entre a deformação e o limite de utilização, não há necessidade de um redimensionamento do forro.

O Apêndice B demonstra a montagem global da estrutura, assim como uma visualização da exoestrutura utilizada neste trabalho.

5 PROJETOS COMPLEMENTARES

5.1. Concepção Hidrossanitária

Com o auxílio do Revit ® através da extensão MEP, realizaram-se as concepções hidrossanitária e elétrica dos módulos. A extensão MEP, possibilita a criação integrada entre os diferentes projetos de engenharia, sendo eles mecânico (M), elétrico (E) e hidrossanitário, (Plumbing e Piping - P), em um mesmo arquivo, facilitando a comunicação entre eles e o projeto arquitetônico. Para a elaboração do projeto hidrossanitário, utilizou-se o plug-in gratuito disponibilizado pelo grupo Tigre, dando apoio as instalações de água fria e quente, e de esgoto através de seus produtos modulados em BIM.

Como explicitado anteriormente, os módulos da edificação trabalham de maneira independente, ou seja, cada um deles possui seu sistema estrutural, elétrico e hidrossanitário. Entretanto em análise, não será todo módulo que possuirá necessidade de receber um sistema hidrossanitário, uma vez que estes poderão ter utilização que não demandará tal sistema. Sendo assim, estudou-se um sistema individual hidrossanitário, o qual poderá ser adotado apenas nos módulos com área molhada, nomeados como Módulos MEP.

Para isso, a análise hidrossanitária foi realizada através dos seguintes procedimentos:

1. Sistema Hidráulico:
 - a. Módulo Caixa d'água;
 - b. Barriletes do Módulo Caixa d'água e colunas d'água dos módulos;
 - c. Barriletes de distribuição;
 - d. Paredes hidráulicas.

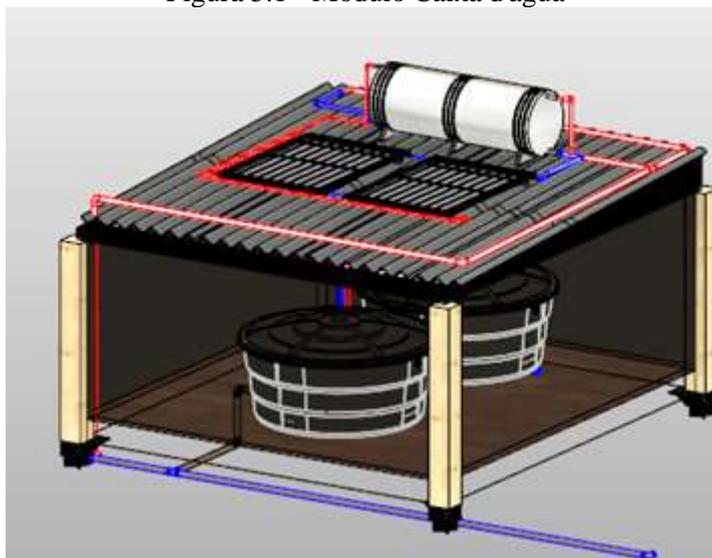
Não foi realizado o dimensionamento das tubulações de água fria e água quente em função da perda de carga, uma vez que o trabalho optou por orientar apenas na concepção do sistema.

2. Sistema de Esgoto e ventilação
 - a. Esgoto Primário;
 - b. Tubos de queda;
 - c. Disposição dos subcoletores prediais;
 - d. Ramal de Ventilação.

5.1.1. Sistema Hidráulico

Para manter a individualidade do sistema modular desenvolvido, foi criado um módulo independente para a instalação das caixas d'água. Esse módulo poderá ser instalado seguindo o mesmo procedimento dos demais, e localizado em qualquer local da cobertura. Entretanto, para manter a volumetria da edificação e padronização do sistema modular, o Módulo Caixa d'água consiste em um 1/3 (um terço) do módulo padrão, possuindo dimensões de 3,60m x 4,00m e com capacidade para receber dois reservatórios de 1000 litros. Desse modo, quando necessário o aumento da quantidade de água em função da demanda da edificação, será possível introduzir outros Módulos Caixa d'água sem influenciar na estrutura dos demais, devido às suas dimensões reduzidas. Também, além dos reservatórios foram dispostas placas solares localizadas na cobertura do módulo e conectadas a um boiler de 300 litros possibilitando o abastecimento de água quente na edificação, como ilustrado na Figura 5.1.

Figura 5.1 - Módulo Caixa d'água



Fonte: Dos autores (2021)

Posto que os reservatórios estarão localizados em qualquer ponto da cobertura, cada módulo possui colunas d'água de espera para que sejam conectados aos barriletes que saem do Módulo Caixa d'água. Com isso seguiu-se o seguinte procedimento:

1. Um dos reservatórios se conecta ao sistema de abastecimento de água e este alimentará o outro reservatório;

2. As demais saídas dos reservatórios possuem barriletes orientados para a cobertura dos módulos, com isso, cada saída dos reservatórios alimentará um módulo do último pavimento da edificação;
3. As coberturas possuem dois barriletes dispostos paralelamente a maior dimensão do módulo um de água fria e outro de água quente, e localizados a 0,20 metro e 0,30 metro, respectivamente, da extremidade posterior do módulo. Estes possuem conexões tês como espera para se conectarem aos barriletes que chegarão do reservatório.
4. Os barriletes da cobertura do módulo seguiram para as colunas d'água localizadas externamente ao módulo em seu canto direito e posterior, e se estendem ao longo de todo o pé direito, com sua extremidade inferior conectada a um tê, o qual pode ser ligado aos barriletes e a coluna d'água, localizados em um módulo abaixo dele. Além disso, a uma altura de 0,6 metro do piso, há uma saída em direção ao lado externo do módulo para a conexão de uma torneira de jardim, que pode ser utilizado quando o módulo estiver localizado no térreo.

Visto que todo módulo que demandar a necessidade hidráulica possui esse sistema de distribuição, as conexões são feitas facilmente, já que as esperas estão verticais e ambas as tubulações são soldáveis.

Além dos 'tês' de espera, os barriletes de distribuição localizados na cobertura de cada módulo, possuem conexões para a ramificação de tubulações ao longo do módulo, quando necessários. Essas ramificações são feitas para que o barrilete possa se conectar às paredes hidráulicas que estarão dispostas na edificação. Para isso, a necessidade de tubulações de ramificação deve ser analisada ainda em projeto, para que sejam instaladas na cobertura ainda em fábrica, pois têm conexões horizontais e deverão ultrapassar a laje cobertura, conectando às paredes hidráulicas.

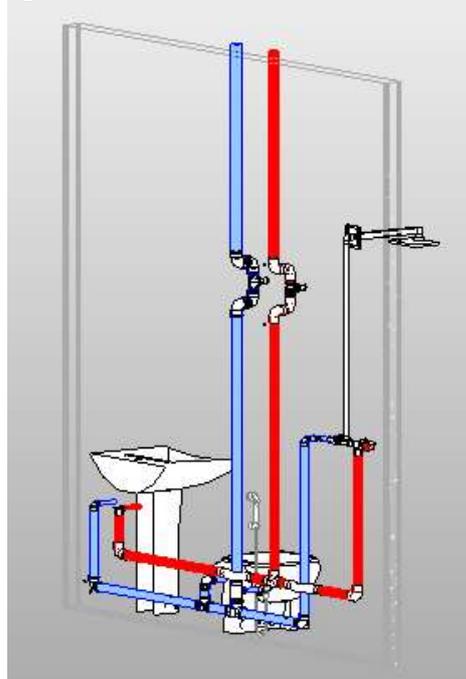
Essas paredes hidráulicas consistem na placa vertical que recebe as tubulações que se ligam às peças sanitárias, logo há três tipos delas:

- a. Parede Hidráulica - Banheiro;
- b. Parede Hidráulica – Lavanderia;
- c. Parede Hidráulica – Cozinha.

Cada uma terá 2,60 metros de comprimento e pé direito igual ao do módulo, com as peças sanitárias instaladas ao longo de sua extensão horizontal, tendo cada uma a sua disposição, como indicadas nas Figuras 5.2, 5.3 e 5.4. Além disso, todas recebem duas colunas d'águas, uma de água fria à direita e outra de água quente à esquerda, ambas no meio da parede, uma ao

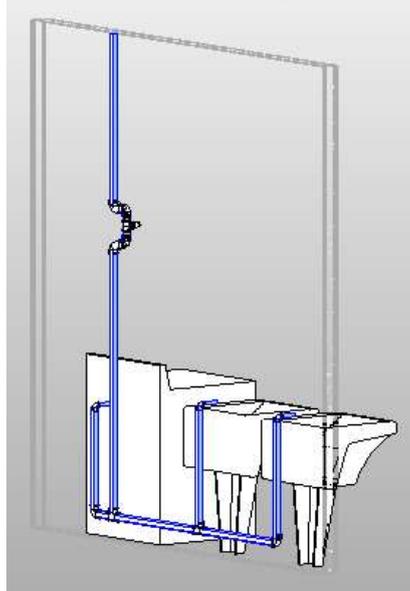
lado da outra e compostas por um registro a 1,80 metros do piso, com função de controlar o abastecimento de água no cômodo. Estas colunas estão ligadas às tubulações horizontais, responsáveis por alimentar as peças sanitárias, sendo a tubulação de água fria localizada a 0,20 metro do piso e a tubulação de água quente a 0,38 metro.

Figura 5.2 - Parede Hidráulica, Banheiro



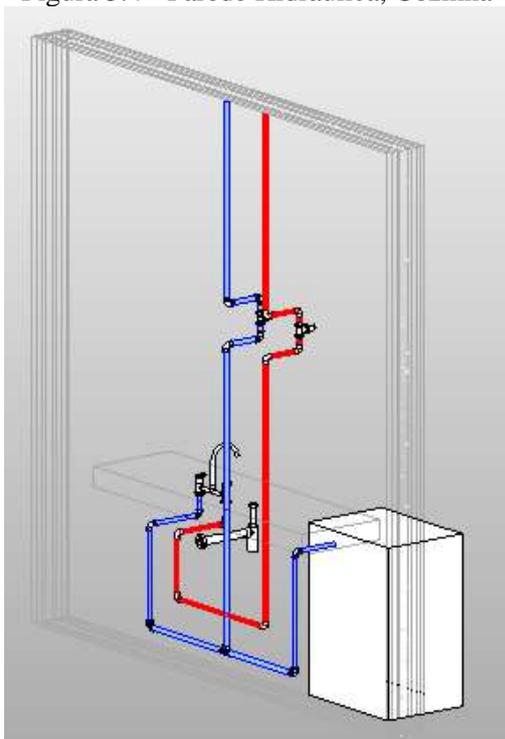
Fonte: Dos autores (2021)

Figura 5.3 - Parede Hidráulica, Área de serviço



Fonte: Dos autores (2021)

Figura 5.4 - Parede Hidráulica, Cozinha



Fonte: Dos Autores (2021)

No Apêndice D estão disponíveis visualizações plotadas do sistema hidráulico.

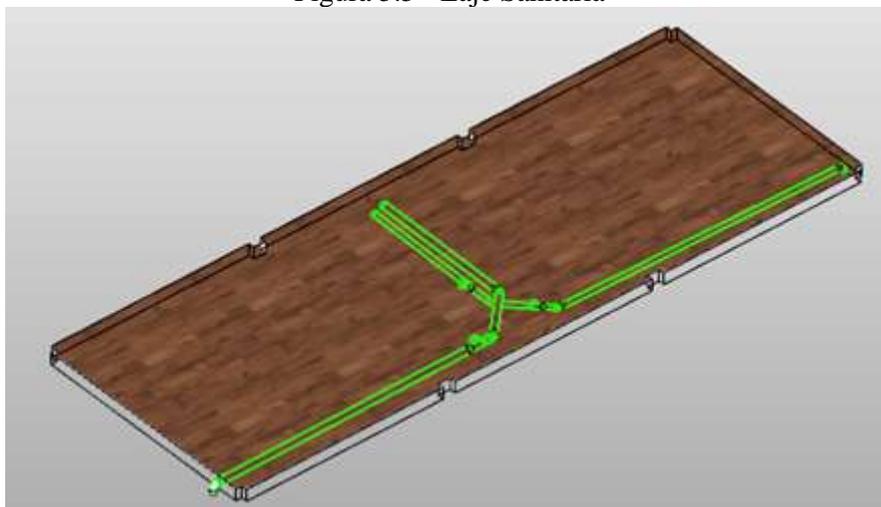
5.1.2. Sistema Sanitário

A concepção sanitária foi desenvolvida de modo a garantir que a edificação não dependesse de um sistema de coleta de esgoto, possibilitando sua instalação em área de saneamento precário ou não existente. Para isso, adotou-se a separação das águas cinzas e negras do módulo, criando três sistemas independentes de captação de esgoto, um de águas negras, um de águas cinza e um apenas para peças sanitárias da cozinha, que posteriormente poderão ser conectados a fossas sépticas. Houve também a preocupação de desenvolver uma concepção de distribuição de modo que o sistema fosse eficiente para atingir módulos com diversas aplicações, e que o mesmo permitisse a conexão com todas as peças sanitárias ao longo de toda a área do módulo. Nesse caso, assim como a criação de paredes hidráulicas, desenvolveu-se uma laje com um sistema de esgoto primário embutido, o qual poderá ser utilizado nos módulos que exijam o mesmo.

Esta laje, com mesmas dimensões e características daquela utilizada nos módulos secos, terá tubulações de esgoto primário embutido em seu interior, ao longo de toda sua extensão,

criando um desenho que facilite a conexão em ambos os sistemas de coleta, sem que um tivesse interferência no outro, como indicado na Figura 5.5.

Figura 5.5 - Laje Sanitária



Fonte: Dos autores (2021)

Nota-se que em função da NBR 8160:1999 as tubulações possuem diâmetros de 75 e 100mm dimensionados em função da Unidade de Contribuição Hunter (UCH) das peças sanitárias. Para tal, seguiu-se a afirmação de que o sistema de esgoto seria capaz de receber efluentes de diferentes utilizações, determinou-se então que o esgoto primário de águas cinzas seria capaz de receber até 20 UHC tendo diâmetro de 75mm, que segundo a Tabela 3 da NBR 8160:1999 corresponde a:

- Dois chuveiros residenciais, dois lavatórios, duas máquinas de lavar roupa e dois tanques de lavar roupa, ou;
- Três chuveiros de uso coletivo e três lavatórios de uso coletivo, ou;
- Três máquinas de lavar roupa e três tanques de lavar roupa.

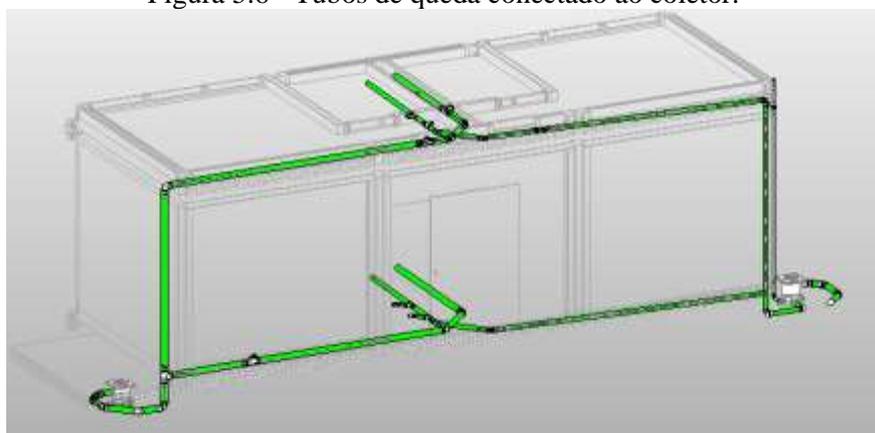
Ainda seguindo as orientações da norma, dimensionou-se o coletor de águas negras através do item 5.1.1.1 tópico b da NBR 8160:1999 que afirma que a condição de todo desconector deve possuir orifício de saída igual ou superior à conexão ligada a ele. Com isso, o coletor deve possuir diâmetro de 100mm uma vez que pela Tabela 3 da NBR 8160:1999 as bacias sanitárias devem ser conectadas a ramais de descargas de 100mm de diâmetro. Para as águas cinzas da cozinha, determinou-se um diâmetro de 75mm para as tubulações, sendo capaz de receber efluentes de até 3 pias de cozinhas industriais e 3 máquinas de lavar louça. A inclinação de cada tubulação foi determinada seguindo a Tabela 7 da ABNT NBR 8160:1999,

sendo 1% a inclinação do coletor de águas negras e 2% o coletor de águas cinzas de ambos os sistemas

As saídas para a caixa de inspeção ou para o tubo de queda, seguindo a Figura 5.6, estarão localizadas nos cantos frontais do módulo, estando o sistema de águas cinza à direita e o sistema de águas negras à esquerda, e ao lado de cada um deles haverá uma saída ou tubo de queda que receberá os efluentes das peças sanitárias da cozinha. Logo, o coletor dos efluentes da cozinha será direcionado para a saída mais próxima de modo independente dos coletores de água cinza e negra.

Os módulos dos pavimentos terão os coletores ligados no tubo de queda instalado no módulo do pavimento inferior e assim adiante, até atingir o primeiro pavimento, e se ligar a uma saída da caixa de inspeção. Já os coletores do primeiro pavimento serão conectados diretamente a caixa de inspeção em uma saída diferente da utilizada no tubo de queda. Os tubos de queda nos módulos inferiores ao módulo com a laje de esgoto serão indicados em projeto e instalados na etapa posterior à vedação dos mesmos. Como as conexões entre a tubulação de um módulo com a de outro módulo estará na vertical, as conexões serão feitas facilmente, já que as esperas também estarão na vertical e ambas as tubulações serão soldáveis.

Figura 5.6 - Tubos de queda conectado ao coletor.



Fonte: Dos autores (2021)

Como a laje com o sistema de esgoto será padronizada e atingirá todo o módulo, será possível distribuir peças sanitárias ao longo de toda a área do piso. Logo as tubulações que sairão das peças sanitárias e ligarão nos coletores da laje deverão ser previstas em projeto, já que estarão em sentido horizontal e embutidas na laje, e assim poderão ter qualquer arranjo. Ou seja, cada módulo terá uma disposição de subcoletores em função do local onde as peças estarão instaladas e deverão seguir as inclinações indicadas na ABNT NBR 8160, ou ainda, os

subcoletores de águas negras seguirão uma inclinação de no mínimo 1% e os subcoletores de águas cinzas terão inclinação de 2% e ambas seguirão uma inclinação máxima de 5% segundo o item 4.2.5.2 da NBR 8160:1999.

Conforme já mencionado anteriormente, o esgoto ao chegar até o térreo será direcionado a uma caixa de inspeção ou caixa de gordura. Dessa maneira, cada módulo que possuir sistema hidrossanitário deverá ser conectado a duas caixas de inspeção e uma ou duas caixas de gordura, sendo uma caixa de inspeção de águas cinzas e uma caixa de gordura no lado direito do módulo; e uma caixa de inspeção de águas negras e uma caixa de gordura no lado esquerdo. Estas caixas poderão ser locadas ao final da instalação dos módulos uma vez que estas serão subterrâneas. Suas conexões, também subterrâneas, se ligarão às esperas verticais dos tubos de queda e dos coletores do primeiro pavimento. Por fim, a ligação entre as caixas de inspeção e caixas de gordura de águas cinzas, e a ligação entre as caixas de inspeção de águas negras serão feitas 'in loco', e destinadas ao tratamento de esgoto escolhido pelo proprietário.

5.1.3. Sistema de Ventilação

O sistema de ventilação é responsável por eliminar os gases e odores gerados pelo esgoto, sendo classificados como primário ou secundário. O sistema primário corresponde àquele já conectado à peça, como por exemplo os sifões presentes nos vasos sanitários que satisfazem a ventilação dos gases provenientes de seus efluentes. Já o sistema secundário corresponde às tubulações acopladas nos coletores de esgotos e responsáveis por direcionar os gases à atmosfera através da cobertura da edificação. Este segundo sistema é utilizado quando as peças sanitárias conectadas ao esgoto não possuem sistemas primários de ventilação, o que ocorre nos componentes que liberam efluentes de águas cinzas.

Como citado anteriormente, as peças sanitárias poderão ser instaladas em qualquer espaço do módulo. Com isso, o local em que a coluna de ventilação está instalada será um fator determinante para a escolha do local de instalações das caixas sifonadas com ralo, pois é primordial que os ramais de ventilação estejam ligados a uma distância máxima do desconector em função de seu diâmetro - como indicado na Tabela 1 da NBR 8160:1999.

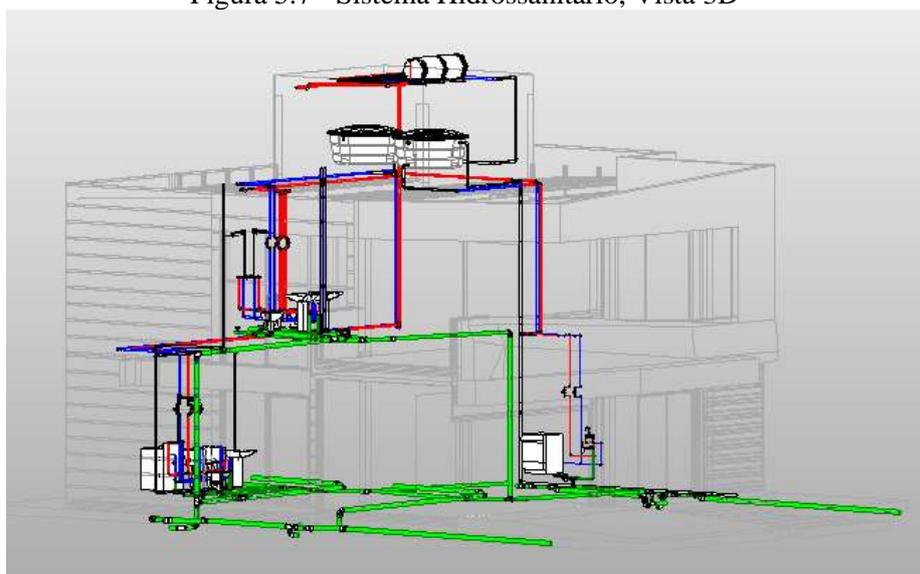
Para facilitar a instalação de todas as tubulações do módulo, determinou-se que em cada parede hidráulica haveria uma coluna de ventilação localizada na extremidade oposta aos barriletes de água quente e fria, como ilustrado nas Figuras 5.2, 5.3 e 5.4, do item 5.1.

Seguindo as hipóteses utilizadas para o dimensionamento das tubulações de águas cinzas, determinou-se que as tubulações do ramal de ventilação teriam diâmetro de 50mm, sendo assim a caixa sifonada que recebe as águas cinzas do cômodo, deverá ser instalada a uma distância máxima de 1,80 metro em relação à conexão do tubo ventilador com a tubulação de esgoto. Este tubo ventilador é o responsável por conectar a saída dos gases do sistema de esgoto e a coluna de ventilação, com inclinação ascendente segundo a NBR 8160:1999. Por isso, é importante salientar que durante a escolha da localização da caixa sifonada, deve-se preocupar com a inclinação do tubo de ventilação e seu local de conexão com o esgoto, já que este não deve ultrapassar os limites da laje durante seu trajeto até a conexão com a coluna de ventilação.

Dessa forma, juntamente com os subcoletores de efluentes, os tubos ventiladores serão indicados em projeto e instalados em fábrica, sem uma padronização, uma vez que estarão embutidos na laje. Além disso, as colunas de ventilação ao atingirem a extremidade superior da parede hidráulica, serão direcionadas para a cobertura da edificação seguindo trajetos horizontais ao longo das lajes e verticais ao longo dos vãos verticais entre os módulos, de maneira que não sejam expostos. Este arranjo também deverá ser previsto em projeto já que cada edificação apresentará sua disposição entre os módulos.

Ajustando todos os procedimentos, o projeto estudado no atual trabalho, terá como resultado um sistema hidrossanitário como indicado na Figura 5.7.

Figura 5.7 - Sistema Hidrossanitário, Vista 3D



Fonte: Dos autores (2021)

O Apêndice E traz visualizações plotadas do sistema sanitário.

5.2. Concepção Elétrica

Para manter a individualidade dos módulos, a concepção elétrica foi desenvolvida de maneira exclusiva, sem que um tivesse interferência no sistema do outro. Para isso, determinou-se que cada módulo contemplará um sistema elétrico singular capaz de suportar todos os equipamentos elétricos em seu interior, com um quadro de distribuição único, assim como seus circuitos.

Como já citado anteriormente, os módulos estão classificados em duas categorias, os módulos MEP, aqueles que possuem área molhada como banheiro, cozinha e área de serviço, e os módulos gerais compostos por áreas secas que não necessitam de instalações hidrossanitárias. Tal classificação facilitou durante a construção do sistema elétrico, de maneira a não o superdimensionar. Com isso criou-se um arranjo elétrico para cada tipo de módulo, MEP e Geral, capaz de suprir a demanda de cada um deles.

Além disso, com a preocupação de tornar o sistema construtivo eficiente em todas as regiões do país, seguiu-se o dimensionamento previsto pela NBR 5410:2008, descartando o dimensionamento indicado pelas concessionárias de eletricidade, pois devido a extensão do país e a quantidade de empresas de distribuição de energia, tal procedimento era inviável. Entretanto, atentou-se pela diferença de voltagem utilizada ao longo dos estados brasileiros, podendo ser 127V ou 220V. Assim sendo, para a determinação da concepção elétrica, tais procedimentos foram seguidos.

1. Módulo Geral:

- a. Demanda elétrica;
- b. Distribuição dos circuitos;
- c. Dimensionamento dos disjuntores e bitolas;
- d. Quadro de Distribuição.

2. Módulo MEP:

- a. Demanda elétrica;
- b. Distribuição dos circuitos;
- c. Dimensionamento dos disjuntores e bitolas;
- d. Quadro de Distribuição.

3. Módulos em conjunto:

- a. Distribuição Geral.

5.2.1. Sistema elétrico do Módulo Geral

Os módulos de uso geral, constituídos por áreas que não demandam instalações hidrossanitárias, foram dimensionados considerando seu uso como quartos, salas e varandas. Em vista disso, dividiu-se a área do módulo em três partes iguais, tomando duas como quartos e uma como sala, possibilitando o levantamento da demanda de tomadas de uso geral de todo o módulo. Com isso, pela NBR 5410:2008, os módulos gerais terão capacidade de suportar 2400W de tomadas de uso geral, correspondente a 22 tomadas de 100W ou 3 tomadas de 600W e 4 de 100W. Determinou-se também que os módulos gerais serão capazes de alimentar 4 aparelhos de ar condicionado com potência de 1300W cada.

Para a iluminação, seguiu-se a orientação da NBR ISO/CIE 8995:2013 que prevê a carga de iluminação em função da utilização do ambiente. Com o intuito de não restringir apenas o uso residencial dos módulos, a demanda de iluminação do ambiente foi considerada para a atividade com maior necessidade de iluminação prescrita na NBR ISO/CIE 8995:2013 capaz de ser desenvolvida no módulo estudado. Portanto, considerou-se uma carga de 1500 lux, correspondente a 15W/m² de lâmpadas led e capaz de suprir atividades desenvolvidas em locais de escritórios. Como a área do módulo é de 37,75m² foram necessários 567W de lâmpadas led para que o local tivesse iluminação suficiente. No entanto, como orientado pela NBR 5410:2008, todo circuito deve ser capaz de alimentar uma corrente nominal de 10A, permitindo que um circuito com voltagem de 127V pudesse alimentar 1160W ou 1200VA de iluminação. Determinou-se então que o módulo possuirá um circuito de iluminação independente com 1100W capaz de suprir a demanda de atividade com grande carga de iluminância além da iluminação externa do mesmo quando necessário.

Os circuitos foram então distribuídos seguindo a recomendação da NBR 5410:2008 mantendo uma potência de no máximo 1100W para o mesmo alimentar uma corrente nominal de 10A, uma vez que durante o dimensionamento é necessário considerar o fator de potência de cada equipamento. Para que o módulo pudesse ser utilizado em qualquer região do país, adotou-se um fator de potência que a partir da Portaria nº 456, de 29 de novembro de 2000, estabelecida pela ANEEL (Agência Nacional de Energia elétrica) art. 49 tópico III, é exigido a utilização de no mínimo 0,92, o qual foi utilizado nos cálculos para manter o sistema a favor da segurança.

O módulo geral é então composto por cinco circuitos elétricos, divididos em iluminação, tomadas de uso geral (TUG) e tomadas de uso especial (TUE) como indicado na Tabela 5.1.1, para voltagem de 127V.

Tabela 5.1.1 - Circuitos elétricos do Módulo Geral com voltagem de 127V

Circuitos - Módulo Geral						
Circuito	Potência (W)	Voltagem (V)	Corrente (A)	Bitola do cabo (mm ²)	Disjuntor NEMA	Tipo
1	1100	127	9	1,5	10	Iluminação
2	1100	127	9	2,5	10	TUG
3	1100	127	9	2,5	10	TUG
4	2600	220	13	2,5	15	TUE
5	2600	220	13	2,5	15	TUE

Fonte: Dos autores (2021)

O mesmo dimensionamento foi realizado para a voltagem de 220V mantendo a mesma quantidade de tomadas gerais e especiais e a mesma carga de iluminação para manter a padronização dos módulos, como indicado na Tabela 5.1.2 abaixo.

Tabela 5.1.2 - Circuitos elétricos do Módulo Geral com voltagem de 220V

Circuitos - Módulo Geral						
Circuito	Potência (W)	Voltagem (V)	Corrente (A)	Bitola do cabo (mm ²)	Disjuntor NEMA	Tipo
1	1100	220	5	1,5	10	Iluminação
2	1100	220	5	2,5	10	TUG
3	1100	220	5	2,5	10	TUG
4	2600	220	13	2,5	15	TUE
5	2600	220	13	2,5	15	TUE

Fonte: Dos autores (2021)

Assim, mantendo a individualidade do sistema construtivo, cada módulo geral, em regiões de voltagem igual a 127V, será composto por 7 disjuntores ativos e 3 reservas. Para isso, será utilizado um quadro de distribuição com pelo menos 16 disjuntores, sendo capaz de suportar os 10 disjuntores necessários, como indicado na tabela 5.1.3.

Tabela 5.1.3 - Quadro de distribuição do Módulo Geral, voltagem 127V

Quadro de Distribuição - Módulo Geral			
Disjuntores Ativos	Disjuntores Reserva	Total de Disjuntores	Quadro de distribuição
7	3	10	16 disjuntores

Fonte: Dos autores (2021)

Já para os locais com voltagem de 220V o Quadro de Distribuição seguirá o indicado pela Tabela 5.1.4

Tabela 5.1.4 - Quadro de distribuição do Módulo Geral, voltagem 220V

Quadro de Distribuição - Módulo Geral			
Disjuntores Ativos	Disjuntores Reserva	Total de Disjuntores	Quadro de distribuição
10	3	13	16 disjuntores

Fonte: Dos autores (2021)

5.2.2. Sistema elétrico do Módulo MEP

O módulo MEP, correspondente aos módulos que possuem área molhada, foi dimensionado considerando cômodos de banheiro, cozinha e área de serviço. A iluminação foi ajustada da mesma maneira daquela indicada no Módulo Geral, uma vez que ao manter um circuito individual para a carga de iluminação, de 1100W, é possível prever a utilização do módulo para qualquer atividade e ainda suprir a iluminação externa quando necessário.

Para o dimensionamento das tomadas de uso geral considerou-se a divisão do módulo em quatro partes sendo duas com áreas menores de 6,20m² determinadas como banheiros, e duas área de 12,41m² cada, sendo uma área de serviço e uma cozinha. Através da NBR 5410:2008 levantou-se uma demanda de seis tomadas de 600W e quatro tomadas de 100W, correspondentes à potência de 4000W em todo o módulo. Já para as tomadas especiais determinou-se que um módulo MEP deveria ser capaz de suprir a demanda de dois chuveiros, um forno, um microondas, uma geladeira, uma máquina de lavar e, para as regiões com voltagem de 127V, prever uma tomada com potência de 600W a uma voltagem de 220V.

Assim como no Módulo Geral, os circuitos do Módulo MEP, foram dimensionados seguindo as recomendações da ABNT NBR 5410 e da Portaria nº 456, de 29 de novembro de 2000, estabelecida pela ANEEL art. 49 tópico III, totalizando 13 circuitos, onde um

corresponde à iluminação, seis às tomadas de uso geral, e seis às tomadas de uso especial, como indicado na Tabela 5.2.1 abaixo.

Tabela 5.2.1 - Circuitos elétricos do Módulo MEP com voltagem de 127V

Circuitos - Módulo MEP						
Circuito	Potência (W)	Voltagem (V)	Corrente (A)	Bitola do cabo (mm ²)	Disjuntor NEMA	Tipo
1	1100	127	6	1,5	10	Iluminação
2	600	127	3	2,5	10	TUG
3	600	127	3	2,5	10	TUG
4	600	127	3	2,5	10	TUG
5	600	127	3	2,5	10	TUG
6	700	127	4	2,5	10	TUG
7	900	127	5	2,5	10	TUG
8	6440	220	32	6	35	TUE
9	6440	220	32	6	35	TUE
10	1500	220	8	2,5	10	TUE
11	2100	220	11	2,5	15	TUE
12	1400	220	8	2,5	10	TUE
13	1500	220	8	2,5	10	TUE

Fonte: Dos autores (2021)

Os circuitos dimensionados com voltagem de 220V possuíram as mesmas quantidades de TUG e TUE bem como a carga de iluminação para manter a padronização dos módulos. Nesse caso, a tomada de 600W com voltagem de 220V, prevista nas tomadas especiais em regiões com voltagem de 127V, foi mantida como um adicional no módulo. Assim, o dimensionamento dos circuitos com voltagem de 220V obteve os valores indicado na Tabela 5.2.2.

Tabela 5.2.2 - Circuitos elétricos do Módulo MEP com voltagem de 220V

Circuitos - Módulo MEP						
Circuito	Potência (W)	Voltagem (V)	Corrente (A)	Bitola do cabo (mm ²)	Disjuntor NEMA	Tipo
1	1100	220	6	1,5	10	Iluminação
2	600	220	3	2,5	10	TUG
3	600	220	3	2,5	10	TUG
4	600	220	3	2,5	10	TUG
5	600	220	3	2,5	10	TUG
6	700	220	4	2,5	10	TUG
7	900	220	5	2,5	10	TUG
8	6440	220	32	6	35	TUE
9	6440	220	32	6	35	TUE
10	1500	220	8	2,5	10	TUE
11	2100	220	11	2,5	15	TUE
12	1400	220	8	2,5	10	TUE
13	1500	220	8	2,5	10	TUE

Fonte: Dos autores (2021)

Determinou-se, então, o uso de um quadro de distribuição com pelo menos 24 disjuntores, já que serão utilizados 23 deles, sendo 19 de modo ativo e 4 reservas, como indicado na tabela 5.2.3, dimensionados segundo a NBR 5410:2008, para as regiões com voltagem de 127V.

Tabela 5.2.3 - Quadro de distribuição do Módulo MEP, regiões com voltagem 127V.

Quadro de Distribuição - Módulo MEP			
Disjuntores Ativos	Disjuntores Reserva	Total de Disjuntores	Quadro de distribuição
19	4	23	24 disjuntores

Fonte: Dos autores (2021)

As regiões com voltagem de 220V seguiram os valores de disjuntores indicado na Tabela 5.2.4.

Tabela 5.2.4 - Quadro de distribuição do Módulo MEP, regiões com voltagem 220V.

Quadro de Distribuição - Módulo MEP			
Disjuntores Ativos	Disjuntores Reserva	Total de Disjuntores	Quadro de distribuição
26	4	30	36 disjuntores

Fonte: Dos autores (2021)

5.2.3. Sistema elétrico geral

Devido à individualidade do sistema construtivo, a concepção elétrica geral deve ser analisada através do conjunto dos módulos, uma vez que cada um possui sua distribuição de cargas elétricas separadas. Com isso, realizou-se, o dimensionamento da alimentação de cada tipo de módulo, considerando seu uso individual, e posteriormente dimensionou-se a alimentação geral da edificação através do total de cada módulo utilizado.

Sabe-se que, nenhum equipamento elétrico é capaz de utilizar toda sua potência instalada, pois sua demanda é sempre menor àquela que chega ao aparelho. Devido a isso, através da relação entre a potência instalada e aquela demandada pelo equipamento, é possível determinar o fator de demanda do sistema que proporciona uma análise geral mais realista da concepção elétrica. O dimensionamento geral é então analisado através do uso não simultâneo dos equipamentos, reduzindo a potência total, soma da potência de todos os circuitos do sistema, através da multiplicação do fator de demanda.

Assim, ao estudar cada módulo trabalhando de maneira individual, a alimentação final do módulo geral e do módulo MEP obtiveram valores distintos, indicados nas tabelas 5.3.1 e 5.3.2 respectivamente.

Tabela 5.3.1 - Alimentação individual - Módulo Geral

Alimentação individual - Módulo Geral			
Potência total (VA)	Corrente Total (A)	Bitola (mm ²)	Disjuntor NEMA (A)
1881	4,9	0,5	10

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 5.3.2 - Alimentação individual - Módulo MEP

Alimentação individual - Módulo MEP			
Potência total (VA)	Corrente Total (A)	Bitola (mm ²)	Disjuntor NEMA (A)
11974	31,5	4	35

Fonte: Dos autores (2021)

Percebe-se que o módulo MEP possui necessidade de maior corrente elétrica devido a grande quantidade de equipamentos de alta potência que os cômodos de área molhada demandam, e é devido a isso que foram realizados dois tipos de sistema elétrico, um para

módulos sem área molhada e outro para aqueles com área molhada, a fim de diminuir a corrente total de toda a edificação.

Através do estudo individual de ambos os tipos de módulo, é possível prever a alimentação geral de qualquer edificação por meio da soma de todos os módulos utilizados na mesma. Ou seja, para a edificação estudada no atual trabalho, a alimentação elétrica geral será dada pela influência de três módulos gerais e três módulos MEP em uma região com voltagem de 127V, como apresentado na Tabela 5.3.3, a seguir.

Tabela 5.3.3 - Alimentação geral da edificação

Voltagem (V)	Nº de Módulo geral	Nº de Módulo MEP	Disjuntor Geral			
			Potência total (VA)	Corrente Total (A)	Bitola (mm ²)	Disjuntor NEMA (A)
220	1	1	13855	36,4	4	50

Fonte: Dos autores (2021)

A partir do quadro de distribuição disposto em cada módulo é possível distribuir os equipamentos eletrônicos e a iluminação ao longo de toda edificação, respeitando a carga máxima de cada circuito admitida no sistema elétrico. Assim, tal distribuição é feita em projeto, seguindo as necessidades do cliente, tendo em vista que a passagem dos eletrodutos e a instalação das tomadas e lâmpadas devem ser feitos em fábrica. É importante salientar que, embora a instalação elétrica seja realizada ‘in site’, é possível realizar novas instalações a longo prazo, com eletrodutos externos, desde que a carga disponível nos circuitos seja respeitada.

No Apêndice C é possível visualizar com mais detalhes a concepção elétrica do projeto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos aspectos analisados no trabalho, pode-se concluir que o sistema construtivo proposto tem potencial para aplicação prática, uma vez que foi possível desenvolver e avaliar os sistemas estruturais, de instalações, e um modelo arquitetônico adaptável a diferentes utilizações dentro das características fundamentais de um sistema modular.

A adoção da exoestrutura possibilitou a concepção de dois modelos significativamente distintos; a residência de dois pavimentos e o edifício de treze pavimentos, utilizando-se módulos essencialmente similares. Fato que demonstra a possível variedade de aplicações do sistema, que pode trazer uma significativa redução de complexidade de implementação de uma linha de produção.

Há, portanto, a necessidade de estudos de viabilidade econômica, tendo em vista o custo inicial da implantação de uma fábrica e aquisição dos equipamentos necessários, o transporte dos módulos já fabricados e a disponibilidade de materiais e mão de obra. Tais estudos são sugeridos como temas para futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Portaria n° 465. Brasília, DF: ANEEL; Brasília, DF: MME, 2000

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação Predial de Água Fria. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198**: Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160**: Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário – Projetos e Execução. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações Prediais de Águas Pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT **NBR 5444**: Símbolos gráficos para instalações elétricas prediais. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT **NBR ISO/CIE 8995**: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interio. Rio de Janeiro, 2013.

AUTODESK, **Demystifying Generative Design: For Architecture, Engineering, and Construction**. 1. ed. San Rafael, California, 2018.

AUTODESK, **Dynamo**. Version 1.3.3.4111

AUTODESK, **Revit 2021**. Version 2021.1

BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON JUNIOR, E. Russel; DEWOLF, John T.; MAZUREK, David F.. **Mecânica dos Materiais**. Tradução de José Benaque Rubert, Walter Libardi. 5 ed. New York: The McGraw-Hill Companies, 2008. Disponível em: <http://souexatas.eng.br/livro-em-pdf-de-resistencia-dos-materiais-mecanica-dos-materiais-ferdinand-p-beer-e-russel->

johnston-jr-john-t-dewolf-david-f-mazurek-quinta-edicao-5ed-editora-mcgrawhill/, Acesso: 25 de fevereiro de 2021.

BUILDIN, Brock Commons, da University of British Columbia é a torre de madeira mais alta do mundo, com 53m de altura, 2016, Disponível em: <
<https://www.buildin.com.br/brock-commons-da-university-of-british-columbia-e-torre-de-madeira-mais-alta-do-mundo-com-53-m-de-altura/>> (Acesso em 02/02/2021)

BOUWCENTRUM = CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO. Plano de implantação da Coordenação Modular. volume 1, 2, 3 e 4. Brasil: BNH/CBC. 1972. 4v

COSTA, Ana Alexandra Pontes da. Construção de edifícios com Cross Laminated Timber (CLT). Trabalho de conclusão de curso (mestrado) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2013

CROSSLAM. Cross Laminated Timber: Informações Técnicas. Suzano: Crosslam, 2016

GALERIA DA ARQUITETURA; **Edifício Amata**. Disponível em: <
https://www.galeriadaarquitetura.com.br/projeto/triptyque-architecture_/edificio-amata/4664/>
(Acesso em 02/02/2021)

GANIRON JR, T. U; ALMARWAE, M. Prefabricated Technology in a Modular House. **International Journal of Advanced Science and Technology**. Buraydah, v. 73, n. 1, p. 51-74, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14257/ijast.2014.73.04>>

G1 Economia; **Brasil atinge 211,8 milhões de habitantes, diz IBGE**; São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2020/08/27/brasil-atinge-2117-milhoes-de-habitantes-diz-ibge.ghtml>> (Acesso em 02/02/2021)

KRUG, E.G. et al. World report on violence and health. Geneva: **World Health Organization**, 2002.

MELLO, V. F. L. de; Uma visão geral sobre modulação na construção civil. Monografia (especialização) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2010.

NAHMENS, I; IKUMA, L. H. Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding. **Journal of Architectural Engineering**, Baton Rouge, v. 18, n. 2, p. 155-163, 2012.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **Design for Modular Construction: An Introduction for Architects**. Washington, 2019. Disponível em: <<http://www.nibs.org>>

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **Off-Site Construction Implementation Resource: Getting the Most Out of Off-Site Construction: Steps for Success**. Washington, 2019. Disponível em: <<http://www.nibs.org>>

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **Report of the Results of the 2015 Off-Site Construction Industry Survey of Software Usage**. Washington, 2015. Disponível em: <<http://www.nibs.org>>

NISSEN Henrik. Construcción industrializada y diseño modular. Noruega: Blume. 1976
MACEDO, Danilo Matoso; SILVA, Elcio Gomes da. Classicismo, Coordenação Modular e Habitação. Grupo de Pesquisa MOM – Escola de Arquitetura UFMG, Belo Horizonte, 2007 (Textos acadêmicos).

NOGUCHI, M. The Effect of the Quality-Oriented Production Approach on the Delivery of Prefabricated Homes in Japan. **Journal of Housing and the Built Environment**. Quebec, v. 18, n. 1, p. 353-364, 2003.

NOTA TÉCNICA IPEA ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO EM SITUAÇÃO DE RUA NO BRASIL (SETEMBRO 2012 A MARÇO DE 2020) – Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/nota_tecnica/200612_nt_disoc_n_73.pdf> (Acesso em 01/02/2021)

OOPEAA, Puukuokka Housing Block, Disponível em: <<https://oopeaa.com/project/puukuokka-housing-block/>> (Acesso em 02/02/2021)

POSSEBON, Ennio. O modulator de le Corbusier: Forma , proporção e medida na arquitetura. São Paulo. 2004

SMITH, R. E. **Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction**. 1 ed. New Jersey: Wiley, 2010.

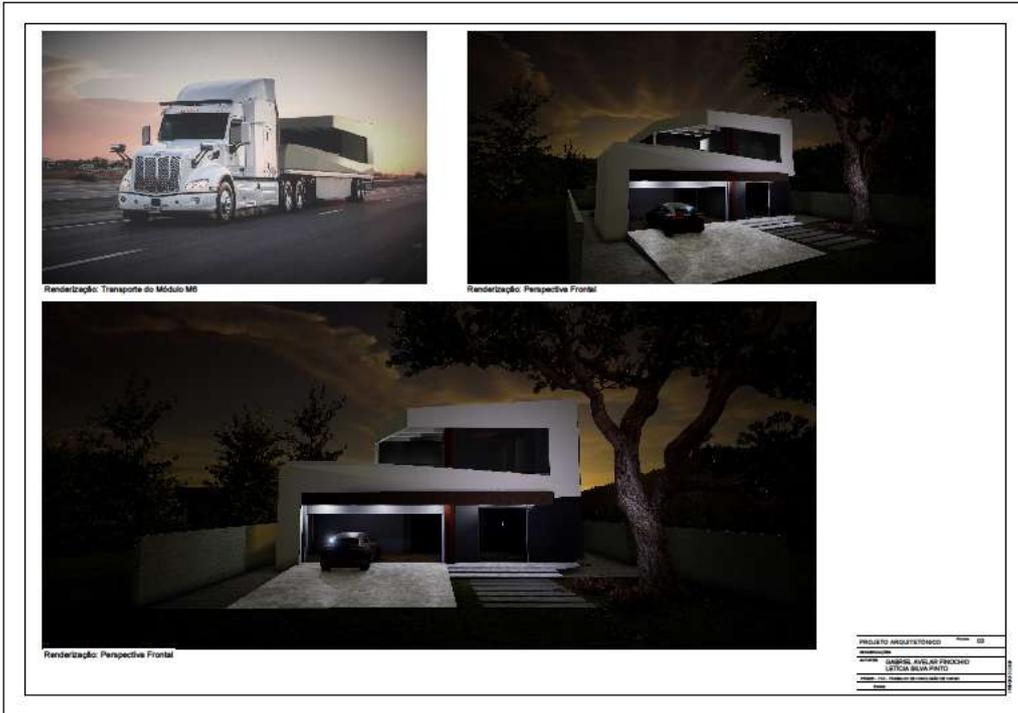
STASIUK, D. Design Modeling Terminology. [S.l.: s.n.], 201?

SOUZA, Victor Hugo Barros de. Arquitetura, Sustentabilidade e Coordenação Modular. Dissertação (mestrado) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2011

WAUGH THISTLETON ARCHITECTS; **Murray Grove**; Disponível em: <<https://waughthistleton.com/murray-grove/>> (Acesso em 02/02/2021)

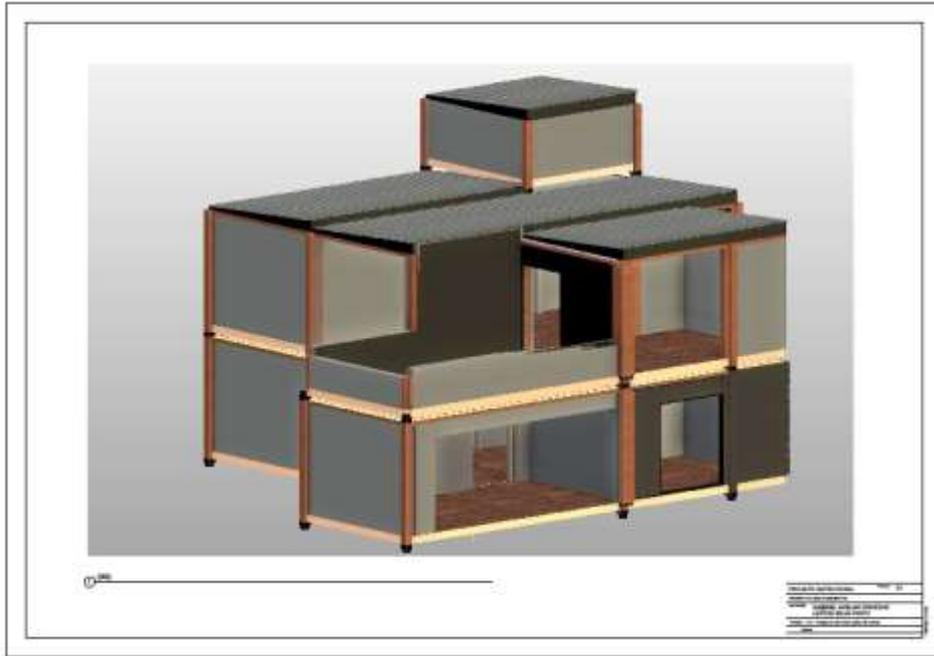
WRABER, I. K. **Prefab Quality: Architectural Quality in Danish Prefab Wooden Dwellings**. 2009. 265 p. Dissertação (PhD) - Aalborg Universitet, Aalborg, 2009.

Folha 3: Renderizações



APÊNDICE B – Projeto Estrutural

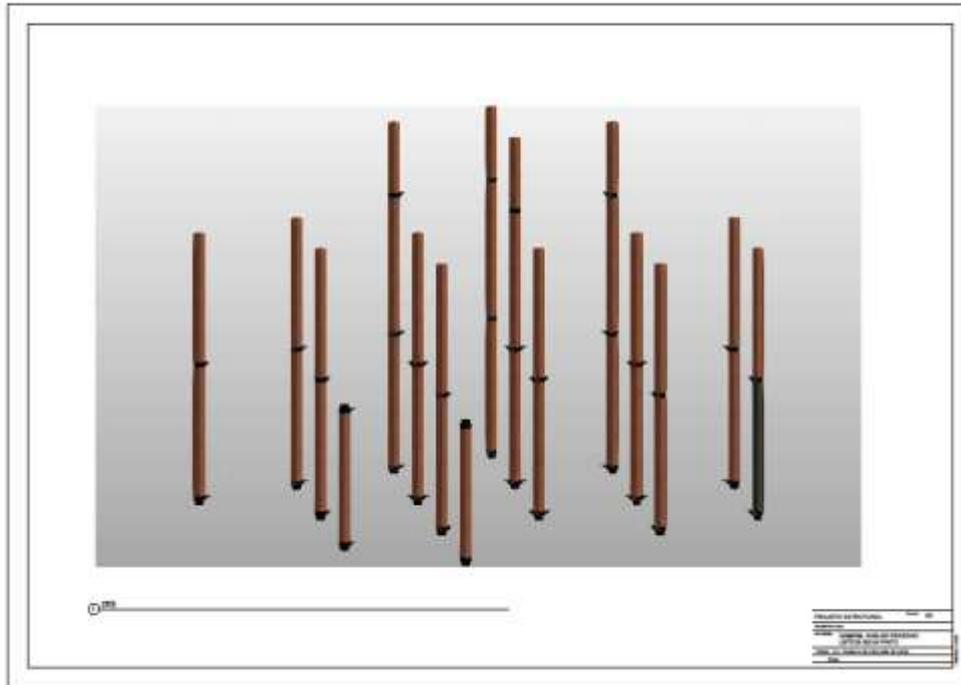
Folha 1: Sem Acabamentos



Folha 2: Estrutura Global



Folha 3: Exoestrutura

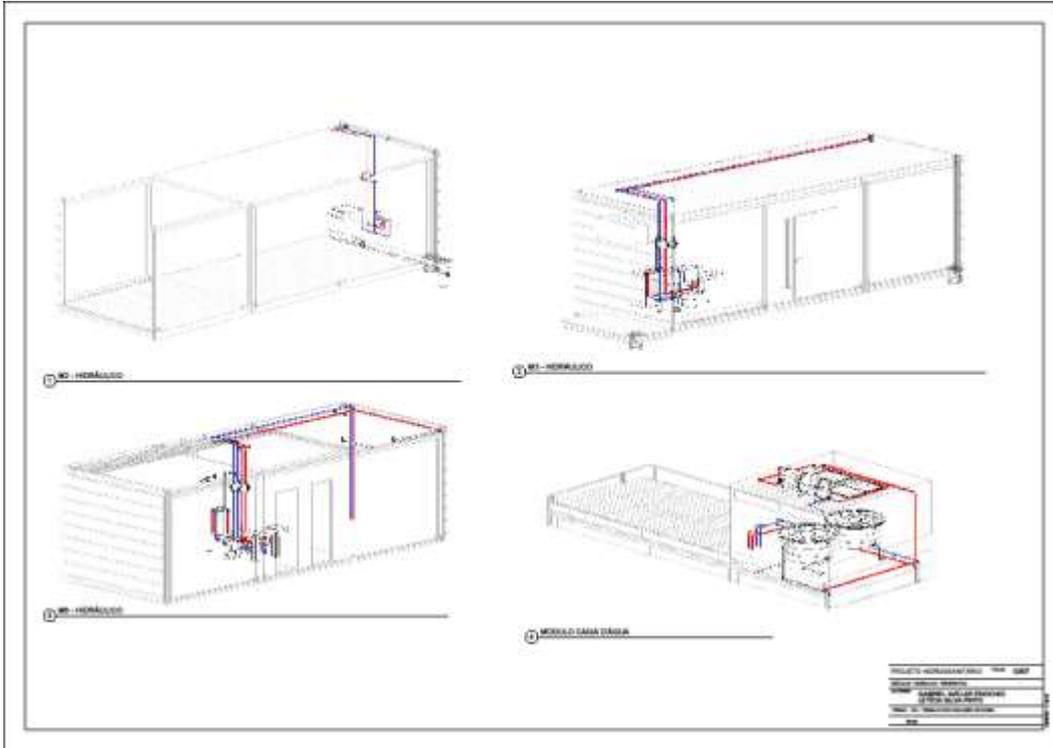


Folha 4: Montagem Módulos 1, 4 e 7

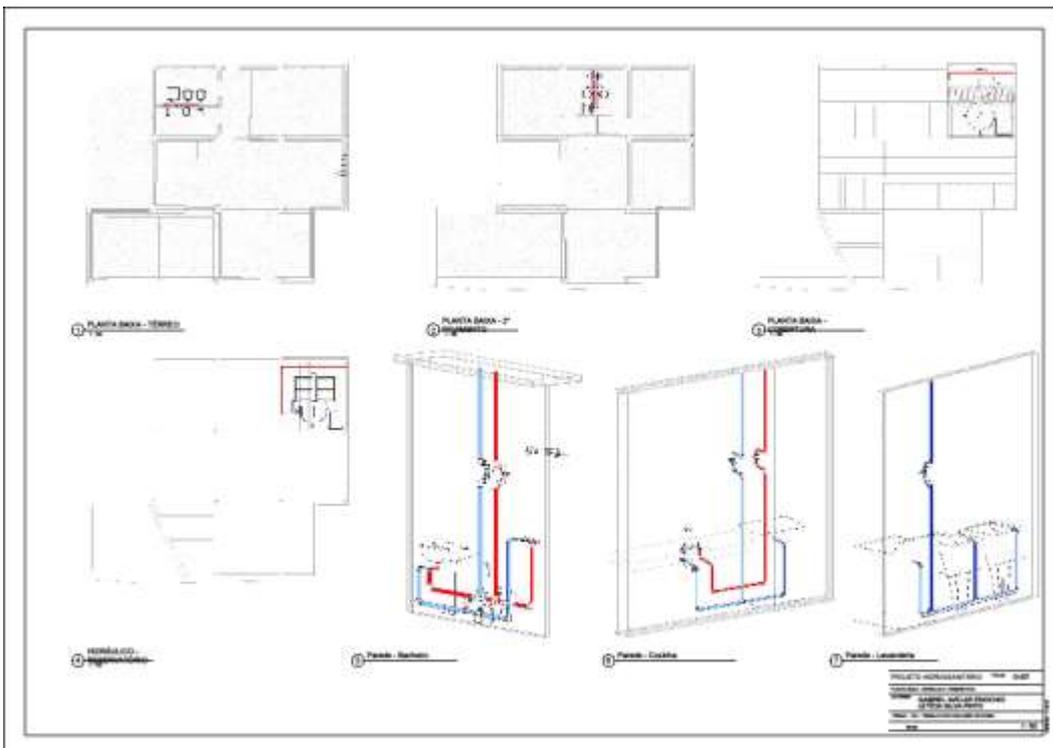


APÊNDICE D – Projeto Hidráulico

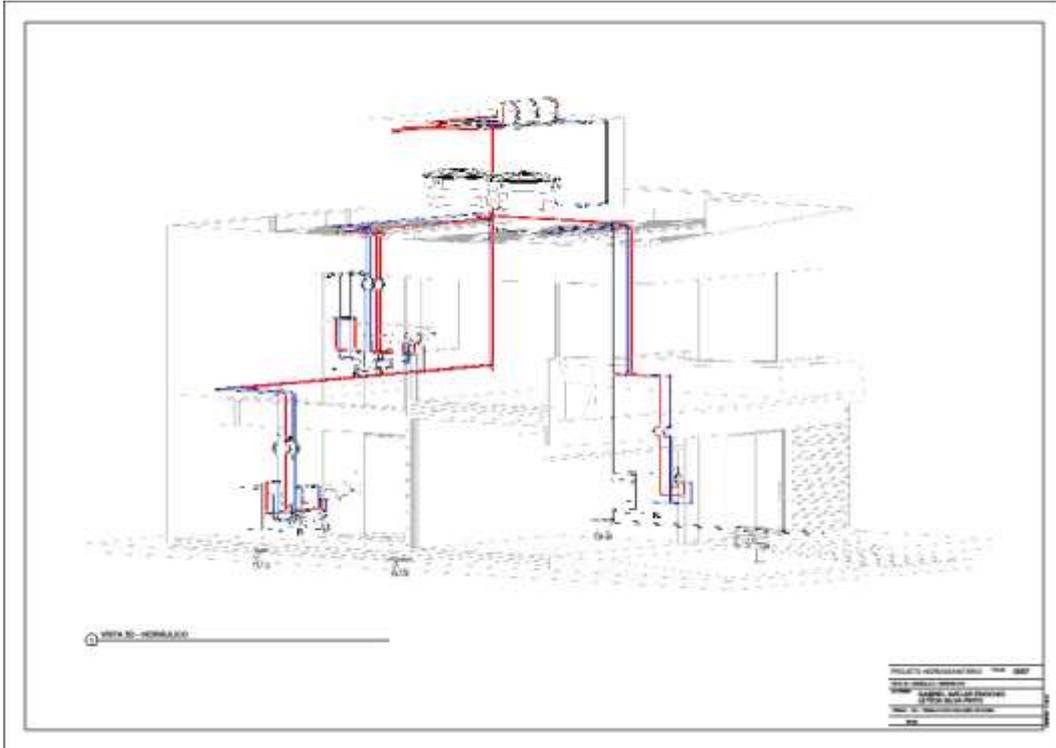
Folha 1: Módulos – Hidráulico



Folha 2: Planta Baixa – Hidráulico

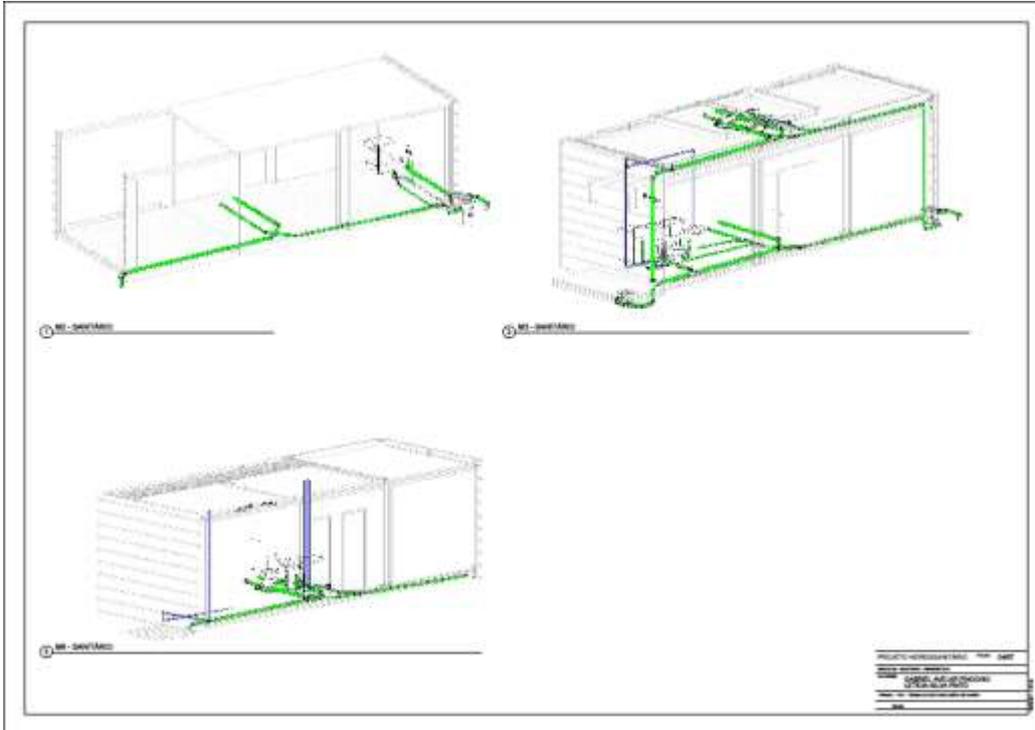


Folha 3: Vista 3D – Hidráulico

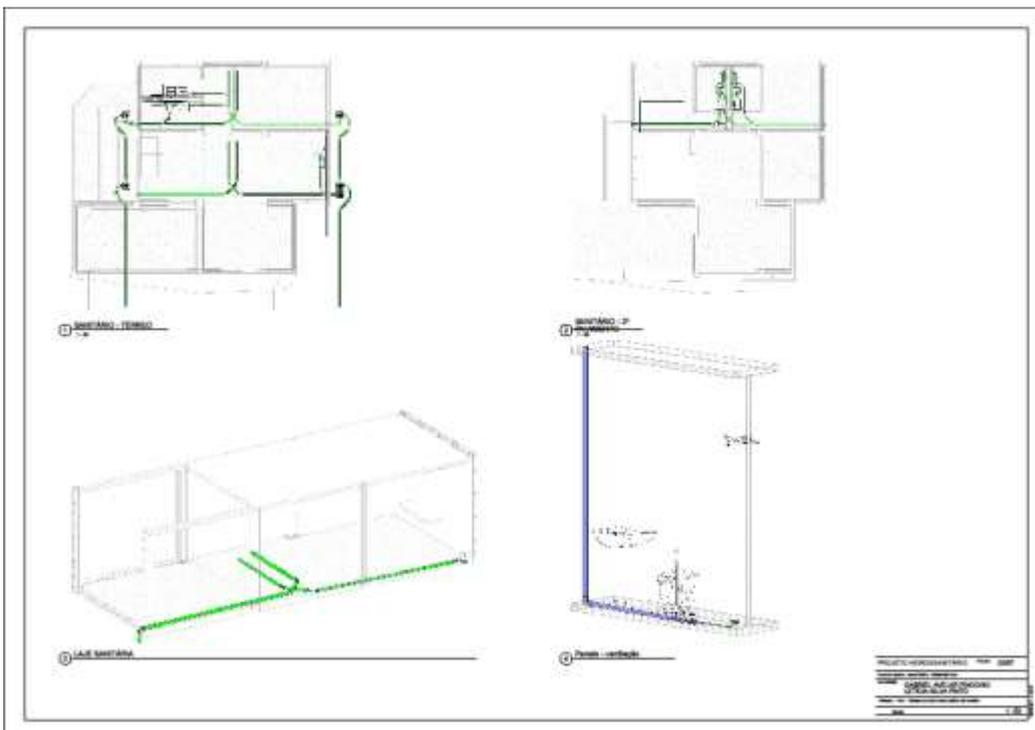


APÊNDICE E – Projeto Sanitário

Folha 1: Módulos – Sanitário



Folha 2: Planta Baixa – Sanitário



Folha 3: Vista 3D – Sanitário

