

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

NICHOLAS SILVESTRIN STRASSBURG

SISTEMAS DE FIXAÇÃO E MONTAGEM IN LOCO DAS CONSTRUÇÕES
MODULARES VOLUMÉTRICAS

São Leopoldo

2021

NICHOLAS SILVESTRIN STRASSBURG

**SISTEMA DE FIXAÇÃO E MONTAGEM IN LOCO DAS CONSTRUÇÕES
MODULARES VOLUMÉTRICAS**

Artigo apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador(a): Prof.^a Alessandra Teribele

São Leopoldo

2021

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar este trabalho a todas aqueles que fizeram parte da minha jornada acadêmica e profissional.

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, Adirson e Luciane, assim como as minhas irmãs, Monique e Isadora, pelo incentivo diário a seguir atrás daquilo que almejo.

Meus agradecimentos vão, também, a Professora Alessandra Teribele, minha orientadora. Obrigado pela confiança, compreensão, dedicação e tempo para realização deste trabalho.

Aos meus familiares, em especial à minha Avó, Olívia Strassburg, por me ensinar desde cedo a importância do estudo, da educação e por me proporcionar tanto amor e carinho.

A Amanda, pelo carinho, atenção, conselhos e por me proporcionar tanta força de vontade em alcançar meus objetivos.

Aos meus colegas de trabalho que tanto contribuíram para meu crescimento profissional.

Aos professores da UNISINOS por todo conhecimento compartilhado durante minha graduação.

Aos meus amigos, que de certa forma contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

RESUMO

Construções modulares volumétricas apresentam vantagens ao serem comparadas aos métodos construtivos tradicionais. O grande diferencial está, sem dúvidas, na economia de tempo, com obras finalizadas em curtos prazos, devido a grande parte da estrutura ser construída em ambiente controlado, a indústria, o que evita imprevistos de execução, independe de condições climáticas e utiliza processos repetitivos de produção. Contudo, o cenário da industrialização ainda apresenta alguns desafios no canteiro de obra como, por exemplo, a utilização de um modelo adequado de conexão das unidades volumétricas, sem utilização de soldas, capaz de garantir rigidez à estrutura, assim como permitir acesso durante a fase de instalação. O presente trabalho apresenta, inicialmente, a definição dos termos relacionados a construção modular volumétrica, assim como apresenta diversas técnicas de conexão entre módulos volumétricos utilizadas por diferentes autores ao longo dos anos, durante o processo de montagem in loco das estruturas, evidenciando suas vantagens e desvantagens individuais. Como objetivo, esta pesquisa busca comparar, através de critérios de acesso e quantidade de peças, dois conjuntos conectivos distintos, atualmente atualizados para construções modulares volumétricas. O uso de ferramentas digitais, assim como peças físicas que simulam tais conexões, permitiram avaliar os critérios propostos e o estudo concluiu que os modelos conectivos avaliados se diferem, cada um com suas vantagens próprias características, sendo estas apresentadas ao decorrer do trabalho.

Palavras-chave: Conjuntos conectivos; Montagem; Chassi; Industrialização; Acesso conectivo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação de pré-fabricados.	14
Figura 2 - Estruturas metálicas.....	19
Figura 3 - Presença e ausência de faces em módulos volumétricos.....	19
Figura 4 - Instalações elétricas e hidrossanitárias.....	21
Figura 5 - Sistema de fixação para içamento dos módulos.....	24
Figura 6 - Conexão horizontal com chapas metálicas entre módulos volumétricos. .	28
Figura 7 - Conexão vertical com pino guia.	29
Figura 8 - Conexão vertical com travas manuais.	30
Figura 9 - Conexão vertical com tirantes metálicos.....	30
Figura 10 - Tipos de juntas conectivas.....	32
Figura 11 – Modelos físicos e digitais utilizados para aplicação da metodologia.	35
Figura 12 - Definição de leiaute.....	38
Figura 13 - Juntas conectivas geradas a partir de leiaute definido.....	40
Figura 14 - Elementos estruturais modelo Lawson.	42
Figura 15 - Vista explodida e montada modelo Lawson.....	43
Figura 16 - Detalhamento vigas modelo Lawson.	44
Figura 17 - Casa Taft.	45
Figura 18 - Detalhes casa Taft.	46
Figura 19 - Módulo volumétrico originalmente proposto por Kovel.....	46
Figura 20 - Alteração forma geométrica modelo Kovel.	47
Figura 21 - Detalhe conexão viga pilar modelo Kovel.	48
Figura 22 - Detalhe acesso conectivo modelo Lawson.	49
Figura 23 - Detalhe acesso conectivo modelo Kovel.....	50
Figura 24 - Posicionamento do piso e do teto modelo Kovel.	51
Figura 25 - Acesso conectivo bloqueado devido ao piso.	51
Figura 26 - Acesso conectivo em juntas de canto.	52
Figura 27 - Juntas conectivas externas modelo Lawson.....	53
Figura 28 - Acesso conectivo bloqueado em juntas externas modelo Kovel.....	54
Figura 29 - Acesso conectivo bloqueado em juntas internas modelo Lawson.	55
Figura 30 - Acesso conectivo em juntas internas modelo Kovel.	56
Figura 31 - Acesso conectivo bloqueado devido ao teto.	57

Figura 32 – Numeração peças agregadas ao módulo volumétrico 130x260 modelo Lawson.....	58
Figura 33 - Numeração peças agregadas ao módulo volumétrico 260x260 modelo Lawson.....	60
Figura 34 - Numeração peças agregadas ao edifício modelo Lawson.....	62
Figura 35 - Transporte típico modelo Kovel.	64
Figura 36 - Conexões horizontais entre módulos volumétricos modelo Kovel.	65
Figura 37 - Transporte definido para modelo Kovel.	66
Figura 38 - Estrutura metálica transportada modelo Kovel.	66
Figura 39 - Numeração peças agregadas módulo volumétrico modelo Kovel.	67
Figura 40 - Numeração peças agregadas ao edifício modelo Kovel.	69
Figura 41 - Modelo Lawson - extremidade do chassi metálico.....	81
Figura 42 - Modelo Lawson – detalhe de canto do módulo volumétrico.....	82
Figura 43 - Modelo Lawson - detalhe extremidade interna da estrutura.	83
Figura 44 - Modelo Lawson - módulos volumétricos posicionados lado a lado.	84
Figura 45 - Modelo Lawson - detalhe interno módulos volumétricos posicionados lado a lado.....	85
Figura 46 - Modelo Lawson - detalhe interno módulos volumétricos posicionados lado a lado (2).	86
Figura 47 - Modelo Lawson - detalhe posicionamento horizontal de três módulos volumétricos.	87
Figura 48 - Modelo Lawson – Detalhe conexão horizontal entre quatro módulos volumétricos.	88
Figura 49 - Modelo Lawson – Detalhe vista de cima de conexão horizontal entre módulos volumétricos.....	89
Figura 50 - Modelo Kovel - detalhe extremidade do módulo volumétrico.	90
Figura 51 - Modelo Kovel - detalhe interno da extremidade do módulo volumétrico.	91
Figura 52 - Modelo Kovel - extremidade de chassi metálico.	92
Figura 53 - Modelo Kovel - Detalhe extremidade de chassi metálico.....	93
Figura 54 - Modelo Kovel - Detalhe conexão horizontal.	94
Figura 55 - Modelo Kovel - detalhe estrutura desmontada.....	95
Figura 56 - Modelo Kovel - Detalhe conexão horizontal para quatro módulos volumétricos.	96
Figura 57 - Modelo Kovel - detalhe conjunto desmontado.	97

Figura 58 - Modelo Kovel - detalhe conexão horizontal de quatro módulos
volumétricos.98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantificação peças agregadas ao módulo volumétrico 130x260 modelo Lawson.....	59
Tabela 2 - Quantificação peças agregadas ao módulo volumétrico 260x260 modelo Lawson.....	61
Tabela 3 - Quantificação peças agregadas ao edifício modelo Lawson.....	63
Tabela 4 - Quantificação peças agregadas ao módulo volumétrico modelo Kovel. ..	68
Tabela 5 - Quantificação peças agregadas ao edifício modelo Kovel.	70
Tabela 6 - Resumo comparativo do acesso conectivo entre modelos.	72
Tabela 7 - Resumo comparativo quantidade de peças entre modelos.....	73

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AET	Autorização Especial de Trânsito
AIA	<i>American Institute of Architects</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CMV	Construção Modular Volumétrica
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DfMA	<i>Design for Manufacture and Assembly</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
NRB	Norma Brasileira de Regulação
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
PFF	Perfil Formado a Frio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Tema.....	11
1.2 Delimitação do tema	11
1.3 Objetivos	12
1.4 Justificativas.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Construções Modulares Volumétricas	14
2.1.1 Contexto histórico.....	15
2.1.2 Indústria x Canteiro	16
2.2 Etapas Construtivas.....	17
2.2.1 Projeto	17
2.2.2 Produção dos módulos volumétricos.....	18
2.2.2.1 Modelos de chassis metálicos.....	18
2.2.2.2 Instalações elétricas e hidrossanitárias	21
2.2.2.3 Proteção ao fogo	22
2.2.2.4 Revestimentos.....	22
2.2.3 Transporte	23
2.2.3.1 Transporte horizontal.....	23
2.2.3.2 Transporte vertical.....	24
2.2.4 Montagem in loco	25
2.2.4.1 Ordem de montagem.....	25
2.2.4.2 Gestão de materiais	26
2.2.4.3 Conjuntos conectivos	26
2.2.4.3.1 Conexão horizontal.....	27
2.2.4.3.2 Conexão vertical.....	28
2.2.4.3.3 Juntas conectivas	31
2.2.5 Acabamentos.....	32
2.2.6 Desmontagem	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 Estudo Comparativo	35
3.2 Critérios de avaliação	36
3.2.1 Acesso.....	36
3.2.2 Indústria x canteiro	37

3.3 Definição de leiaute	37
3.3.1 Juntas conectivas	39
3.3.1.1 Juntas de canto	40
3.3.1.2 Juntas externas	40
3.3.1.3 Juntas internas	41
3.4 Objetos de estudo	41
3.4.1 Modelo Lawson	41
3.4.2 Modelo Kovel.....	44
3.5 Aplicação da metodologia	48
3.5.1 Levantamento Acesso	48
3.5.2 Levantamento indústria x canteiro.....	57
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	71
4.1 Análise acesso	71
4.2 Análise indústria x canteiro.....	72
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS.....	77
APÊNDICES	81
APÊNDICE A – DETALHES MODELO LAWSON DESENVOLVIDO PELO AUTOR	81
APÊNDICE B – DETALHES MODELO KOVEL DESENVOLVIDO PELO AUTOR .	90

1 INTRODUÇÃO

Em meio à diversos cenários encontrados no ramo da Engenharia Civil, as construções modulares vêm ganhando espaço no mercado. Isto porque, assim como os demais setores industriais, existe uma tendência para a utilização de processos automatizados. (AIA ,2019).

A alta demanda por moradias e estabelecimentos, unida à existência de uma mão de obra qualificada, classificam os países em que a construção modular se desenvolve e cresce da melhor forma. Com isso, podem-se citar países como Inglaterra e Estados Unidos, por exemplo. Isto porque estas regiões encontram-se com déficit habitacionais e possuem um alto custo de mão de obra. Enquanto isso, o Brasil também possui grande demanda habitacional, porém o cenário brasileiro utiliza uma mão de obra barata. Apesar disso, este método construtivo não deixa de ser uma possibilidade revolucionária no país. (DECHEN, 2020).

Construir exige, entre outros fatores, dinheiro e tempo. Comumente obras encontram-se atrasadas, pois não são entregues no prazo estipulado devido processos burocráticos, condições climáticas, imprevistos em obra, problemas com mão de obra e planejamento incorreto. Pensando nisso, as construções modulares volumétricas chegam ao mercado da construção civil com o intuito de otimizar tempo, atendendo, também, aqueles projetos que necessitam de cronogramas enxutos. (CAO, 2021). Segundo Horta e Haruf (2015), a inspiração em construir em módulos volumétricos deriva-se de grandes nomes da arquitetura, como Le Corbusier e Jean Prouvé.

Sabendo que a construção civil é o setor que mais gera impactos ambientais, assim como o setor que mais utiliza matérias primas, existe, hoje em dia, uma preocupação muito grande em relação à sustentabilidade dos processos construtivos. (AMORIM, 2016). Neste sentido, a Construção Modular Volumétrica (CMV) se destaca, pois trata-se de um modelo com possibilidade de desmontagem e relocação, dispensando a utilização de nova matéria-prima. O fato de ser produzido em fábrica contribui, também, para um menor desperdício de materiais, tornando-se mais sustentável em comparação às construções tradicionais. (AIA, 2019).

As construções modulares volumétricas possuem requisitos logísticos que tornam os projetos de 30-40% mais leves, além de reduzir significativamente a poluição sonora do ambiente. (MILLS; GROVE; EDGAN, 2015).

Por outro lado, durante o processo de construção, alguns problemas tendem a ocorrer. Fato se dá devido à preocupação de projetistas, em muitos casos, somente em relação ao desempenho estrutural da edificação, não presumindo o que poderia ocorrer durante a etapa de montagem dos módulos. (PANG *et al.*, 2016).

Por tratar-se de um método construtivo relativamente novo, alguns desafios ainda são característicos deste sistema. Entre eles, a forma como os módulos metálicos serão conectados. Fato ocorre devido à dificuldade de acessar os conjuntos conectivos, em determinados casos, durante a instalação, sem a necessidade de criar aberturas no revestimento das unidades, visto que, muitas vezes, os módulos vêm praticamente prontos de fábrica, inclusive, com revestimento.

Visando isso, o presente trabalho utiliza como metodologia um estudo comparativo de análise de conexões durante a montagem em canteiro de obras entre modelos existentes. Esta análise foi realizada sobre critérios de acesso dos conjuntos conectivos para fixação da estrutura in loco, assim como realizada análise quantitativa de peças agregadas ao módulo volumétrico em ambiente fabril e peças agregadas ao edifício, em canteiro de obras.

1.1 Tema

Análise dos conjuntos conectivos das construções modulares volumétricas em canteiro de obra, visando avaliar a quantidade de peças e serviços realizadas in loco e na indústria, assim como analisar a acesso da conexão de módulos volumétricos com diferentes características.

1.2 Delimitação do tema

Por tratar-se de um amplo cenário, o presente trabalho teve seu estudo voltado somente as construções modulares volumétricas, descartando os estudos que envolvem os demais pré-fabricados. Além disso, os estudos também se limitaram aos módulos volumétricos fabricados em aço, descartando os modelos fabricados em concreto ou madeira. O transporte dos chassis metálicos ao canteiro de obra é premissa deste sistema, visto que todos os módulos volumétricos são produzidos fora do canteiro de obras. Contudo, o transporte terrestre limita as

dimensões do módulo volumétrico. Por este motivo, o presente trabalho teve como estudo, somente, os módulos com possibilidade de transporte em território nacional, segundo o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).

Dentro do tema de construções volumétricas fabricadas em aço, o estudo teve seu foco nos processos construtivos, abordando, principalmente, os elementos de ligação entre os módulos. Com isso, questões relacionadas a esforços, cargas e cálculos estruturais não foram abordadas, visto que foram analisados conjuntos conectivos já existentes.

Além disso, o estudo comparativo entre conjuntos conectivos foi realizado sobre um leiaute previamente definido. Com isso, foram analisadas somente as conexões entre módulos volumétricos, dispensando detalhamentos dos conjuntos conectivos entre módulos volumétricos e estruturas complementares executadas em canteiro de obras, como, por exemplo, as fundações.

Por fim, o estudo se limitou a sistemas parafusados de conexão entre os componentes metálicos, dispensando a utilização de conexões soldadas em canteiro de obras.

1.3 Objetivos

O presente estudo tem por objetivo analisar de forma comparativa dois conjuntos conectivos durante o processo de montagem, em canteiro de obras, de estruturas metálicas volumétricas pré-fabricadas, utilizando sistemas parafusados de fixação, de modo que a identificar possíveis problemas executivos. Os critérios utilizados são de acesso ao local de fixação e quantidade de peças na indústria e no canteiro de obras.

1.4 Justificativas

O tema da pesquisa foi definido em função do crescimento da construção modular no país, despertando interesse no assunto. Segundo Ricardo Mateus, Engenheiro Civil e fundador da empresa Brasil ao Cubo, a pandemia da Covid-19 modificou parte do cenário da construção civil, no que se diz respeito ao prazo e controle de obras. Esta exigência foi atendida através da construção off-site, onde as

obras são entregues em tempos reduzidos e com maior segurança nos canteiros. (BRASIL AO CUBO, 2020)

A utilização de módulos pré-fabricados na construção civil possui diversas vantagens em relação à construção convencional, conforme descritas no presente estudo. Porém, de acordo com pesquisas e conversas com profissionais que atuam no ramo das construções modulares volumétricas, observou-se a necessidade de um aperfeiçoamento das técnicas utilizadas para conectar os chassis metálicos. Fato é que algumas empresas utilizam, por exemplo, soldas em canteiro de obra para efetuar a ligação das estruturas pré-fabricadas.

Apesar de uma economia de material, as ligações soldadas são utilizadas para estruturas permanentes, pois impossibilitam o processo de desmontagem. Além disso, a utilização de soldas para conectar a estrutura possui desvantagens como a necessidade de energia elétrica em canteiro de obras e uma mão de obra qualificada para realizar o serviço. (ALMEIDA, 2014).

Sabendo disso, o presente estudo se justifica por analisar as ligações modulares volumétricas através da utilização de chapas, parafusos, arruelas, porcas e demais componentes de fixação a seguir descritos, buscando comparar técnicas conectivas destes elementos tridimensionais, facilitando assim o seu processo de montagem em canteiro de obras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

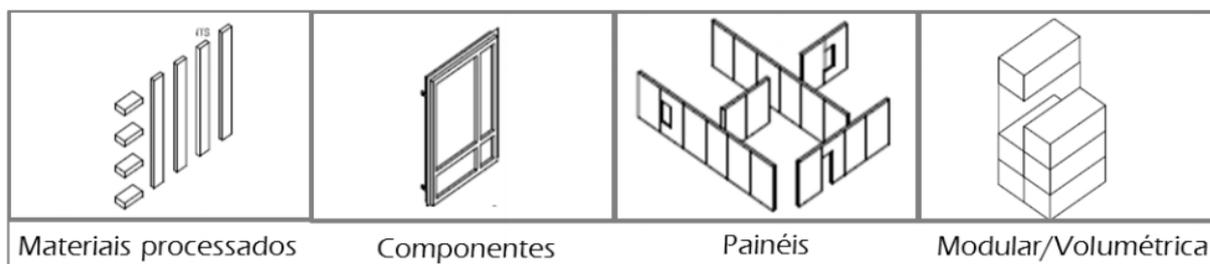
Nesta etapa do trabalho serão exploradas as menções já realizadas por outros autores sobre a construção modular e seus sistemas de fixação. Portanto, serão apresentadas as referências nas quais o presente estudo está baseado.

2.1 Construções Modulares Volumétricas

O termo modular pode ter variações quanto ao seu conceito, porém, em todos os casos, está vinculado a um componente independente e bem definido. A construção modular se refere a obras construídas gerando estruturas volumétricas, fabricadas na indústria, transportados até o canteiro e erguidas para montagem, denominados módulos. (Garrison e Tweedie, 2008). Estas estruturas pré-fabricadas incluem ambientes inteiros, com parede, piso e teto. (CAO, 2021). Além disso, os módulos volumétricos podem, inclusive, ser transportados ao canteiro com todos seus acabamentos, sendo eles revestimentos, instalações elétricas, instalações hidrossanitárias e até mesmo mobiliário fixo. (AMORIM, 2016).

Os pré-fabricados podem ser divididos em grupos, sendo eles: 1) Materiais processados, como perfis de aço e/ou madeira; 2) Elementos compostos de uma edificação, como janelas; 3) Unidades Bidimensionais, como os painéis utilizados em paredes; 4) Unidades Volumétricas, módulos tridimensionais que formam seções fechadas, conforme Figura 1. (TERIBELE, 2016).

Figura 1 - Classificação de pré-fabricados.



Fonte: Teribele (2016, p. 21).

Pelo fato de ser uma estrutura pré-moldada, as construções modulares volumétricas garantem obras finalizadas em menores prazos. Comparadas ao método construtivo tradicional, em alvenaria, os pré-fabricados volumétricos

possuem características de obras entregues até seis vezes mais rápidas. (STEEL FRAME, 2021).

Segundo Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2010, p. 1) o conceito de coordenação modular é descrito como “[...] coordenação dimensional mediante o emprego do módulo básico ou de um multimódulo. [...]”. Com isso, o módulo é definido como uma medida padrão para facilitar a compatibilização de elementos e componentes da construção, sendo esta medida representada por 100 milímetros. (ABNT, 2010, p. 2).

Portanto, o termo modular pode causar ambiguidade de sentido quando empregado de maneira incorreta. O módulo volumétrico, diferentemente da coordenação modular, é definido por unidades tridimensionais produzidas parcialmente fora do canteiro de obras, que geram edificações, quando unitárias ou conectadas entre si *in loco*. (HORTA, 2021).

2.1.1 Contexto histórico

Os primeiros registros do uso de pré-fabricados na construção datam o período da Revolução Industrial, no Reino Unido. Isto porque, naquela época, as colônias produziam materiais em aço, por exemplo, e os enviavam para os grandes centros urbanos, com a finalidade de acelerar o processo de construção. (TERIBELE, 2016). Com isso, a utilização de materiais como pedras, tijolos e madeiras, considerados materiais tradicionais, passa a se simplificar, abrindo espaço para a utilização de materiais como o vidro, o anteriormente citado ferro e, posteriormente, a introdução do concreto armado. (BENÉVOLO, 1978; GYMPEL, 2001 *apud* SPADETO, 2011, p. 26).

No Brasil, a construção modular está presente há quase 20 anos, com aplicações, por exemplo, nas áreas da saúde e segurança pública, através da construção de postos de saúde e implantação de unidades da Polícia Pacificadora em comunidades, respectivamente. Apesar disso, a construção modular ainda não é comum no país, por motivos, principalmente, de modelos tradicionais bem consolidados. (AUTODOC, 2019)

Já em outros países, como na China, por exemplo, a construção modular volumétrica torna-se uma solução prática para combater o déficit habitacional, visto que o país possui uma das maiores populações do planeta. Além disso, países

asiáticos registram a utilização de construções modulares como pontos de armazenamento de alimentos e posto de saúde em casos de catástrofes naturais, como terremotos. (AUTODOC, 2019).

2.1.2 Indústria x Canteiro

A construção modular volumétrica caracteriza-se por possuir um sistema simultâneo de produção entre fábrica e canteiro. Tudo que é produzido em obra, denomina-se “on-site”, e tudo que é produzido fora, ou seja, na indústria, denomina-se “off-site”. (VISIA, 2020).

Dentre as diversas vantagens que esse sistema de construção apresenta, o tempo é a principal. Ele é reduzido, justamente, por tratar-se de uma estrutura que é construída em fábrica no mesmo momento em que o terreno é preparado. Com isso, ao finalizar o nivelamento das fundações, o sistema hidráulico e a cura do concreto, a estrutura estará pronta para ser instalada. Desta forma, estabelecimentos como hotéis e pousadas, por exemplo, podem começar a operar em curto prazo de tempo, recebendo suas receitas entre 30% e 50% mais rápido do que hotéis e pousadas construídos pela forma tradicional. (CAO, 2021).

Outra área de atuação explorada pelas construções modulares volumétricas refere-se aos ambientes escolares. Através da utilização de métodos tradicionais de edificações, o calendário escolar é impactado pela velocidade de construção, interferindo nas atividades escolares e causando incômodos para pais, professores e alunos. Com isso, a construção modular volumétrica é uma alternativa para escolas que buscam expansão e melhorias em curto prazo, sem interferir na qualidade da edificação e no andamento do ano letivo. (VISIA, 2020)

Segundo Smith e Rice (2015), cerca de 70% das atividades de uma construção modular são feitas off-site, e apenas 30% são realizadas no canteiro.

Esta porcentagem varia, de acordo com cada caso. Isto porque, os requisitos de projetos, assim como o local propriamente dito da construção, podem exigir maior ou menor demanda de serviços no canteiro. Um exemplo seriam elementos de grande porte da obra, que dificultariam a execução e transporte em fábrica, devendo assim, serem construídos no canteiro de obra. (AIA, 2019).

2.2 Etapas Construtivas

Foram desenvolvidos, neste tópico, assuntos referentes aos processos de uma construção modular volumétrica, inicializados pela etapa de projeto e fabricação em ambiente fabril e finalizados pela etapa de montagem e acabamentos em canteiro de obra.

2.2.1 Projeto

O projeto engloba todos os serviços realizados antes da fabricação do produto. Nele são avaliados, por exemplo, estudos de viabilidade e questões arquitetônicas. (CICCONI, 2020).

Comparado ao sistema de construção convencional, os projetos referentes à industrialização são mais detalhados e exigem maior atenção. Isto porque a geometria das peças deve ser muito bem elaborada, visando evitar problemas de montagem, ao unirmos as peças, futuramente. Além disso, a construção modular é, frequentemente, padronizada, ou seja, a mesma peça elaborada em projeto pode vir a se repetir inúmeras vezes durante a montagem. (NAKAMURA, 2018).

É importante ressaltar que as padronizações encontradas nas construções modulares estão relacionadas ao processo de fabricação, diferentemente de personalizações arquitetônicas. Ou seja, é totalmente possível gerar módulos volumétricos com acabamentos diferenciados, assim como utilizar arquiteturas mais arrojadas. (DEGANI, 2019).

Uma das contribuições da tecnologia para as construções realizadas fora do canteiro de obra é o surgimento de ferramentas de projeto como o sistema Building Information Modeling (BIM). Isto ocorre devido a alta complexidade de detalhamentos que a construção modular exige, visto que os processos se tornam repetitivos, uma única falha acarretaria em problemas multiplicados diversas vezes. Com o surgimento do sistema BIM, cronogramas e dados de engenharia são compartilhados de forma integrada, com os detalhes das juntas conectivas podendo ser modelados tridimensionalmente de forma instantânea. (SCHOENBORN, 2012).

O sistema BIM trata-se, portanto, de uma ferramenta virtual para modelagem de um projeto, contendo informações técnicas e detalhamentos. Também é responsável por contribuir ao planejamento e execução de obra. Seu conjunto de

banco de dados permite que diversas tarefas da construção civil modular converseem entre si, facilitando a visualização global do projeto. (THÓRUS, 2020).

2.2.2 Produção dos módulos volumétricos

Visando uma economia de tempo e dinheiro, construções modulares utilizam o método Design for Manufacture and Assembly (DfMA). Este é o mesmo sistema utilizado pelas indústrias automobilísticas, por exemplo, adaptado à construção civil, tendo por objetivo facilitar a fabricação e montagem dos módulos volumétricos, selecionando, quantificando e eliminando processos e peças. (DOS SANTOS, 2018).

2.2.2.1 Modelos de chassis metálicos

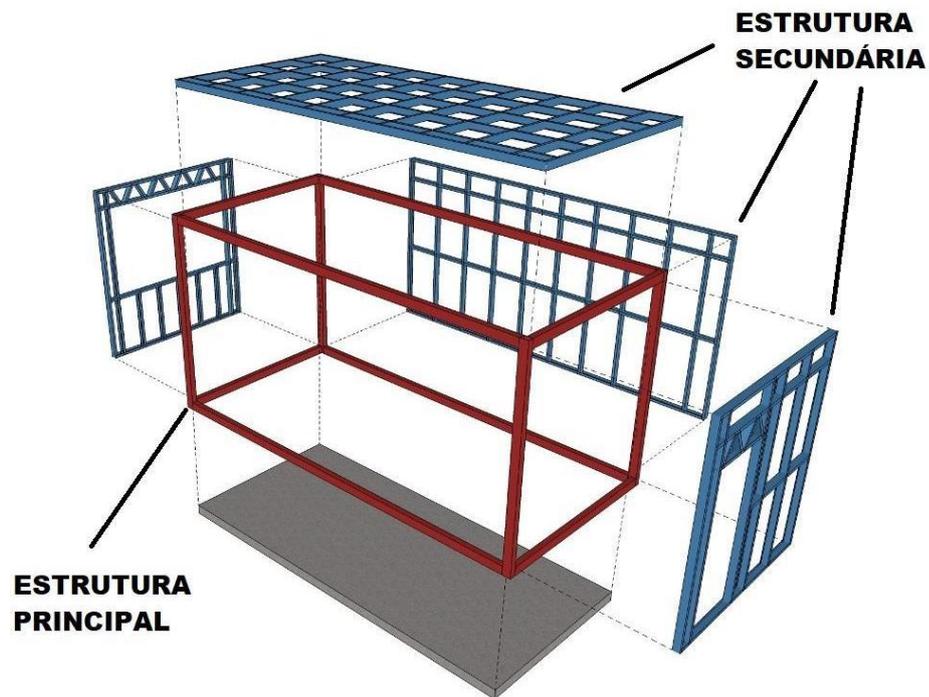
Construções modulares volumétricas em aço são fabricadas através da utilização de chassis, contendo funções estruturais da edificação. Devido à precisão, compatibilidade e flexibilidade, chassis em aço leve são frequentemente utilizados. (LIGHTRUS, 2021).

Os chassis metálicos são a base estrutural dos módulos volumétricos produzidos em aço. Portanto, representam o “esqueleto estrutural” do componente, sendo ele pilares de canto e vigas de borda. A partir do chassi são geradas faces vazadas, as quais são capazes de serem preenchidas por parede, teto e piso. (HORTA, 2021).

A configuração do módulo depende de sua utilização definida em projeto: quartos, salas, cozinhas, banheiros, escadas, entre outras. A partir disso, os chassis poderão ser também nomeados, referenciando suas respectivas utilizações, facilitando a compreensão de projeto. Em relação às quantidades, o número de módulos a serem utilizados dependerão do tipo de construção. (BCA, 2017).

Sua estrutura pode ser projetada para fornecer parte do sistema de resistência à força lateral, causada pela ação do vento, assim como resistir à carga vertical. Chassis metálicos unidos pelas extremidades possuem melhor desempenho em relação ao peso e à flexibilidade. (CHUA; LIEW; PANG, 2019). Neste caso, a estrutura do chassi é dividida em principal e secundária, conforme Figura 2, sendo elas representadas por colunas e vigas das extremidades, e paredes, pisos e tetos, respectivamente. (LIGHTRUS, 2018).

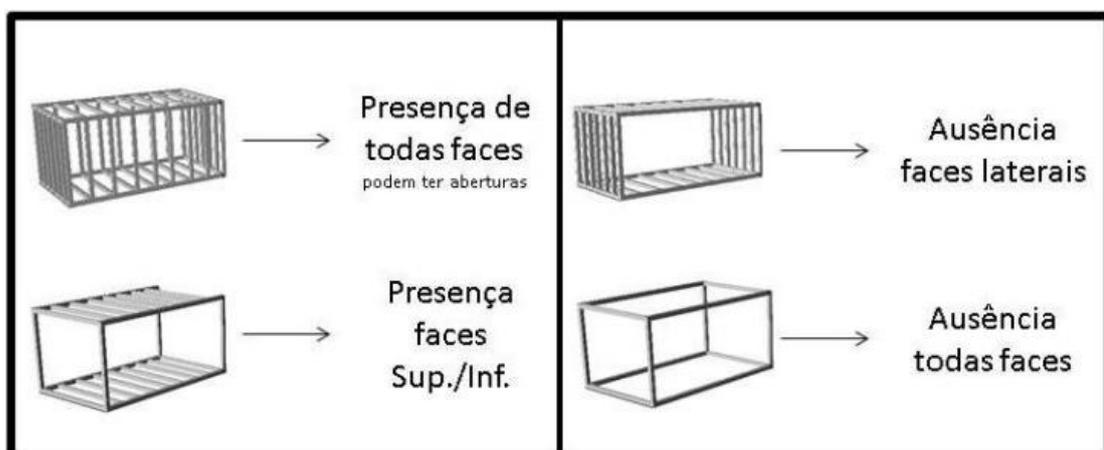
Figura 2 - Estruturas metálicas.



Fonte: Adaptado de Lightrus (2018).

Porém, vale ressaltar que os chassis metálicos retangulares a serem projetados para construções modulares são divididos em sete categorias, sendo elas: 1) Módulos com quatro lados fechados; 2) Módulos parcialmente abertos; 3) Módulos abertos (com suportes nas extremidades); 4) Módulos suportados por uma estrutura primária; 5) Módulos não suscetíveis à carregamentos; 6) Módulos mistos; 7) Módulos especiais (elevadores e escadas). Com isso, a presença de faces nos módulos volumétricos pode ser classificada de conforme Figura 3. (LAWSON, 2007).

Figura 3 - Presença e ausência de faces em módulos volumétricos.



Fonte: Teribele (2016, p. 29).

O Perfil Formado a Frio (PFF) trata-se de um aço mais leve e flexível, com maior facilidade de deformações em comparação ao perfil laminado. Têm sua aplicação voltada à construção civil através de estruturas que possuam baixa capacidade de suportar cargas, ou seja, edificações de pequeno porte. Obras maiores, com mais pavimentos, necessitam da utilização de um aço mais resistente, como o perfil laminado. (PORTAL METÁLICA, 2021).

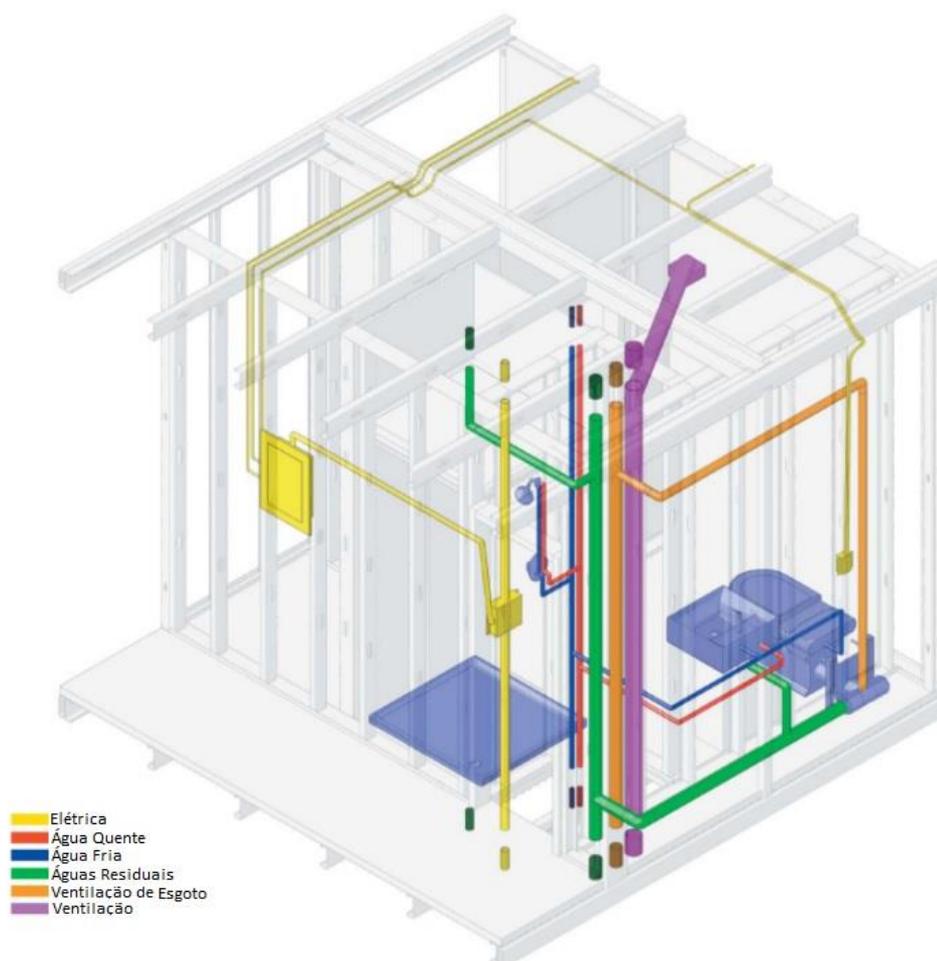
Os módulos volumétricos são constantemente fabricados em aço formado a frio, visto que, em muitos casos, não ultrapassam três pavimentos e não possuem cargas elevadas atuantes. Para isso, possuem cantoneiras como colunas de extremidades. Porém, em edificações maiores, que exigem maiores capacidades de suporte às cargas verticais, o aço laminado deve ser inserido. Através da modificação das colunas de extremidades dos módulos volumétricos de cantoneiras formadas a frio para tubos em aço laminado, a estrutura é capaz de transferir as cargas de edifícios de até treze andares. Para obras com mais de treze pavimentos, será necessária a implementação, também, de vigas em aço laminado. Com isso, os chassis são responsáveis por suportar edificações de até 30 andares. Outros métodos são utilizados para obras ainda mais altas, ou seja, acima de 30 pavimentos. Um destes métodos consiste na adição de concreto ao interior da coluna metálica, gerando mais resistência ao sistema. (MILLS; GROVE; EDGAN, 2015).

A geometria dos módulos volumétricos pode ser característica de cada modelo, assim como as características de seus elementos estruturais, como vigas e pilares, e isto influencia diretamente na definição dos conjuntos conectivos, que são definidos como peças e elementos responsáveis por garantir a fixação dos módulos volumétricos. Por este motivo, é necessário planejar furos, chapas e conectores segundo sua geometria e localização, a fim de facilitar a montagem da estrutura em canteiro de obras e em ambiente fabril. A utilização de cantoneiras nas extremidades dos módulos volumétricos permite, por exemplo, que a conexão entre os módulos volumétricos a ser realizada em canteiro de obras permita acesso do montador pelo interior dos chassis metálicos. (TERIBELE, 2016).

2.2.2.2 Instalações elétricas e hidrossanitárias

Esta etapa é, também, realizada fora do canteiro de obra, em ambiente fabril. A utilização de determinado tipo de chassi determinará como as instalações devem ser executadas. Porém, em todos os casos, este sistema não deverá interferir na estrutura principal da edificação. A continuidade dos sistemas modulares deve ser respeitada, assim como sua integração. A passagem de tubulações, dutos e canaletas (entre outros), poderá ser realizada no interior das paredes da estrutura, assim como, em determinados casos, em vãos entre chassis adjacentes. Visando procedimentos futuros, como eventuais manutenções e reparos, as instalações devem ser projetadas em ambientes de fácil acesso, caso exigidos. (BCA, 2017). As instalações elétricas, hidrossanitárias e de ventilação são representas na Figura 4.

Figura 4 - Instalações elétricas e hidrossanitárias.



Fonte: Adaptado de Garrison e Tweedie (2008).

2.2.2.3 Proteção ao fogo

A proteção da estrutura em caso de incêndio é indispensável. As chamas são capazes de acabar com as funções estruturais exercidas pelas vigas e pilares metálicos, comprometendo a construção. Com isso, é necessário que a proteção ao fogo resista entre 120 e 180 minutos, aproximadamente, tempo suficiente para que os bombeiros cheguem ao local e anulem o incêndio, sem comprometer a estrutura. (GUARUTHERM, 2020).

Módulos em aço possuem, portanto, um papel fundamental em relação à instalação de sistemas à prova de incêndio, pois são particularmente vulneráveis. Para isso, o edifício deve ser considerado inteiramente resistente ao fogo, ou seja, pisos, paredes, assim como demais componentes da edificação, devem receber proteção. O isolamento dos módulos é feito através da instalação de camadas no interior das paredes, como, por exemplo, gesso acartonado. A fim de reduzir a espessura de parede, tintas intumescentes podem ser inseridas aos perfis laminados. Além disso, o vão existente entre os módulos, tanto horizontalmente quanto verticalmente, deve ser devidamente vedado, visando obter a compartimentação de projeto. (MILLS; GROVE; EDGAN, 2015).

2.2.2.4 Revestimentos

A estrutura secundária, quando existente, é responsável pelo recebimento do revestimento, assim como dos sistemas de isolamentos e passagem de redes de água, esgoto e eletricidade. O revestimento pode ser feito em fábrica, em canteiro ou até mesmo em ambos. Os painéis para revestimento são produzidos em fábrica com furação para passagem da canalização elétrica e demais instalações necessárias. Com isso, percebe-se, mais uma vez, a importância do projeto. (PATINHA, 2011).

O revestimento interno é feito, usualmente, através da utilização de gesso acartonado e OSB (Oriented Strand Board). Este material é semelhante ao compensado, porém destaca-se por possuir certa resistência estrutural. O OSB trata-se de um painel formado por madeiras finas, longas e orientadas, produzidas através da utilização de resinas, calor e pressão. (SETUBAL, 2009).

Já em pisos, a adoção de OSB permite a utilização de diversos revestimentos, como, por exemplo, ladrilhos, revestimentos plásticos e piso flutuante. (PATINHA, 2011).

2.2.3 Transporte

O deslocamento do produto é etapa fundamental do processo de fabricação e montagem de uma edificação modular. A logística exige um estudo prévio, pois pode ser determinante para o sucesso da construção, sendo ele necessariamente analisado no estudo de viabilidade, ainda na etapa de projeto. O transporte dos módulos volumétricos é dividido em uma etapa horizontal e outra vertical, com ambas podendo dificultar a utilização deste método construtivo. (PENAZZI, 2015).

2.2.3.1 Transporte horizontal

A entrega do produto pode ser feita via terrestre, via marítima ou via aérea. Comumente, o transporte se dá via terrestre e, para isso, existem leis que limitam o volume de carga a ser movimentada por caminhões. Essas leis, inclusive, delimitam as dimensões máximas dos módulos a serem fabricados, visto que chassis acima da medida limite imposta pelas leis de trânsito não poderiam sair da indústria em direção ao canteiro. Em território brasileiro, quem limita as dimensões e pesos de cargas a serem transportadas é o CONTRAN, através da Resolução N° 210, de 13 de novembro de 2016. (TERIBELE, 2016).

Segundo o CONTRAN, a largura máxima de uma carga a ser transportada é de 2,60m, enquanto a altura é de 4,40m. Já o comprimento é variável de acordo com o veículo. Em todo caso, é possível receber uma licença para transporte de cargas com maiores dimensões, chamada de Autorização Especial de Trânsito (AET).

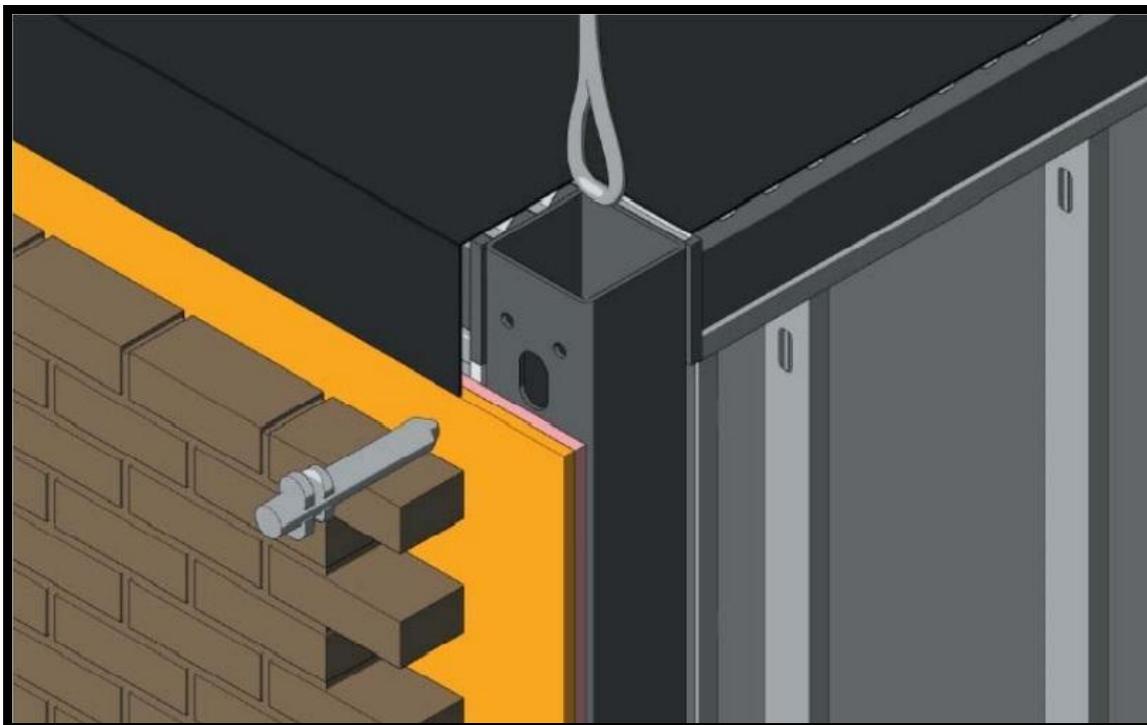
O tráfego de veículos pesados superdimensionados pode afetar no trânsito local de diversos centros urbanos. Portanto, é inevitável buscar esta informação ainda na fase de projeto. Em alguns países, devem ser solicitados a utilização destes veículos sobre as estradas, sendo permitido seu tráfego somente após autorização, devendo seguir exatamente a rota apresentada. (SHAN; HWANG; LOOI, 2018).

Durante o transporte, as unidades volumétricas devem estar protegidas. Essa proteção se dá através de uma cobertura da estrutura com folhas ou lonas de polietileno, feitas sob medida, impedindo com que o módulo se danifique ao ser transportado. (GARRISON; TWEEDIE, 2008).

2.2.3.2 Transporte vertical

Os movimentos realizados pelo guindaste e sua localização ao momento de içar os chassis devem ser analisados anteriormente. Além disso, os módulos serão projetados pelo fabricante, e não necessariamente será ele também responsável pelo transporte vertical do produto. Ou seja, fabricantes, de qualquer forma, devem prever, também, sistemas de fixação que irão se relacionar com o guindaste durante o içamento. (SCHOENBORN, 2012) Estes sistemas de fixação são, usualmente, posicionados nas extremidades superiores dos módulos, a fim de garantir a maior estabilidade possível ao serem levantados, conforme Figura 5. (LAWSON, 2007).

Figura 5 - Sistema de fixação para içamento dos módulos.



Fonte: Garrison e Tweedia (2008).

Em relação ao custo, sabe-se que quanto maior o módulo, maior será o guindaste exigido, com isso, maiores serão os gastos para esta etapa. Por outro

lado, utilizar módulos maiores significa menos viagens horizontais, o que, às vezes, compensa o custo do aluguel de guindastes maiores. Outro fator relevante para esta etapa está associado à sincronia entre os processos de produção em fábrica e utilização do guindaste. Como ambas as etapas ocorrem em paralelo, é importante que ocorra sintonia entre os processos, para não haver caminhões de transporte de chassis parados em canteiro, esperando o içamento do módulo anterior, assim como guindastes sem módulos para içar. (AIA, 2019).

Em relação ao tipo de guindaste a ser escolhido, o equipamento depende do peso dos módulos, da altura da edificação e do tipo de solo do local, devido às condições de apoio. Esta decisão deve ser tomada, também, previamente, na etapa de projeto, a fim de viabilizar custos e prazos. Existem, basicamente, dois tipos de guindastes, os móveis e as gruas. As gruas são utilizadas para obras com elevado número de pavimentos, sendo responsáveis por içar cargas pesadas e possibilitar seu posicionamento em locais altos. Já os guindastes móveis são os comumente utilizados. Eles podem se dividir, ainda, em guindastes móveis de pneus e guindastes móveis em esteiras, assim como guindastes com lança fixa ou lança telescópica. Apresentam grande mobilidade e suportam cargas entre 20 e 50 toneladas. (PENAZZI, 2015).

Não é possível içar as unidades volumétricas em condições meteorológicas desfavoráveis, com a presença de ventos fortes, por exemplo. É aconselhável que nenhum módulo deve ser erguido com ventos acima de 16 km/h, garantindo a segurança do processo. (GARRISON; TWEEDIE, 2008).

2.2.4 Montagem in loco

Foram desenvolvidos, neste tópico, assuntos referentes a etapa de montagem da estrutura em canteiro de obra. Tudo que é produzido nesta etapa é chamado de *on-site*.

2.2.4.1 Ordem de montagem

Segundo Teribele (2016), a ordem de montagem dos módulos volumétricos pode interferir no acesso ao conjunto conectivo durante a instalação da estrutura em canteiro de obras. Além disso, conjuntos conectivos em determinados pontos da

estrutura podem exigir uma ordem de montagem específica, ou seja, sem alterações, visto que, se alterada, o acesso à ligação fica comprometido.

2.2.4.2 Gestão de materiais

Diante do modelo convencional de construção, os suprimentos são entregues em canteiro de obra, conforme a demanda, devendo ser estocados em ambiente previamente definido. Portanto, a partir do cronograma, são retiradas todas as informações pertinentes à quantidade de materiais para determinada etapa da construção. Quando alterado cronograma, ou seja, atraso de determinado serviço, o material é devidamente armazenado em canteiro até o momento de sua utilização. Em contrapartida, na construção modular volumétrica, os materiais, de forma unitária, não são levados ao canteiro. A fábrica recebe e estoca os materiais, produzindo os módulos volumétricos quando necessário, que são transportados diretamente ao canteiro e imediatamente içados para instalação definitiva. Com isso, o canteiro de obras não necessita de um estoque de materiais, o que facilita muitos casos em que ele possui espaço limitado, principalmente em centros urbanos. (HSU; ANGELOUDIS; AURISICCHIO, 2018).

2.2.4.3 Conjuntos conectivos

Os conjuntos conectivos são classificados como peças responsáveis pela ligação de dois ou mais elementos. Estas peças podem ser inseridas a estrutura ainda dentro de fábrica, denominadas de peças agregadas ao módulo volumétrico, e peças inseridas em canteiro de obras, durante a conexão das unidades tridimensionais. Os conjuntos conectivos podem, portanto, ser representados através de peças como parafusos, arruelas, porcas, chapas, pinos e outros componentes. (TERIBELE, 2016).

As construções industrializadas são recentes no cenário atual e, por isso, apresentam ainda alguns desafios em relação aos seus processos. Por este motivo, talvez, este método não tenha atingido, ainda, sua popularização em determinados países, apesar de apresentar grandes vantagens. Os conjuntos conectivos são responsáveis, também, por garantir a estabilidade e rigidez da edificação. Portanto, o estudo da união dos módulos volumétricos é de suma importância, sendo

necessária a compreensão de seu comportamento real, a fim de selecionar métodos adequados para a montagem da estrutura global. Módulos volumétricos unidos pelas extremidades apresentam melhor desempenho estrutural e flexibilidade de projeto. Com isso, as conexões das unidades volumétricas podem ser divididas em horizontais e verticais. (CHUA; LIEW; PANG, 2019).

As conexões entre unidades volumétricas, a fim de facilitar seu posicionando no local, devem apresentar certas tolerâncias dimensionais. Porém, edifícios mais altos, por exemplo, sofrem com o acúmulo de tolerâncias existentes em cada pavimento, gerando uma vulnerabilidade da estrutura global quanto a deslocamentos, principalmente frente a cargas laterais. Portanto, é possível dizer que as tolerâncias são necessárias, porém, devem ser planejadas, visto que, quando realizadas com dimensões maiores do que deveriam, causam problemas de estabilidade da edificação. (LACEY *et al.*, 2019).

O fato de estruturas pré-fabricadas serem produzidas na indústria permite a utilização de medidas de tolerâncias construtivas menores quando comparado ao sistema de construção convencional. Estas tolerâncias podem variar entre 5 e 10 milímetros, aproximadamente, dependendo do caso. (MILLS; GROVE; EDGAN, 2015).

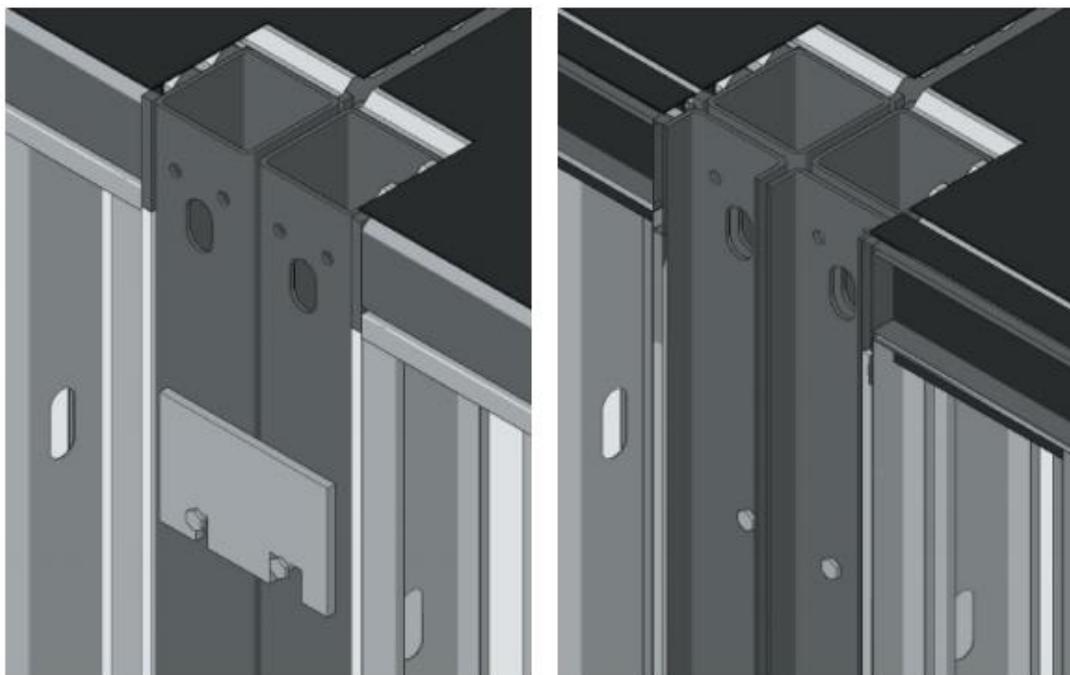
2.2.4.3.1 Conexão horizontal

Conexões horizontais entre chassis metálicos são de grande importância para a estrutura global, contribuindo com sua rigidez. Além disso, os métodos utilizados para unir horizontalmente as unidades volumétricas devem ser previstos, a fim facilitar sua montagem em canteiro, garantindo economia de tempo. (BCA, 2017).

Uma das vantagens das construções modulares volumétricas se dá através do fato de que o módulo volumétrico pode chegar ao canteiro de obras com serviços completamente concluídos, como, por exemplo, os acabamentos. Para que isto ocorra, os fabricantes devem prever sistemas de fixação através de acesso externo da unidade volumétrica, preferencialmente pelas extremidades. (MILLS; GROVE; EDGAN, 2015).

Segundo modelo apresentado por Garrison e Tweedie (2008), a união das unidades volumétricas pode ser realizada através da utilização de chapas metálicas, parafusadas às colunas dos módulos adjacentes, como demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Conexão horizontal com chapas metálicas entre módulos volumétricos.



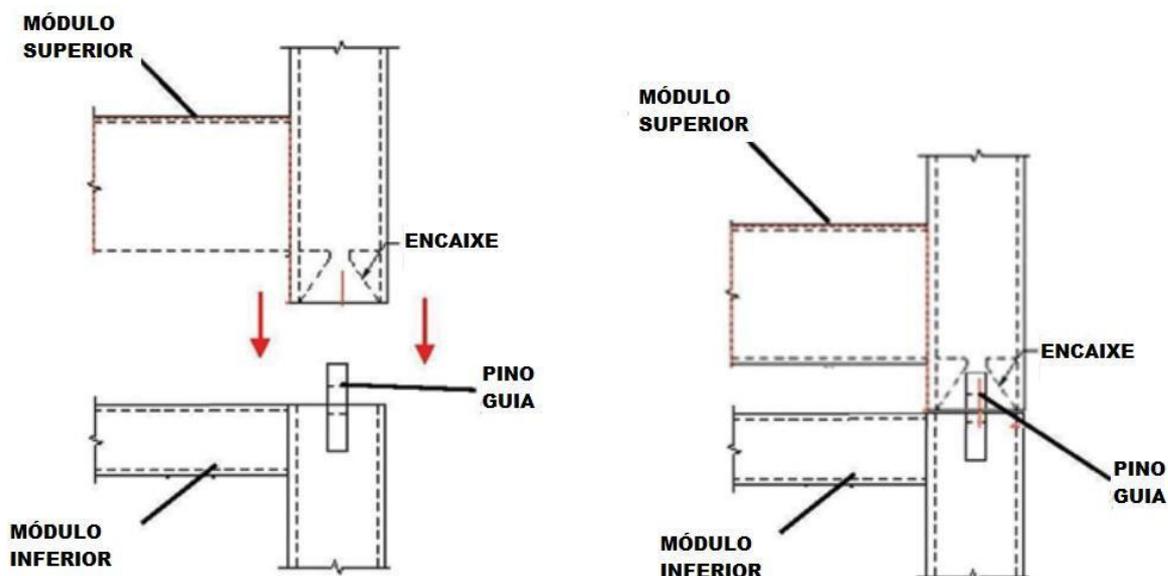
Fonte: Garrison e Tweedie (2008).

2.2.4.3.2 Conexão vertical

Cruciais para o comportamento estrutural de uma edificação, especialmente em prédios altos, as conexões verticais devem ser projetadas para sofrerem eventuais imperfeições, ou seja, excentricidades. Este conjunto conectivo é responsável por manter a estrutura rígida quando acionadas cargas horizontais, sejam elas ventos, atividades sísmicas e demais forças de mesma direção. (BCA, 2017)

Construção modular têm como grande vantagem sobre os demais métodos construtivos a velocidade de construção. Para isso, são utilizadas técnicas de montagem, por exemplo, a instalação vertical dos módulos através de pinos guias, conforme Figura 7. Este sistema, além de garantir certa união aos módulos empilhados, facilita o processo de montagem dos chassis em canteiro, acelerando o processo. Para isso, os chassis recebem em suas extremidades elementos em formato cônico e pinos, que serão responsáveis por guiar o encaixe entre as colunas do módulo superior com o módulo inferior. (GARRISON; TWEEDIE, 2008).

Figura 7 - Conexão vertical com pino guia.



Fonte: Adaptado de Mills, Grove e Edgan (2015).

Contudo, pinos guia podem causar a falsa impressão de rigidez. Este sistema possui a característica de oscilação de comportamento quando exigido, sendo, muitas vezes, insuficiente do ponto de vista estrutural. Isto ocorre devido a capacidade das juntas com determinada rigidez de atrair forças e momentos para seus componentes. Sabendo disso, outros elementos devem ser instalados em paralelo, a fim de proteger a estabilidade da edificação. (CHUA; LIEW; PANG, 2019).

Outra possibilidade de conexão vertical ocorre através da utilização de travas manuais, conforme Figura 8, comumente utilizadas para engate de containers e adaptadas à construção modular. A vantagem deste conjunto conectivo está relacionada à eficiência, pois é capaz de unir os chassis com rigidez. Porém, trata-se de um sistema que requer atividade humana, pois uma vez posicionado, deve ser apertado manualmente. Por este motivo, sua utilização restringe-se à locais com acesso. (MILLS; GROVE; EDGAN, 2015).

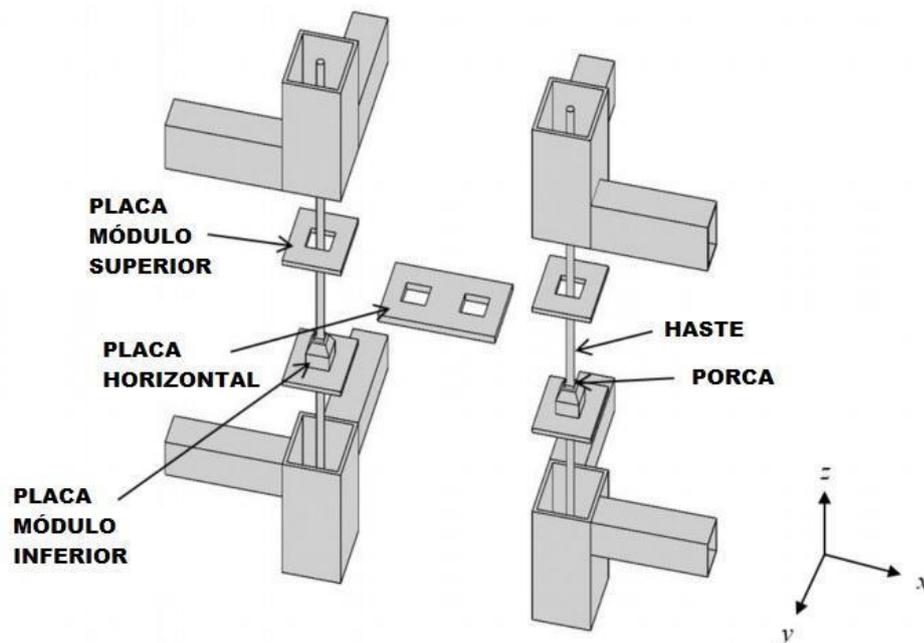
Figura 8 - Conexão vertical com travas manuais.



Fonte: Adaptainer (2021).

A conectividade vertical também pode ser realizada através da utilização de tirantes metálicos posicionados no interior das colunas superiores e inferiores, garantindo continuidade das linhas centrais da coluna. (CHUA; LIEW; PANG, 2019). O modelo de ligação vertical através do uso de tirantes metálicos foi criado com o objetivo de criar uma conexão rígida, conforme Figura 9, no interior do módulo volumétrico. Porém, tensionar os tirantes necessita de acesso, o que é dificultado em determinados casos. (LACEY *et al.*, 2019).

Figura 9 - Conexão vertical com tirantes metálicos.



Fonte: Adaptado de Chua, Liew e Pang (2019).

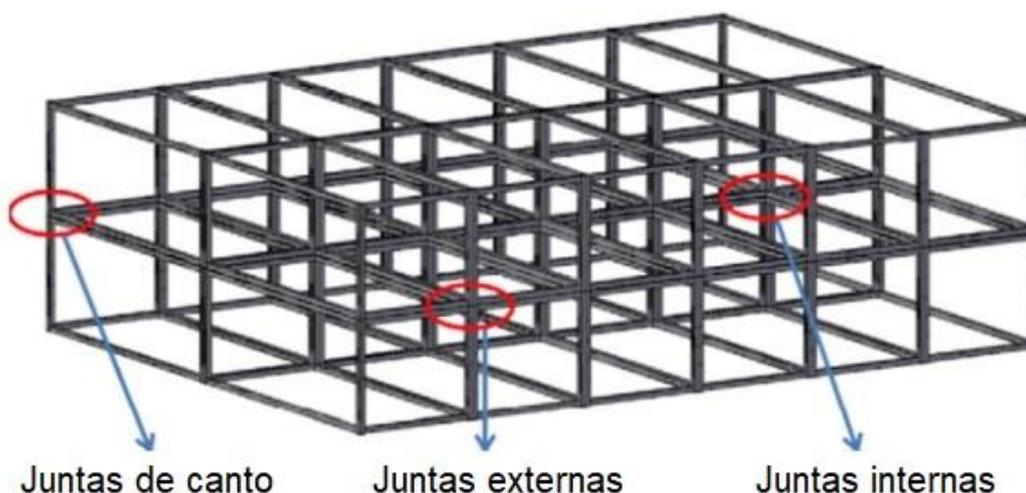
Outra proposta para conexão vertical entre unidades volumétricas encontra-se em um sistema misto, utilizando aço e concreto, recomendado para arranha-céus. A adição de concreto no sistema proporciona uma estrutura mais resistente, capaz de superar grandes alturas. Porém, esta conexão necessita que o concreto seja lançado em canteiro, o que leva tempo, além de tornar a estrutura permanente, impossibilitando sua desmontagem. (MILLS; GROVE; EDGAN, 2015).

2.2.4.3.3 Juntas conectivas

As juntas conectivas são geradas a partir do encontro de dois ou mais módulos volumétricos, portanto, são localizadas segundo o posicionamento dos vértices dos módulos volumétricos. (TERIBELE, 2016). A classificação das juntas conectivas em relação ao seu posicionamento na estrutura é representada através da Figura 10.

As juntas conectivas de canto são características de módulos volumétricos cujo vértice superior do chassi inferior coincide com o vértice inferior do chassi superior, gerando conexões verticais (empilhamento), entre os módulos volumétricos, conforme Figura 10. (TERIBELE, 2016). No caso das juntas externas, quatro módulos volumétricos são acoplados: dois módulos volumétricos unidos lateralmente, formando um par, e outros dois módulos volumétricos, unidos da mesma maneira, acoplados verticalmente ao primeiro par, totalizando um encontro entre quatro módulos volumétricos, conforme Figura 10. Por outro lado, as juntas internas se tornam mais complexas, visto que são oito módulos volumétricos conectados entre si, sendo quatro módulos volumétricos na parte inferior e outros quatro unidos verticalmente ao primeiro quarteto, totalizando oito módulos volumétricos. Este tipo de conexão ocorre, obrigatoriamente, ao centro das estruturas, conforme Figura 10. (CHUA; LIEW; PANG, 2019).

Figura 10 - Tipos de juntas conectivas



Fonte: Adaptado de Chua, Liew e Pang (2019).

2.2.5 Acabamentos

Idealmente, todos os acabamentos possíveis vêm de fábrica, garantindo agilidade e economia. No entanto, algumas atividades relacionadas ao acabamento são obrigatoriamente realizadas em canteiro de obra, visto que a montagem dos módulos volumétricos gera regiões sem acabamentos. (GARRISON; TWEEDIE, 2008).

Com isso, uma preocupação é gerada em relação a estanqueidade do conjunto conectivo após o processo de montagem da estrutura, visto que a penetração de água na estrutura pode gerar danos a edificação, assim como gerar custos adicionais. Para evitar este problema, os acabamentos realizados in loco devem ser efetuados momento após a montagem da estrutura, garantindo a vedação do conjunto conectivo. (PANG *et al.*, 2016).

2.2.6 Desmontagem

As construções modulares volumétricas podem ser classificadas, também, quanto a sua permanência. Isto ocorre devido a possibilidade de projetar estruturas modulares permanentes ou relocáveis. Estruturas permanentes utilizam módulos volumétricos integrados em canteiro de obras cujos projetos são dados de forma

autônoma. Por outro lado, as estruturas relocáveis caracterizam-se pelo fato de poderem ser desmontadas, transportadas e reutilizadas em diferentes lugares. (CRUZ, 2020).

Projetar estruturas relocáveis envolve, geralmente, mais simplicidade e repetições de componentes e, principalmente, cuidados em relação ao acesso das conexões. Além disso, estruturas com possibilidade de desmontagem visam maximizar sua produção em ambiente fabril. Isto ocorre devido ao fato de quanto mais a estrutura chegar pronta ao canteiro de obra, menos serão os serviços exigidos para sua montagem e, conseqüentemente, desmontagem. Além disso, as construções modulares volumétricas relocáveis devem ser projetadas tomando os devidos cuidados em relação às suas conexões com componentes construídos in loco, como, por exemplo, fundações e núcleos de elevadores e escadas, no caso de projetos maiores. Com isso, é de suma importância que os detalhamentos destas conexões sejam desenvolvidos entre os fabricantes dos módulos volumétricos e o encarregado da obra, responsável pela construção destes componentes anteriormente citados em canteiro de obras. (AIA, 2019).

A possibilidade da reutilização de materiais está diretamente relacionada à sustentabilidade, visto que estruturas relocáveis não necessitam de demolição, reduzindo significativamente os impactos ao meio ambiente. Além disso, a construção em aço é, naturalmente, o tipo de construção mais reciclável. Porém, através do método tradicional de construção, a recuperação dos aços utilizados nas edificações é dificultada. Por outro lado, a construção modular volumétrica permite que a matéria prima seja facilmente retirada do canteiro de obra e transportada para estoques onde serão reaproveitadas. (GARRISON; TWEEDIE, 2008).

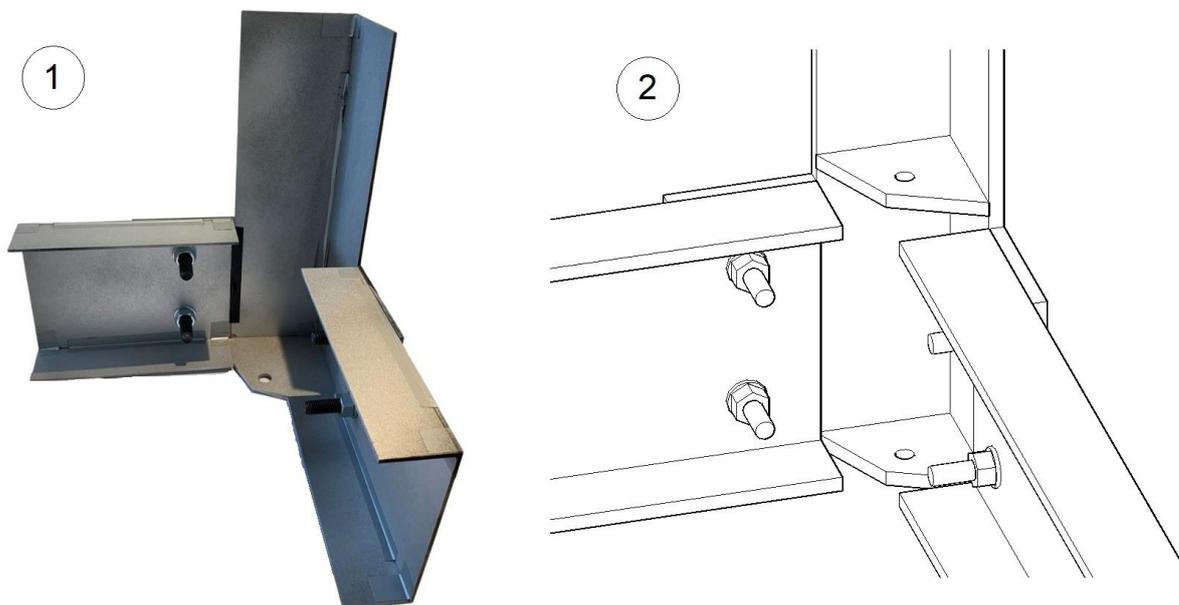
3 METODOLOGIA

Uma pesquisa pode ser definida como um processo de cunho racional, que através de uma sistemática procura estabelecer respostas para seus problemas propostos. A pesquisa é realizada para casos em que não se há informações suficientes para solucionar determinado problema, ou até mesmo quando estas informações se encontram incapazes de saciá-lo. Com isso, a pesquisa é desenvolvida através de métodos, técnicas e procedimentos científicos, englobando diversas etapas, a começar pela determinação de um problema e finalizar pelos resultados obtidos (GIL, 2018). Este trabalho refere-se a uma pesquisa com o intuito de avaliar os sistemas de fixação de dois módulos volumétricos com características diferentes. Portanto, esta pesquisa é constituída por um estudo comparativo.

O presente estudo avaliou, de forma comparativa, dois modelos distintos de conexões entre módulos volumétricos. Primeiramente, foram definidas as áreas de atuação da pesquisa, através da escolha dos modelos de chassis metálicos, sendo estes Lawson e Kovel. Além disso, foram definidos critérios de comparação, leiautes para execução da montagem de ambos modelos e, conseqüentemente, as juntas conectivas geradas a partir do leiaute definido, sendo estas avaliadas caso a caso segundo critérios definidos.

Para isso, foram utilizadas ferramentas digitais para detalhamento dos conjuntos conectivos, através do software AutoCad3D, representadas pelo número 2 na Figura 11, assim como foram utilizadas peças físicas em Medium Density Fiberboard (MDF), recortadas com máquina de corte a laser e montadas através de parafusos, porcas e arruelas, para simular as ligações entre módulos volumétricos e facilitar a compreensão e desenvolvimento da pesquisa, representadas pelo número 1 na Figura 11. As demais simulações através de peças físicas em MDF encontram-se nos apêndices deste trabalho.

Figura 11 – Modelos físicos e digitais utilizados para aplicação da metodologia.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.1 Estudo Comparativo

Como metodologia, foi realizado um estudo comparativo, onde foram analisados dois modelos de conexão modular distintos, sendo eles os modelos propostos por Lawson e Kovel, anteriormente caracterizados. Tais conjuntos foram selecionados por motivos de semelhanças nas técnicas de montagem, onde ambos utilizam chapas metálicas associadas aos chassis e soluções com conexão parafusada na hora da montagem. Como comentado anteriormente, a fixação com parafuso ao invés de solda facilita o trabalho de montagem no terreno. Porém, ao mesmo tempo, ambos os sistemas, Lawson e Kovel, possuem processos diferentes de montagem em fábrica e in loco, aos quais foram analisados neste estudo.

A partir de análise realizada através de estudos bibliográficos e visitas realizadas a empresas da área, foi possível relatar que os conjuntos conectivos dos módulos volumétricos, quando mal planejados, apresentam certa dificuldade referente a sua execução. (PANG *et al.*, 2016). Uma das razões pela qual problemas relacionados à conexão dos módulos em canteiro ocorrem, segundo Pang *et al.* (2016), se dá pelo fato de que projetistas, muitas vezes, estão somente preocupados com o desempenho estrutural da edificação, não prevendo possíveis problemas durante a construção.

3.2 Critérios de avaliação

Os critérios de avaliação de uma pesquisa comparativa são de fundamental importância. Isto é, através dos critérios que são definidos o que, de fato, será comparado. O presente estudo realiza uma investigação sobre aspectos fundamentais de uma conexão modular, sendo eles: o acesso e a quantidade de peças e serviços realizados em canteiro.

O acesso ao conjunto conectivo, assim como a minimização das peças a serem instaladas, devem ser previstos, visto que ambas as situações influenciam na etapa executiva da obra. Por este motivo, o presente estudo define tais critérios para avaliação, possibilitando uma análise sobre possíveis problemas gerados in loco durante a etapa de montagem das construções modulares volumétricas.

3.2.1 Acesso

O termo acesso é, neste presente estudo, corriqueiramente empregado em relação à fixação da estrutura, sendo, portanto, definido como entradas para manuseio por parte do montador ao conjunto conectivo.

O primeiro critério, portanto, está relacionado ao acesso da conexão. Para isso, foram avaliadas as possibilidades da mão de obra realizar a união dos módulos através do posicionamento dos mesmos, assim gerando, ou não, um espaço suficiente para o manuseio do operador.

O processo de conectar os módulos volumétricos em canteiro de obras exige acesso por parte dos montadores ao conjunto conectivos. Por este motivo, módulos volumétricos podem chegar ao canteiro sem possuir todos os seus componentes e acabamentos já finalizados, visto que eles podem impedir o acesso do conjunto conectivo e, conseqüentemente, impedir a realização da montagem da estrutura. (GARRISON; TWEEDIE, 2008).

Independentemente do sistema volumétrico, o acesso deve ser planejado e definido. A geometria dos componentes, como pilares e vigas, pode ser alterada visando o acesso à colocação de parafusos durante a montagem do edifício em canteiro. (TERIBELE, 2016).

3.2.2 Indústria x canteiro

Este critério de avaliação se relaciona com a proposta da coordenação modular, definida como uma abordagem da qual se utilizam elementos padronizados (módulos) para construir. (FERREIRA; BRAGETTO; D'ÁVILA, 2008). No contexto da coordenação modular, o módulo é descrito como um sistema padrão de produção e construção, utilizando dimensões múltiplas de 10 centímetros. Com isso, a produção torna-se racionalizada e, conseqüentemente, os custos são reduzidos e ocorre uma maior produtividade. Além disso, através deste sistema, a montagem passa a ser tipificada, ou seja, a execução é facilitada. (LUCINI, 2001).

A Agência Europeia para Produtividade (AEP) define funções cruciais desempenhadas pelo módulo, como sendo o denominador comum dentre todas as medidas ordenadas. Com isso, qualquer dimensão modular ao ser somada, ou subtraída, gera, também, uma dimensão modular. (LUCINI, 2001). A coordenação modular garante, ainda, que diferentes fabricantes produzam componentes compatíveis entre si para um mesmo edifício, excluindo a particularidade dimensional de elementos para determinados projetos, em sistemas fechados, ou seja, sistemas aos quais os componentes são projetados para uma edificação em específico. (GREVEN, 2007).

Portanto, através do propósito da coordenação modular de aumentar a produtividade em ambiente fabril e facilitar a montagem in loco, serão analisadas, neste critério, a quantidade de peças e serviços realizados em canteiro de obra e a quantidade de peças e serviços realizados, previamente, em ambiente fabril.

Além disso, os conjuntos conectivos variam de acordo com a combinação de módulos volumétricos criada e, com isso, a quantidade de componentes e seus posicionamentos na estrutura também se modificam. Devem ser previstos, então, a utilização e o posicionamento de chapas, pinos, furos e parafusos a fim de facilitar a montagem das unidades volumétricas, quando unidas entre si. (TERIBELE, 2016).

3.3 Definição de leiaute

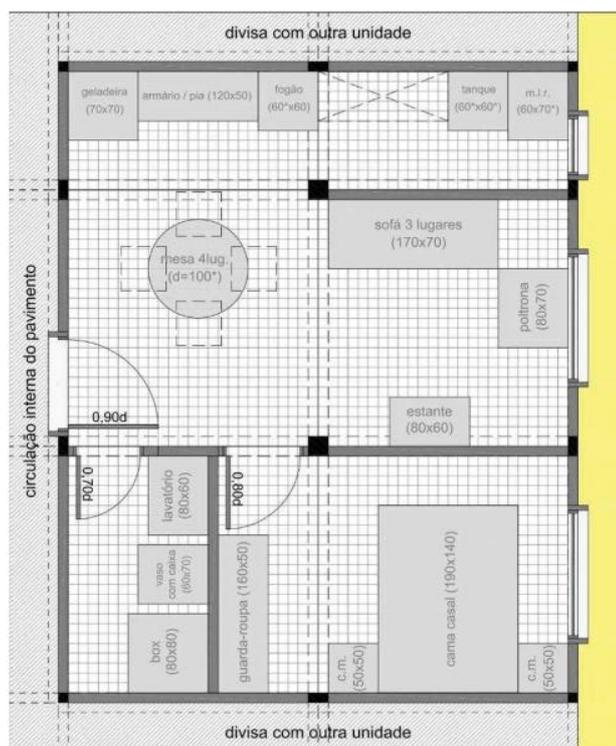
Para realização do estudo comparativo desta pesquisa, foi escolhido, previamente, um leiaute para simulação e análise dos módulos. A escolha partiu de um estudo de leiaute destinado ao sistema modular volumétrico desenvolvido por

Ártico (2020). Com isso, foram definidas características da pesquisa, tais como as dimensões dos módulos volumétricos avaliados, a forma como estes foram conectados em canteiro de obra e, conseqüentemente, as juntas conectivas geradas.

Rafael Ártico (2020) desenvolveu uma pesquisa voltada a analisar o comportamento funcional de módulos com três dimensões diferentes, quando posicionados sobre modelos distintos de leiautes, formando apartamentos de um pavimento tipo de um edifício. Segundo ABNT NBR 15873:2010, a medida padrão de um módulo básico é o decímetro. Portanto, a partir disso, foram desenvolvidos módulos utilizando dimensões múltiplas de decímetros como, por exemplo, módulos 260x260 decímetros. (ÁRTICO, 2020).

O presente estudo utilizou um único leiaute, onde foram testadas, separadamente, a associação de módulos com seus próprios conjuntos conectivos. O leiaute definido para a pesquisa, representado através da Figura 12, consiste na associação de módulos de dimensões 260 x 260 e 260 x 130 decímetros. Com o objetivo de testar todas as conexões deste leiaute, foram considerados dois pavimentos, assim possibilitando, também, a análise de módulos empilhados.

Figura 12 - Definição de leiaute



Fonte: Ártico (2020, p. 86).

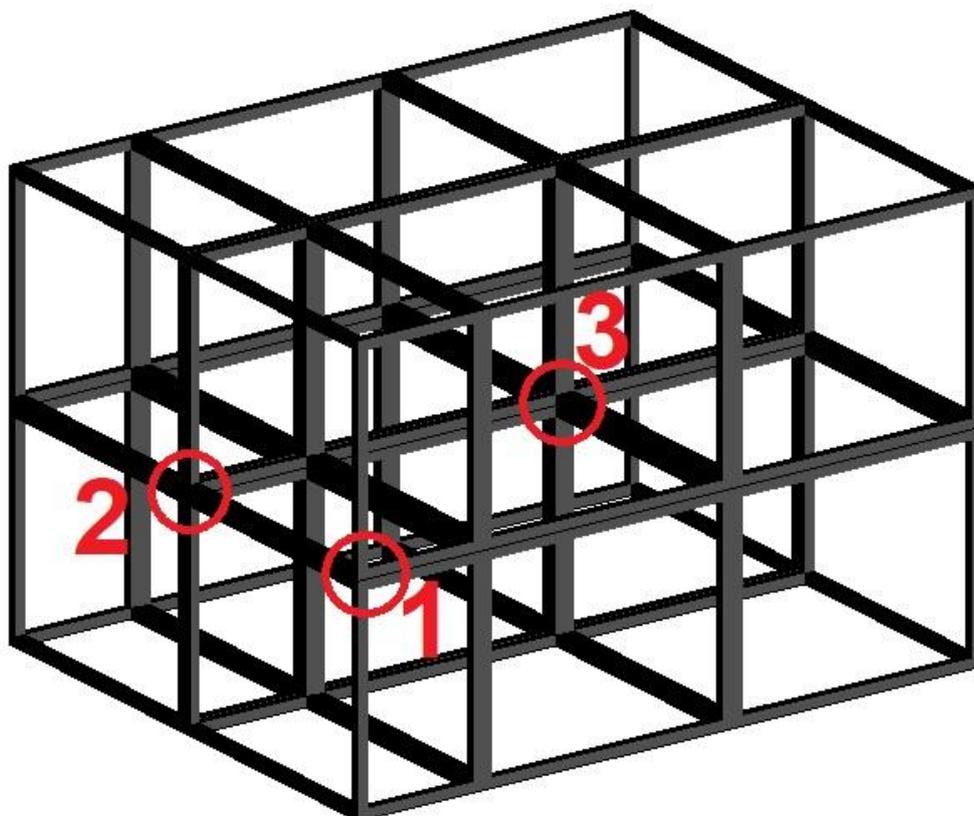
A escolha do leiaute representado na Figura 12 definiu as dimensões dos módulos volumétricos a serem analisados (260x260 e 130x130). Com isso, as dimensões dos chassis metálicos propostos originalmente por Lawson e Kovel foram alteradas. O modelo original de Lawson possui dimensões maiores, com aproximadamente 6 metros de comprimento, portanto, os módulos volumétricos por ele propostos são transportados isoladamente. Dito isto, a análise sobre o leiaute da Figura 12 mantém esta mesma forma de transporte para o modelo Lawson, mesmo com módulos de dimensões reduzidas.

Em relação ao modelo originalmente proposto por Kovel, o transporte permite ser realizado com módulos volumétricos conectados. Com isso, a análise do modelo Kovel para leiaute definido mantém, também, o mesmo critério originalmente estipulado pelo fabricante, sendo transportados, portanto, mais de um chassi metálico por carga.

3.3.1 Juntas conectivas

A partir do leiaute anteriormente apresentado, foram geradas três opções de encontros entre módulos volumétricos, representados na Figura 12. Segundo Chua, Liew e Pang (2019), estas juntas conectivas podem ser classificadas como juntas de canto, juntas externas e juntas internas, representadas pelos números 1, 2 e 3 na Figura 13, respectivamente.

Figura 13 - Juntas conectivas geradas a partir de leiaute definido.



Fonte: Autor.

3.3.1.1 Juntas de canto

A primeira opção de unir os módulos se trata de uma conexão simples, entre somente dois módulos: inferior e superior. Este tipo de junção é, obrigatoriamente, realizado pelos cantos da estrutura, visto que qualquer outro tipo de união envolveria mais de dois módulos. Em qualquer edificação retangular de dois pavimentos, como é o caso do leiaute definido para estudo, este tipo de junção ocorre quatro vezes, visto que as edificações retangulares possuem quatro extremidades.

3.3.1.2 Juntas externas

No caso das juntas externas, quatro módulos volumétricos são acoplados: dois módulos volumétricos unidos lateralmente, formando um par, e outros dois módulos volumétricos, unidos da mesma maneira, acoplados verticalmente ao primeiro par, totalizando um encontro entre 4 módulos volumétricos. Este tipo de

junta conectiva, segundo leiaute definido anteriormente, ocorrerá em seis momentos diferentes.

3.3.1.3 Juntas internas

Neste caso, a conexão se torna mais complexa, visto que são oito módulos volumétricos conectados entre si: quatro módulos volumétricos na parte inferior e outros quatro unidos verticalmente ao primeiro quarteto, totalizando oito módulos volumétricos. Este tipo de conexão ocorre, obrigatoriamente, ao centro das estruturas, portanto, segundo leiaute definido anteriormente, as juntas internas ocorrerão em dois momentos diferente.

3.4 Objetos de estudo

Neste capítulo, foram apresentados os modelos de chassis metálicos propostos por Lawson e Kovel, sendo estes considerados os objetos de estudo da presente pesquisa.

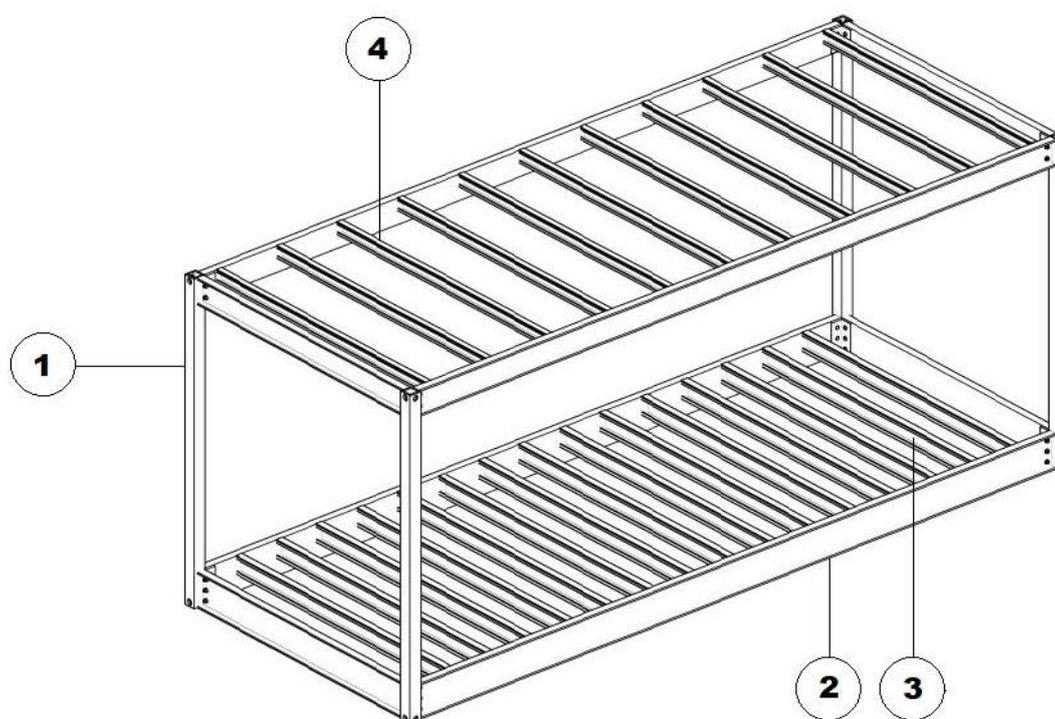
3.4.1 Modelo Lawson

Mark Lawson é responsável por criar, juntamente à empresa Steel Construction Institute (SCI), modelos de chassis metálicos a serem utilizados em construções modulares. A empresa britânica atua a mais de 30 anos no mercado, com amplo conhecimento técnico sobre construções em aço, fabricando módulos fechados, parcialmente abertos, abertos, mistos em aço e concreto e, também, módulos especiais para escadas ou elevadores. (LAWSON, 2007).

Lawson propõem a criação de um módulo metálico com lados abertos, possibilitando a criação, quando unidos lateralmente, de amplos ambientes abertos. Para isso, são utilizados aços laminados a quente, com pilares formados por tubos metálicos quadrados e vazados, e vigas formadas por perfis metálicos com abas paralelas, distribuídas longitudinalmente e aparafusadas aos pilares. Este modelo de estrutura exige elementos estruturais de dimensões maiores quando comparados aos módulos fechados. (LAWSON, 2007).

O modelo com lados abertos consiste, portanto, em uma estrutura metálica retangular pré-fabricada de dimensões personalizáveis, porém limitadas pelo transporte. A Figura 14, representa os elementos estruturais deste modelo, sendo os pilares representados pelo número 1 e as vigas representadas pelo número 2. A estrutura recebe, ainda, vigas secundárias, representadas pelos números 3 e 4 na Figura 14, responsáveis pela estrutura do assoalho e o teto, respectivamente.

Figura 14 - Elementos estruturais modelo Lawson.

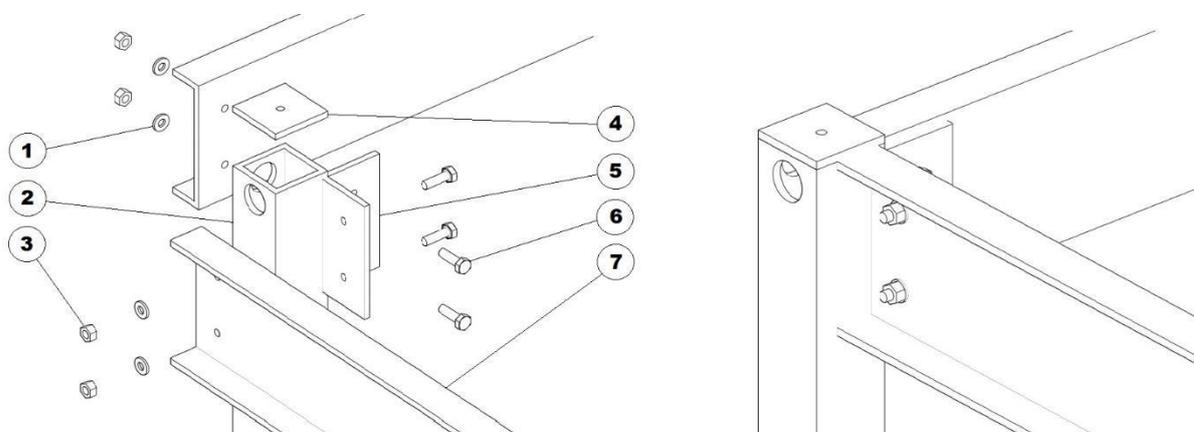


Fonte: Autor.

Os pilares, representados pelo número 2 na Figura 15, são formados por tubos metálicos quadrados e vazados (ocos), de seção 100 x 100 x 10 mm, que fornecem a resistência à compressão. Recebem, em suas extremidades, furos de diâmetro 50 milímetros, responsáveis pelo acesso à conexão parafusada entre módulos. Estes furos são preenchidos após a instalação em canteiro de obra. Os pilares possuem, ainda, chapas metálicas, representadas pelo número 5 na Figura 15, associadas em suas extremidades, soldadas em ambiente fabril, com o objetivo de conectar as vigas, representadas pelo número 7 na Figura 15, através de um sistema aparafusado, representado pelos números 1, 3 e 6 na Figura 15, e fornecer

a resistência nominal à flexão. Uma segunda chapa metálica, representada pelo número 4 na Figura 15, é soldada ao pilar, ainda na indústria, sendo esta responsável por parte do conjunto conectivo entre módulos, futuramente, em canteiro de obra. (LAWSON, 2007). O parafuso, representado pelo número 6 na Figura 15, utilizado na ligação trata-se de um modelo sextavado ASTM A325, com grande resistência e muito utilizado em ligações metálicas, podendo dispensar, em muitos casos, a utilização de soldas, e facilitar com que grandes estruturas metálicas possam ser desmontadas e relocadas, caso necessário. (PARAFUSO FÁCIL, 2021)

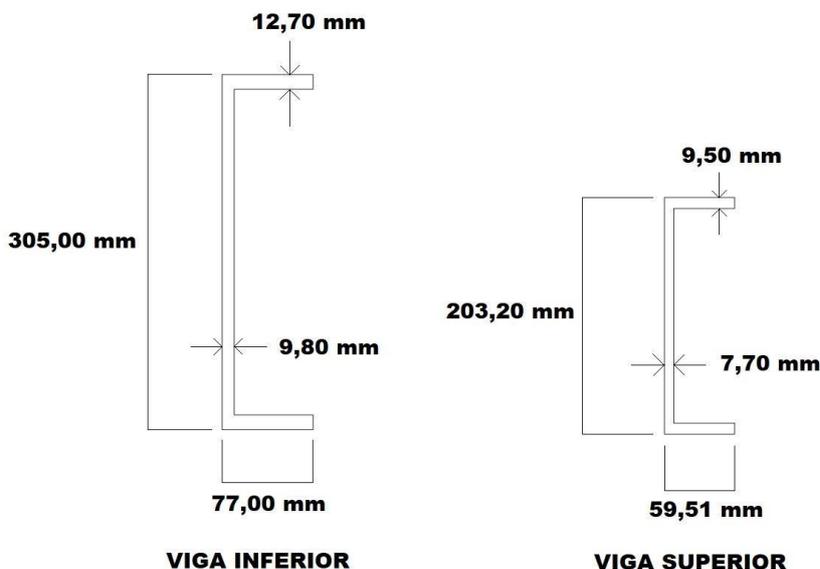
Figura 15 - Vista explodida e montada modelo Lawson.



Fonte: Autor.

O modelo de Lawson propõem, ainda, a utilização de vigas principais superiores e inferiores com dimensões diferentes, porém, ambas formadas por perfis de abas paralelas, perfil “U”. Estes perfis metálicos possuem dimensões comerciais estabelecidas. Portanto, neste modelo, as vigas superiores possuem uma seção de 203,20 mm de altura, 59,51 mm de largura (abas), 9,50 mm de espessura de mesa e 7,70 mm de espessura de alma. Por outro lado, as vigas inferiores, maiores, possuem 305,00 mm de altura, 77,00 mm de largura (abas), 12,70 mm de espessura de mesa e 9,80 mm de espessura de alma, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Detalhamento vigas modelo Lawson.



Fonte: Autor.

As estruturas metálicas, de forma geral, são ditas como estruturas leves. Portanto, a estabilidade de seus edifícios depende, usualmente, de um sistema de contraventamento. O modelo proposto por Lawson dispensa a utilização de um sistema de contraventamento quando empilhados, no máximo, três módulos, ou seja, para edifícios de até três andares. Quando utilizados sistemas de contraventamento, os pilares possuem resistência à compressão suficiente para o uso em edifícios de até dez pavimentos. (LAWSON, 2007).

3.4.2 Modelo Kovel

Jeffrey Kovel é arquiteto, formado na universidade de Cornell, em Nova Iorque nos Estados Unidos, e responsável pela criação de um sistema modular. Kovel mudou-se para o estado de Oregon, também nos Estados Unidos e fundou a empresa Skylab Architecture como um laboratório que explora a padronização de montagem de pré-fabricados na construção civil. A Skylab Architecture atua em setores variados, dentre os principais estão os setores comerciais e residenciais. (ARCHITALX, 2015).

A empresa Skylab Architecture, em colaboração com a Method Homes, desenvolveu um sistema modular pré-fabricado denominado de HOMB. Este sistema está vinculado com a utilização de módulos triangulares, com opções de

personalizações e expansões. O sistema HOMB garante economia de espaço, assim como possui diversas opções de acabamentos internos. (METHOD HOMES, 2021).

A utilização deste sistema pode variar de uma residência familiar até prédios comerciais maiores, com cerca de 4600 m². A casa Taft, representada na Figura 17, por exemplo, foi construída em 2013 através do sistema HOMB, na cidade de Portland, nos Estados Unidos, e é considerada como a primeira obra realizada através deste sistema. A residência conta com a utilização de 28 módulos triangulares, montados in loco em um único dia, visto que o terreno foi preparado ao mesmo tempo que os módulos foram produzidos em fábrica. (GONZÁLEZ, 2018). Os detalhes da casa Taft são representados na Figura 18.

Figura 17 - Casa Taft.



Fonte: Skylab Architecture (2021).

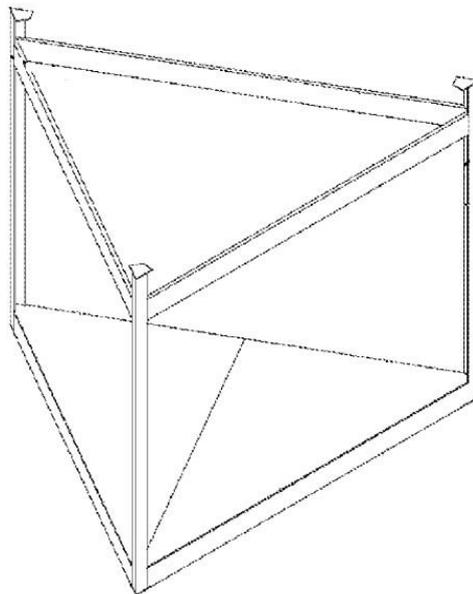
Figura 18 - Detalhes casa Taft.



Fonte: Skylab Architecture (2021).

Kovel propõem a criação de um módulo volumétrico com seus lados abertos. Porém, neste caso, trata-se de uma estrutura mista, em aço e madeira, conforme Figura 18. Além disso, a estrutura, originalmente, possui formato de um prisma triangular, como ilustrado na Figura 19, permitindo, desta maneira, a ampliação da variabilidade construtiva do conjunto.

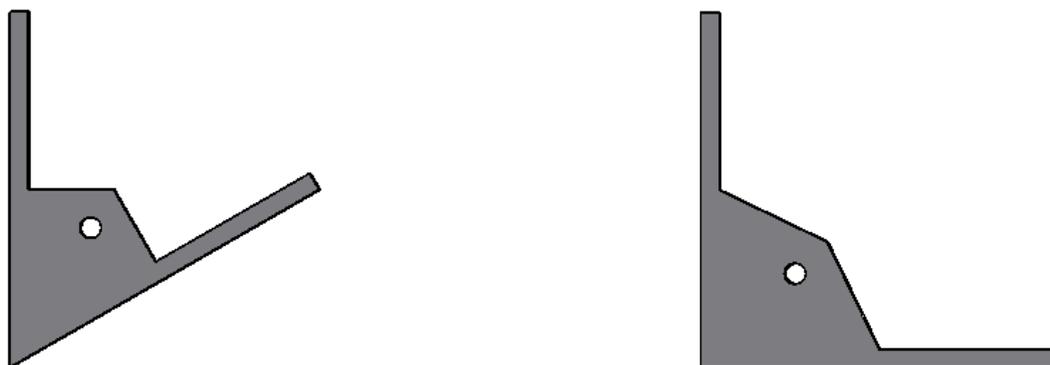
Figura 19 - Módulo volumétrico originalmente proposto por Kovel.



Fonte: Adaptado de Kovel (2011).

Foram realizadas, para o presente estudo, algumas adaptações ao modelo originalmente proposto por Kovel. Sabendo que o objeto do estudo se trata do conjunto conectivo dos modelos, serão modificados os materiais, alterando a estrutura mista em aço e madeira para uma estrutura composta, inteiramente, por aço. A segunda alteração ocorre em relação ao formato geométrico da estrutura, visto que o estudo comparativo pretende verificar a conexão dos módulos sobre um mesmo leiaute, serão comparados módulos de mesma geometria, ou seja, retangulares. A alteração na geometria do modelo permite a utilização de pilares com cantos em 90°, diferentemente dos cantos anteriormente representados com 60°, conforme Figura 20.

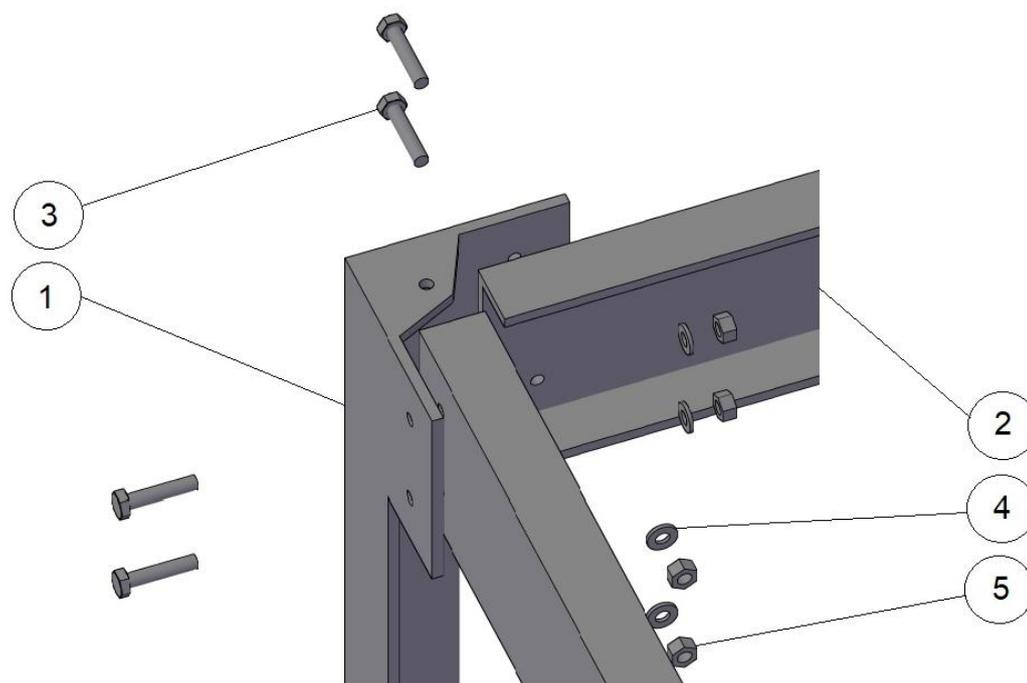
Figura 20 - Alteração forma geométrica modelo Kovel.



Fonte: Autor.

Os pilares deste modelo recebem, assim como no modelo proposto por Lawson, chapas metálicas soldadas em fábrica em suas extremidades. Porém, neste caso, os pilares são formados por cantoneiras simétricas e as chapas são posicionadas do lado externo do chassi, fazendo com que as vigas, representadas pelo número 2 na Figura 21, sejam posicionadas do lado interno do módulo, através de parafusos, arruelas e porcas, representados na Figura 21 pelos números 3, 4 e 5, respectivamente.

Figura 21 - Detalhe conexão viga pilar modelo Kovel.



Fonte: Autor.

3.5 Aplicação da metodologia

Foi desenvolvida, neste capítulo, a aplicação da metodologia, contendo os dados aplicados para análise, gerando resultados para a pesquisa do estudo comparativo.

3.5.1 Levantamento Acesso

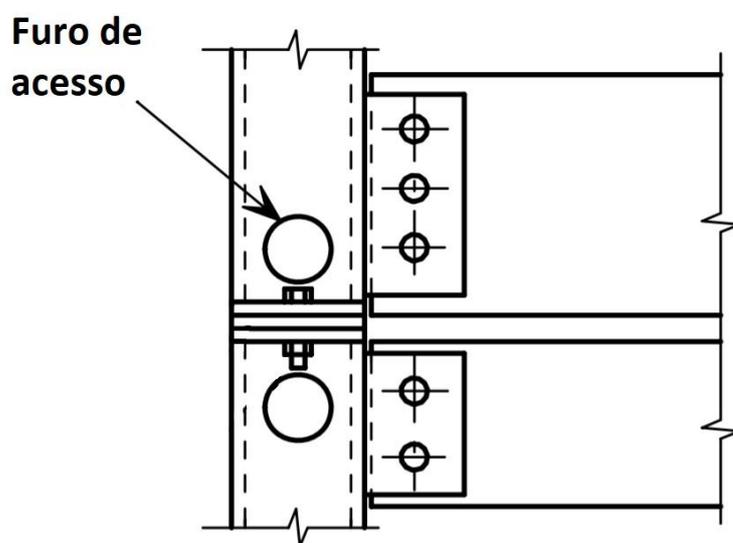
Neste capítulo foram levantadas as informações pertinentes ao acesso dos conjuntos conectivos, para o modelo proposto por Lawson e modelo proposto por Kovel, ainda caracterizados de forma individual. Com isso, o presente capítulo apresenta as formas como o acesso ao conjunto conectivo é proposto segundo informações retiradas dos próprios fabricantes destes modelos, assim como aplicadas ao leiaute definido para estudo.

A aplicação da metodologia em relação ao acesso dos conjuntos conectivos em ambos os modelos propostos foi realizada através de simulações digitais, onde foram modelados tridimensionalmente os chassis metálicos de acordo com informações retiradas dos próprios fabricantes deste material. Além disso, foram

realizadas montagens em material físico, criado a partir de chapas de MDF, simulando as conexões entre módulos volumétricos analisadas. Este material está presente ao final do trabalho, localizado nos apêndices.

O acesso ao conjunto conectivo do modelo proposto por Lawson, é dado pela parte externa do módulo volumétrico, visto que os pilares são compostos por tubos metálicos de seção vazada que possuem furos (áreas abertas) em suas faces externas, possibilitando o acesso do montador durante a união dos chassis metálicos em canteiro de obras, conforme Figura 22. Estes furos garantem o acesso tanto de ligações verticais (empilhamentos) quanto ligações horizontais (lado a lado) e devem possuir, no mínimo, 50 milímetros de diâmetro, permitindo a passagem de elementos conectivos como parafusos, porcas e arruelas. Os furos em questão possuem, somente, a função de liberar acesso a conexão, portanto, ao serem finalizadas as devidas conexões, os furos devem ser fechados. (LAWSON, 2007).

Figura 22 - Detalhe acesso conectivo modelo Lawson.



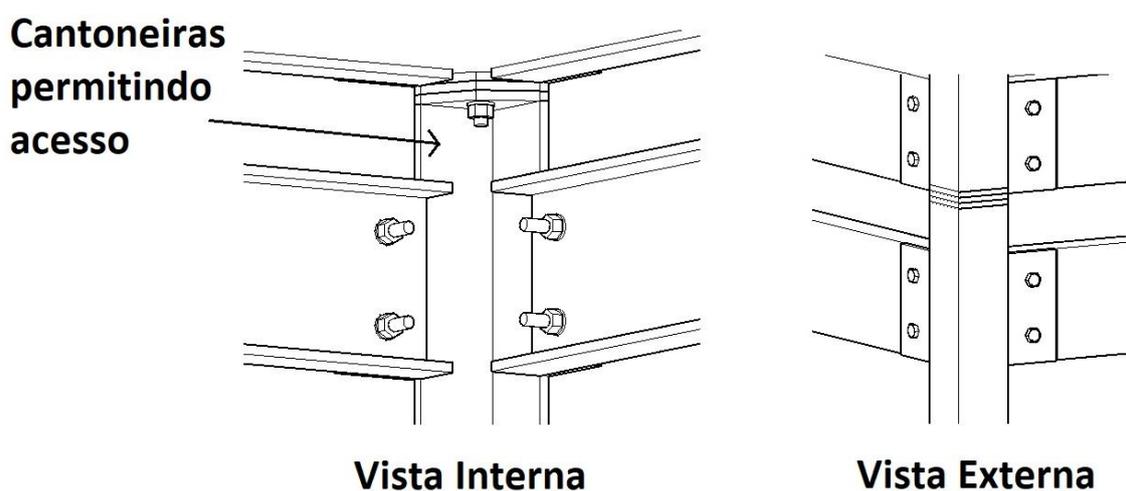
Fonte: Adaptado de Lawson (2007).

Devido ao acesso pelo meio externo, o modelo proposto por Lawson permite, portanto, que componentes internos do módulo volumétrico como teto e piso sejam instalados, em todos os casos, ainda na indústria, ou seja, prontos de fábrica. Este fato ocorre devido a independência dos componentes internos do módulo volumétrico em relação aos conjuntos conectivos realizados em canteiro de obras. Por outro lado, o conjunto conectivo deste modelo depende de seus elementos

externos, como revestimentos, por exemplo. Com isso, o revestimento externo vindo de fábrica deste modelo deve ser projetado de tal forma a não impedir com que os furos de acesso conectivo sejam bloqueados durante a execução da montagem em canteiro de obras.

Já o acesso ao conjunto conectivo do modelo proposto por Kovel é atendido pelo interior do módulo volumétrico, visto que os pilares são compostos por cantoneiras, ou seja, chapas dobradas que possibilitam o acesso do montador durante a união dos chassis metálicos em canteiro de obras, conforme Figura 23. (TERIBELE, 2016).

Figura 23 - Detalhe acesso conectivo modelo Kovel.

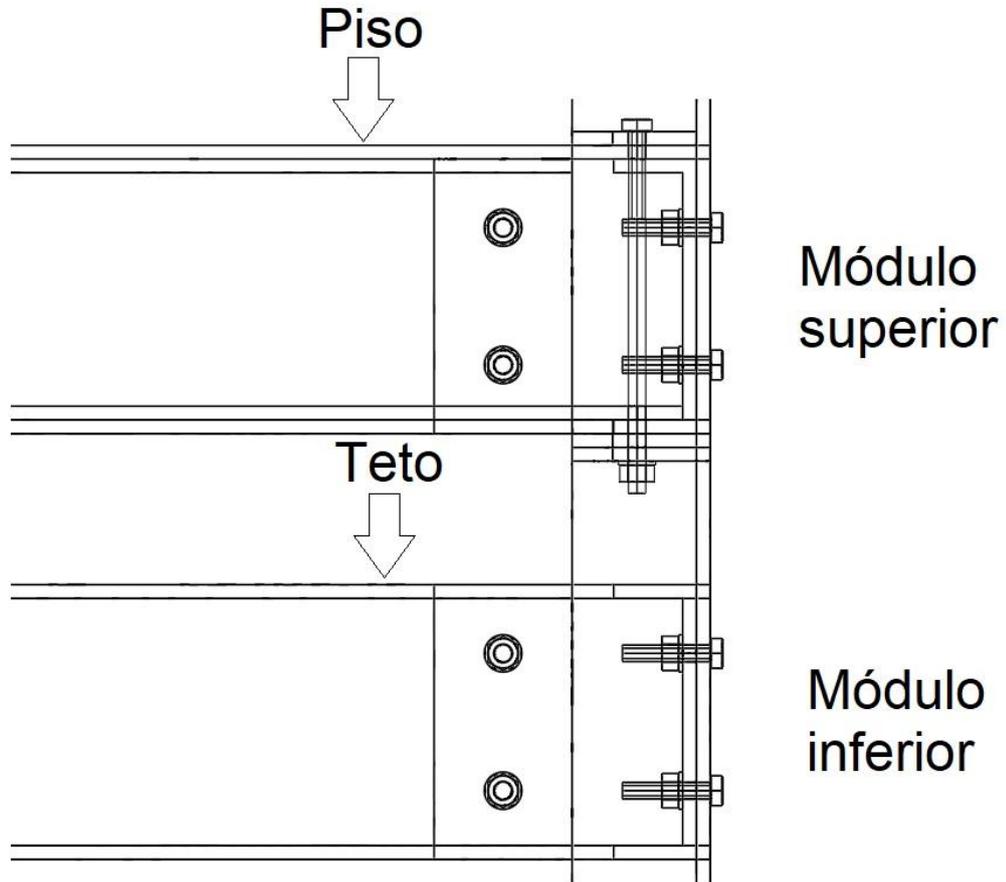


Fonte: Autor.

Devido ao acesso dos conjuntos conectivos pelo interior do módulo volumétrico, o modelo proposto por Kovel deve prever, em determinados casos, a realização, ainda dentro da indústria, de áreas vazadas no piso e/ou teto. Este fato ocorre devido a dependência dos componentes internos do módulo volumétrico em relação aos conjuntos conectivos realizados em canteiro de obras, visto que o acesso destes pode ser bloqueado por componentes vindos de fábrica, como piso e teto. (KOVEL, 2011). A Figura 24 representa o posicionamento do piso e do teto, quando instalados em fábrica, para o modelo proposto por Kovel. A Figura 25 representa as situações em o componente interno (piso) chega ao canteiro de obras já instalado, impedindo o montador de acessar o conjunto conectivo para realizar a

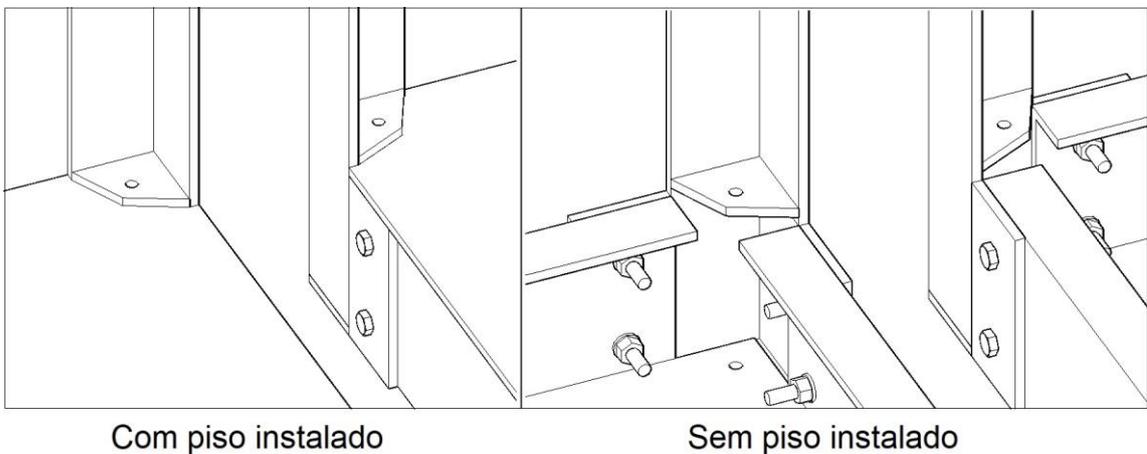
ligação horizontal entre os módulos volumétricos, e quando o piso não é instalado em fábrica, permitindo o acesso do montador.

Figura 24 - Posicionamento do piso e do teto modelo Kovel.



Fonte: Autor.

Figura 25 - Acesso conectivo bloqueado devido ao piso.



Com piso instalado

Sem piso instalado

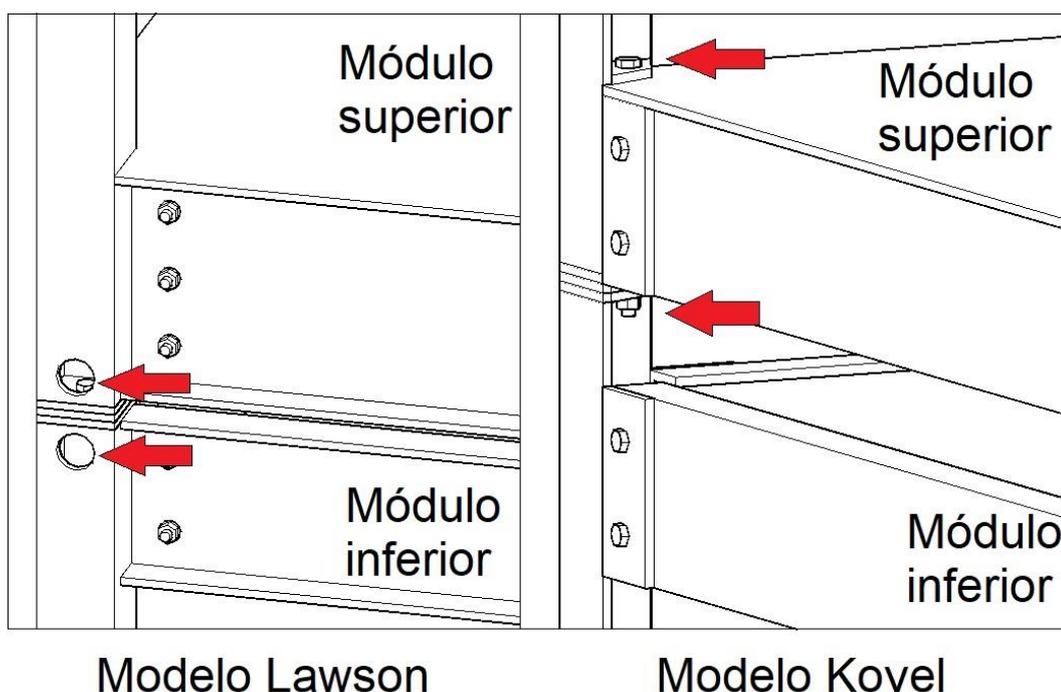
Fonte: Autor.

Com isso, é possível que os módulos volumétricos sejam transportados ao canteiro de obra com a estrutura principal e secundária finalizada, porém, com revestimentos internos pendentes. Em contrapartida, o modelo Kovel permite a finalização de revestimentos externos ainda em ambiente fabril, pois estes não interferem no processo de montagem da estrutura in loco.

Dito isto, para realização deste estudo comparativo, foram considerados módulos volumétricos com seus respectivos tetos e pisos instalados de fábrica, visto que tal fator tem influência direta no acesso dos conjuntos conectivos em determinados casos, conforme anteriormente apresentado na Figura 25. Além disso, a análise foi realizada para os três tipos de juntas presentes no processo de montagem in loco da estrutura sobre o leiaute definido e previamente descrito, sendo elas as juntas de canto, as juntas externas e as juntas internas.

Com isso, a junta de canto representa menores dificuldades para execução em ambos os modelos analisados. Fato ocorre devido o acesso do conjunto conectivo ser completamente garantido pelo meio externo do módulo volumétrico no modelo Lawson e pelo meio interno do módulo volumétrico no modelo Kovel, conforme Figura 26. As setas vermelhas na Figura 26 apontam para o local de acesso ao conjunto conectivo.

Figura 26 - Acesso conectivo em juntas de canto.

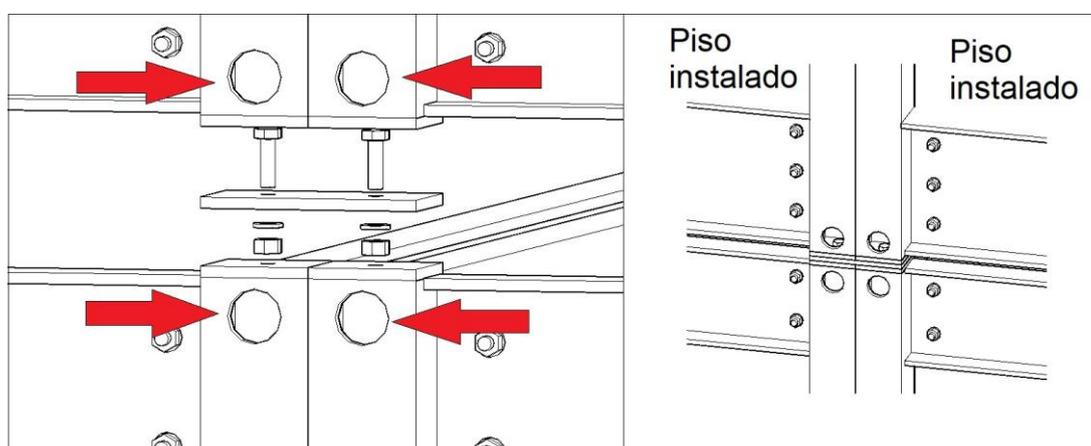


Ainda sobre as juntas de canto, as mesmas não necessitam de conexões horizontais, visto que os únicos módulos volumétricos em questão se encontram de maneira empilhada, ou seja, somente através de conexão vertical. A união dos chassis metálicos é realizada, em ambos os modelos, devido a presença de parafusos, arruelas e porcas, responsáveis por conectar as chapas horizontais perpendiculares aos pilares.

As juntas externas presentes no processo de montagem in loco da estrutura, por sua vez, possuem diferenças de execução dentro das propostas de modelos definidas por Lawson e Kovel, sobre o leiaute definido. O modelo Lawson gera acesso completo ao montador, sem alterações da estrutura vinda de fábrica, visto que, neste modelo, as juntas externas são realizadas, também, pela parte externa dos módulos volumétricos. As conexões horizontais das juntas externas são realizadas, em canteiro de obras, através de chapas conectivas posicionadas entre as extremidades dos pilares, conforme Figura 27.

O acesso a estas ligações horizontais é permitido no modelo Lawson devido a presença de furos (áreas abertas) na face dos pilares. Com isso, o modelo proposto por Lawson, neste tipo de junta conectiva, permite que os módulos volumétricos venham com piso instalado de fábrica, por inteiro, ou seja, sem a necessidade de seções vazadas nos pisos para acesso aos conjuntos conectivos, conforme Figura 27. A conexão vertical entre os módulos volumétricos inferiores e superiores neste tipo de junta conectiva (junta externa) é acessada, também, pelo exterior do módulo volumétrico, conforme demonstrado pelas setas vermelhas na Figura 27, e não possui qualquer tipo de bloqueio.

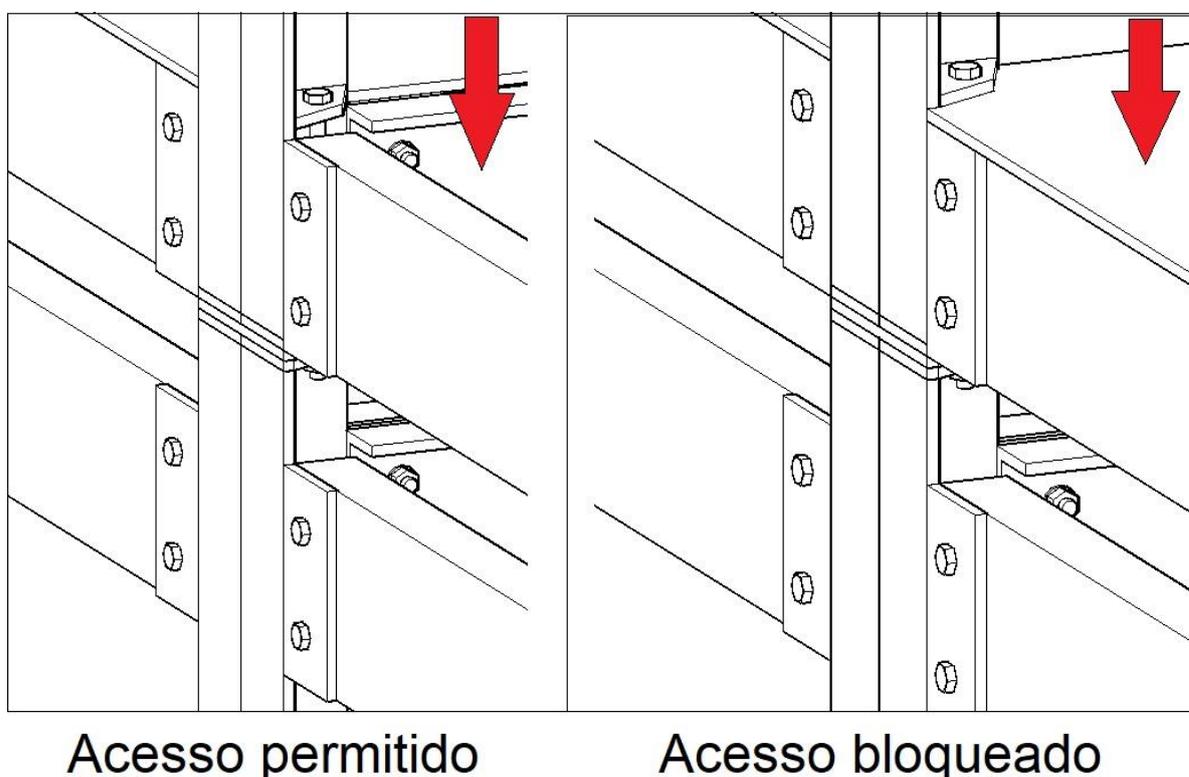
Figura 27 - Juntas conectivas externas modelo Lawson.



Fonte: Autor.

Porém, o modelo proposto por Kovel possui acesso limitado ao conjunto conectivo das juntas externas realizadas em canteiro de obras devido a presença de componentes internos como piso e teto, quando vindos instalados de fábrica, conforme Figura 28. Fato ocorre devido à presença, também, de conexões horizontais necessariamente realizadas in loco para este tipo de junta conectiva. O acesso a estas ligações horizontais é impedido devido à presença de piso acoplado a estrutura vindo de fábrica. Com isso, o modelo proposto por Kovel propõem a realização de seções vazadas no piso, permitindo o acesso à ligação, conforme Figura 28. As áreas vazadas são preenchidas após a realização da montagem.

Figura 28 - Acesso conectivo bloqueado em juntas externas modelo Kovel.



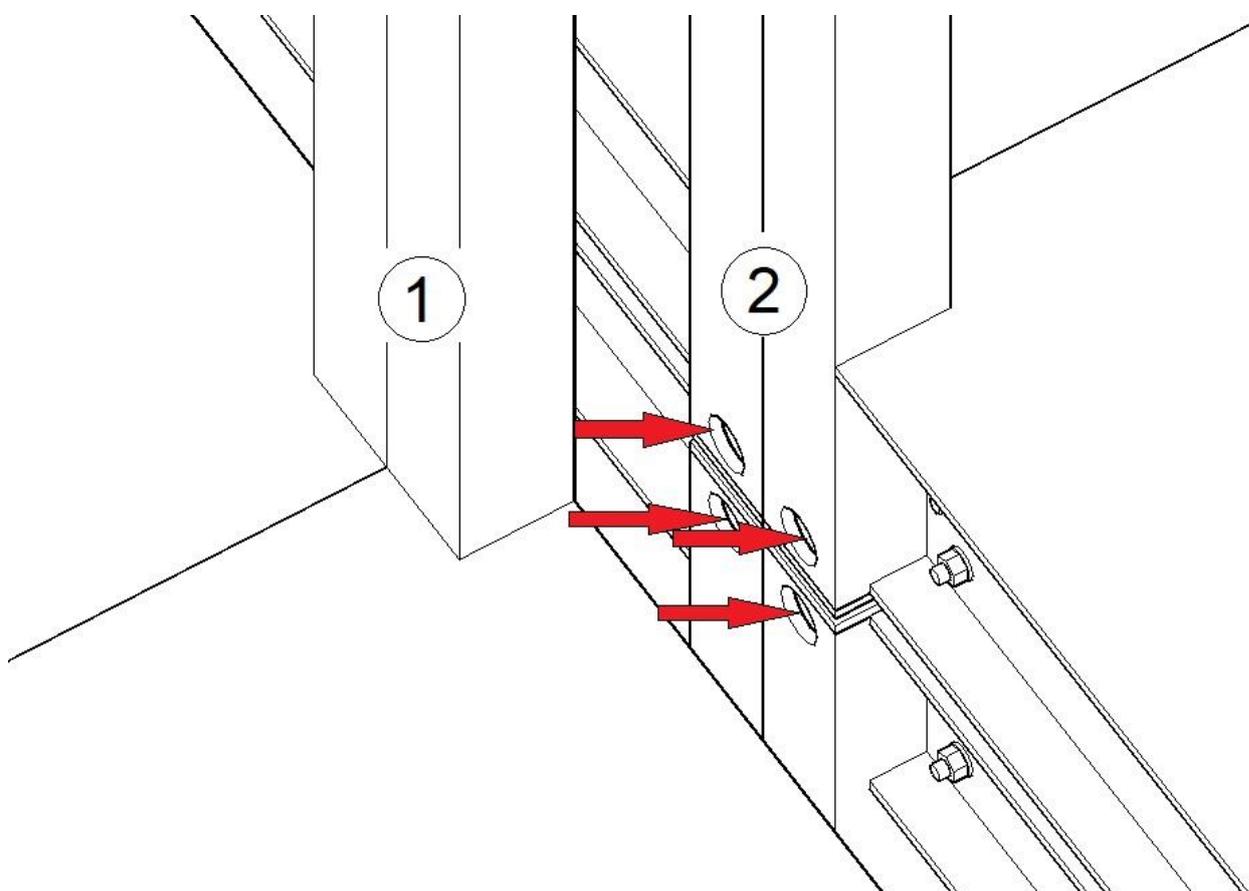
Fonte: Autor.

As juntas internas ocorrem pela união de oito módulos volumétricos, sendo quatro posicionados na parte inferior e outros quatro na parte superior, contemplando, portanto, ligações verticais e horizontais entre os chassis metálicos.

Em relação a estas juntas conectivas (internas), o modelo proposto por Lawson apresenta maiores dificuldade de execução em relação ao modelo Kovel. As juntas internas exigem, assim como as juntas externas, ligações horizontais e verticais entre os módulos volumétricos. Porém, neste caso, quatro módulos

volumétricos são conectados entre si horizontalmente. Com isso, o acesso ao conjunto conectivo para realização da montagem da estrutura in loco no modelo Lawson é bloqueado pela própria estrutura, ou seja, pelos módulos volumétricos. Conforme Figura 29, os furos nos pilares (demonstrados pelas setas em vermelho) ficam sem acesso quando o primeiro quarteto de módulos volumétricos (representados pelo número 1) encostam no segundo quarteto de módulos volumétricos (representados pelo número 2), impossibilitando, assim, a conexão através deste sistema.

Figura 29 - Acesso conectivo bloqueado em juntas internas modelo Lawson.



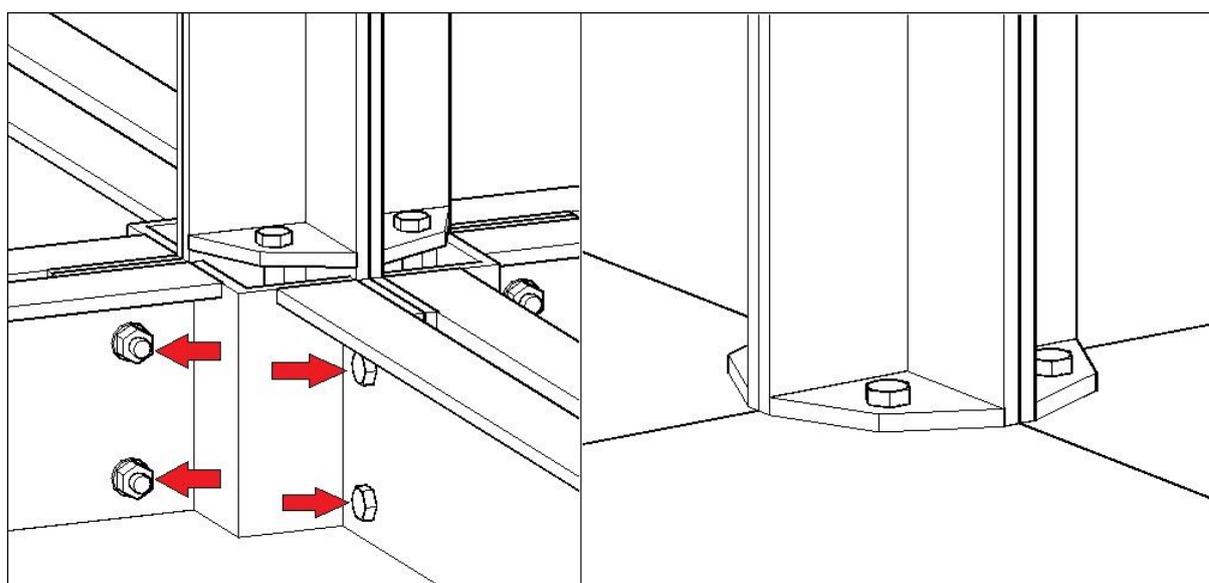
Fonte: Autor.

O modelo de conexão proposto por Lawson suporta, sem alterações, dois módulos volumétricos posicionados horizontalmente. Portanto, devem ser previstas mudanças no conjunto conectivo para fixação do terceiro e/ou quarto módulo volumétrico, visto que o acesso frontal é comprometido. (TERIBELE, 2016)

Por outro lado, o acesso do conjunto conectivo apresentado por Kovel é atendido em casos de juntas internas, desde que transportados os módulos

volumétricos sem componentes internos, como piso e teto. Fato ocorre devido a utilização de cantoneiras atuando como pilares, permitindo áreas abertas para acesso através do meio interno do módulo. Porém, nestas situações, devem ser previstas aberturas no piso, caso ele venha instalado de fábrica, conforme Figura 30. O acesso ao conjunto conectivo é demonstrado na Figura 30 através de setas vermelhas.

Figura 30 - Acesso conectivo em juntas internas modelo Kovel.



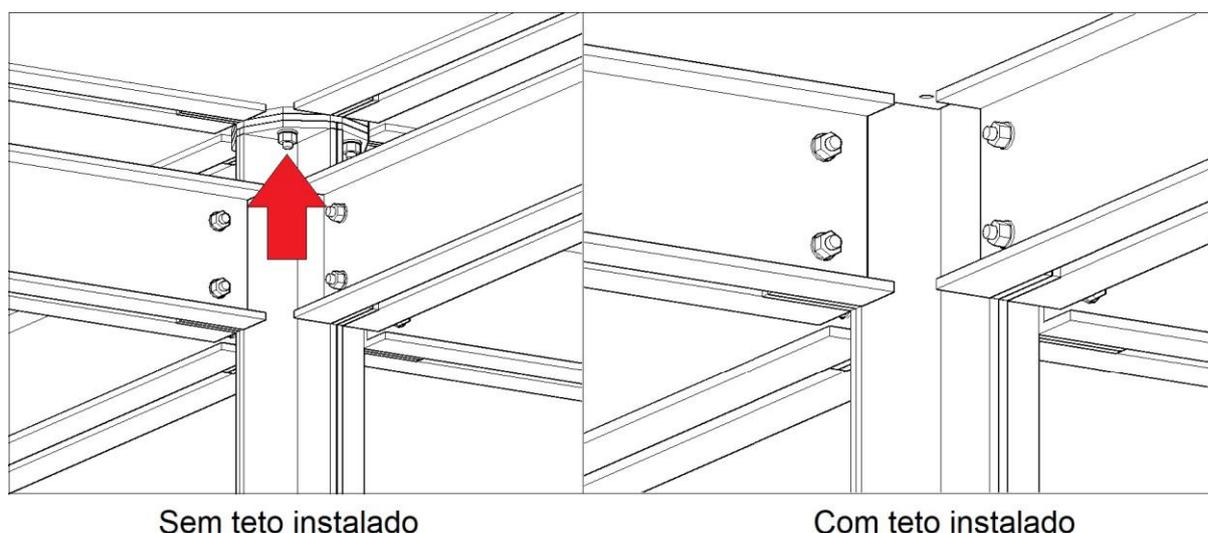
Sem piso instalado

Com piso instalado

Fonte: Autor.

As ligações verticais entre os quatro módulos volumétricos inferiores e os quatro módulos volumétricos superiores nas juntas internas também são realizadas com acesso conectivo por parte do montador, devido a utilização de chapas dobradas, através do interior do módulo volumétrico. Porém, a instalação do teto em ambiente fabril é impedida, devido ao fato de bloquear o acesso conectivo durante a montagem in loco das estruturas, conforme Figura 31.

Figura 31 - Acesso conectivo bloqueado devido ao teto.



Fonte: Autor.

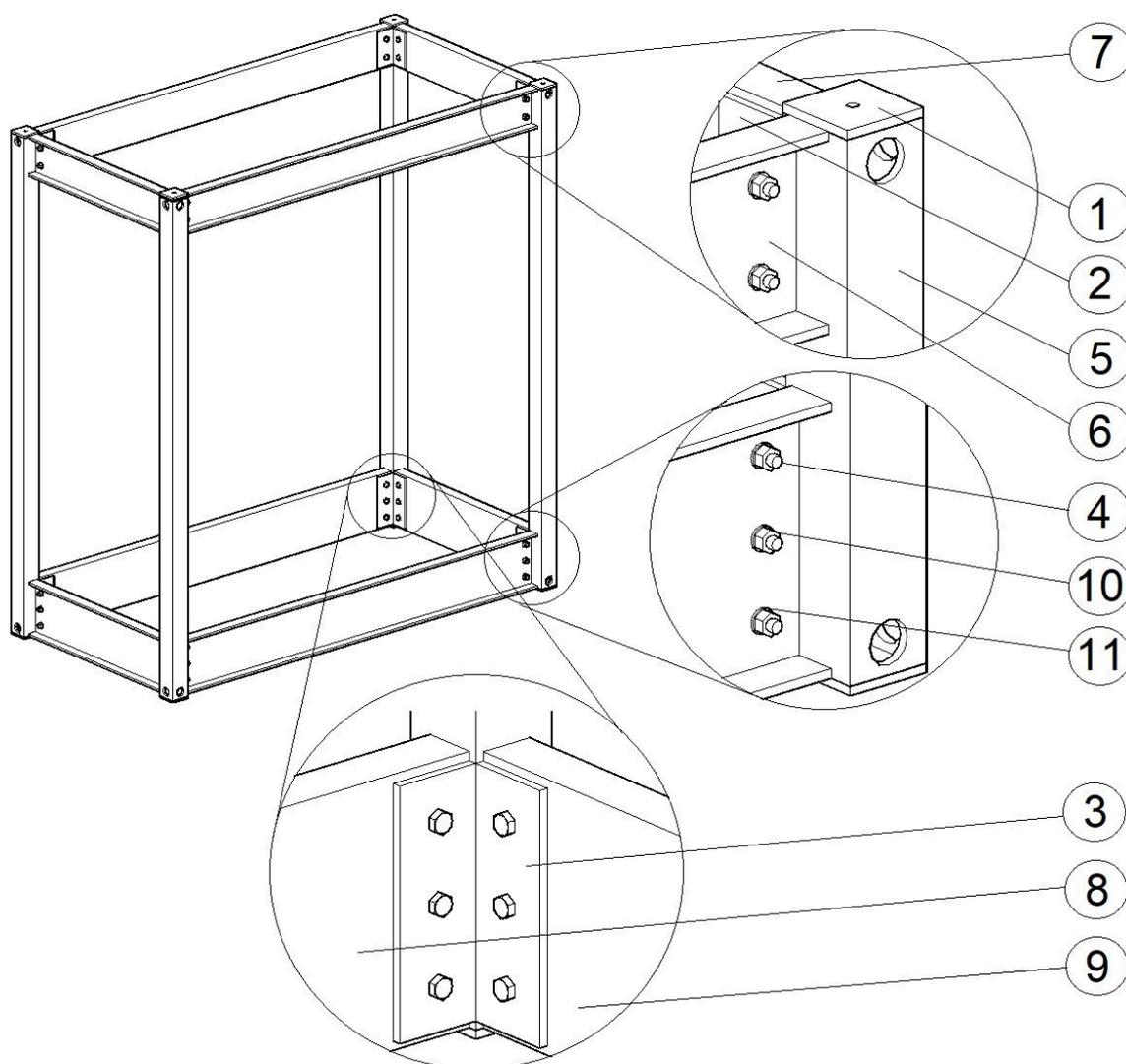
3.5.2 Levantamento indústria x canteiro

Para compreender a quantidade de peças e serviços relacionadas aos conjuntos conectivos em ambas situações (indústria e canteiro de obra), é necessário compreender como os módulos volumétricos saem da indústria, do ponto de vista de finalização. Portanto, nesta etapa do trabalho foram levantados os dados em relação a descrição e identificação das peças, a fim de facilitar a compreensão de futuras análises quantitativas.

Segundo Teribele (2016), os elementos presentes nos conjuntos conectivos podem ser divididos, ainda, em componentes agregados ao módulo volumétrico ainda na indústria, como chapas e pinos, e componentes agregados ao edifício, ou seja, utilizados apenas em canteiro de obras, durante o processo de montagem das unidades prontas de fábrica, como parafusos e chapas.

A fim de quantificar as peças e serviços necessários em canteiro de obra para construção da estrutura proposta através do modelo definido por Lawson, o presente estudo realizou um levantamento quantitativo e descritivo de todas as peças agregadas ao módulo volumétrico (módulo 130x260 e módulo 260x260) e peças agregadas ao edifício, de forma individual. A Figura 32 representa a numeração das peças agregadas ao módulo volumétrico para chassis de dimensões 130x260.

Figura 32 – Numeração peças agregadas ao módulo volumétrico 130x260 modelo Lawson.



Fonte: Autor.

Conforme Figura 32, a Peça 1 é descrita como uma chapa metálica posicionada nas extremidades dos tubos metálicos. Esta ligação metálica entre a chapa (Peça 1) e o tubo metálico (Peça 5) é realizada através de soldas, em ambiente controlado. As Peças 2 e 3 são descritas com chapas metálicas posicionadas as extremidades dos tubos metálicos. Porém, a diferença entre elas está no seu posicionamento, visto que a Peça 2 está posicionada na extremidade superior do tubo metálico, enquanto que a Peça 3 localiza-se na extremidade oposta, ou seja, na extremidade inferior do pilar. Ambas são responsáveis pela conexão dos tubos as vigas e são fixadas aos tubos metálicos através de soldas. A Peça 4 é descrita como um parafuso estrutural, fazendo parte do conjunto conectivo

das vigas aos pilares. Em relação a Peça 5, a mesma é descrita como um tubo metálico de seção vazada, utilizada como pilar de extremidade do chassi metálico. A Peça 6, assim como as Peças 7, 8 e 9, são descritas como vigas em perfil “U”. A diferença está no tamanho e posicionamento, visto que as Peças 6 e 7 estão localizadas nas extremidades superiores da estrutura, e possuem comprimentos diferentes, visto que fazem parte do módulo volumétrico retangular 130x260. O mesmo ocorre para as Peças 8 e 9, visto que também se diferenciam quanto ao seu comprimento, porém, neste caso, estão localizadas na extremidade inferior dos tubos metálicos, conforme Figura 32. Por fim, as Peças 10 e 11 são descritas como porcas sextavadas e arruelas, respectivamente. Ambas estão presentes nos conjuntos conectivos entre vigas e pilares, assim como os parafusos (Peça 4).

A quantidade total de cada peça agregada ao módulo 130x260 e anteriormente descritas é representada através da Tabela 1.

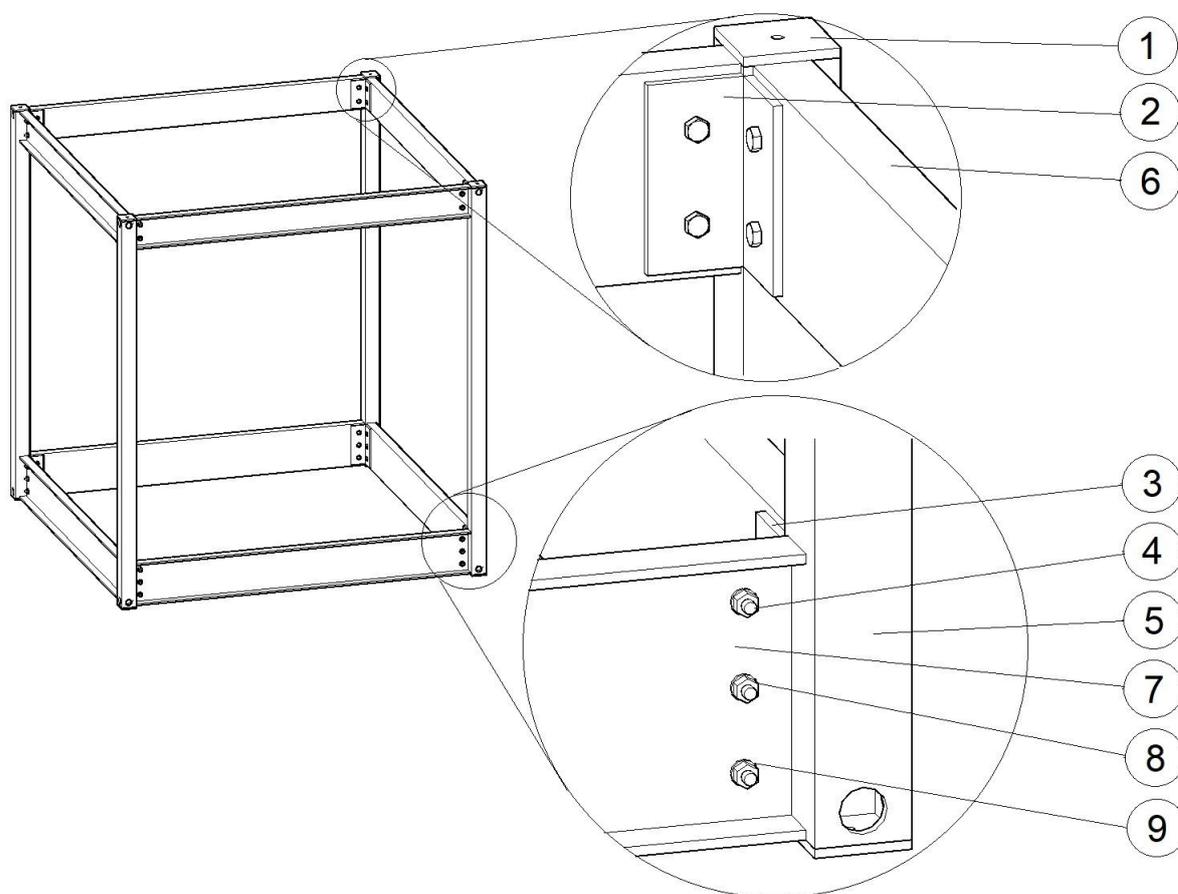
Tabela 1 - Quantificação peças agregadas ao módulo volumétrico 130x260 modelo Lawson.

Descrição	Número	Quantidade
Peça	1	8,00
Peça	2	8,00
Peça	3	8,00
Peça	4	40,00
Peça	5	4,00
Peça	6	2,00
Peça	7	2,00
Peça	8	2,00
Peça	9	2,00
Peça	10	40,00
Peça	11	40,00
TOTAL		156,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 33 representa a numeração das peças agregadas aos módulos volumétricos para chassis de dimensões 260x260.

Figura 33 - Numeração peças agregadas ao módulo volumétrico 260x260 modelo Lawson.



Fonte: Autor.

Conforme Figura 33, a Peça 1 é descrita como uma chapa metálica posicionada nas extremidades dos tubos metálicos. Esta ligação metálica entre a chapa (Peça 1) e o tubo metálico (Peça 5) é realizada através de soldas, em ambiente controlado. As Peças 2 e 3 são descritas com chapas metálicas posicionadas as extremidades dos tubos metálicos. Porém, a diferença entre elas está no seu posicionamento, visto que a Peça 2 está posicionada na extremidade superior do tubo metálico, enquanto que a Peça 3 localiza-se na extremidade oposta, ou seja, na extremidade inferior do pilar. Ambas são responsáveis pela conexão dos tubos as vigas e são fixadas aos tubos metálicos através de soldas. A Peça 4 é descrita como um parafuso estrutural, fazendo parte do conjunto conectivo das vigas aos pilares. Em relação a Peça 5, a mesma é descrita como um tubo metálico de seção vazada, utilizada como pilar de extremidade do chassi metálico. A Peça 6, assim como a Peças 7, são descritas como vigas em perfil “U”. A diferença

está no tamanho e posicionamento, visto que a Peça 6 está localizada na extremidade superior da estrutura e possui dimensões menores quando comparadas à Peça 7 que, por sua vez, está localizada na extremidade inferior da estrutura, conforme Figura 33. Por fim, as Peças 8 e 9 são descritas como porcas sextavadas e arruelas, respectivamente. Ambas estão presentes nos conjuntos conectivos entre vigas e pilares, assim como os parafusos (Peça 4).

A quantidade total de cada peça agregada ao módulo 260x260 e anteriormente descritas é representada através da Tabela 2.

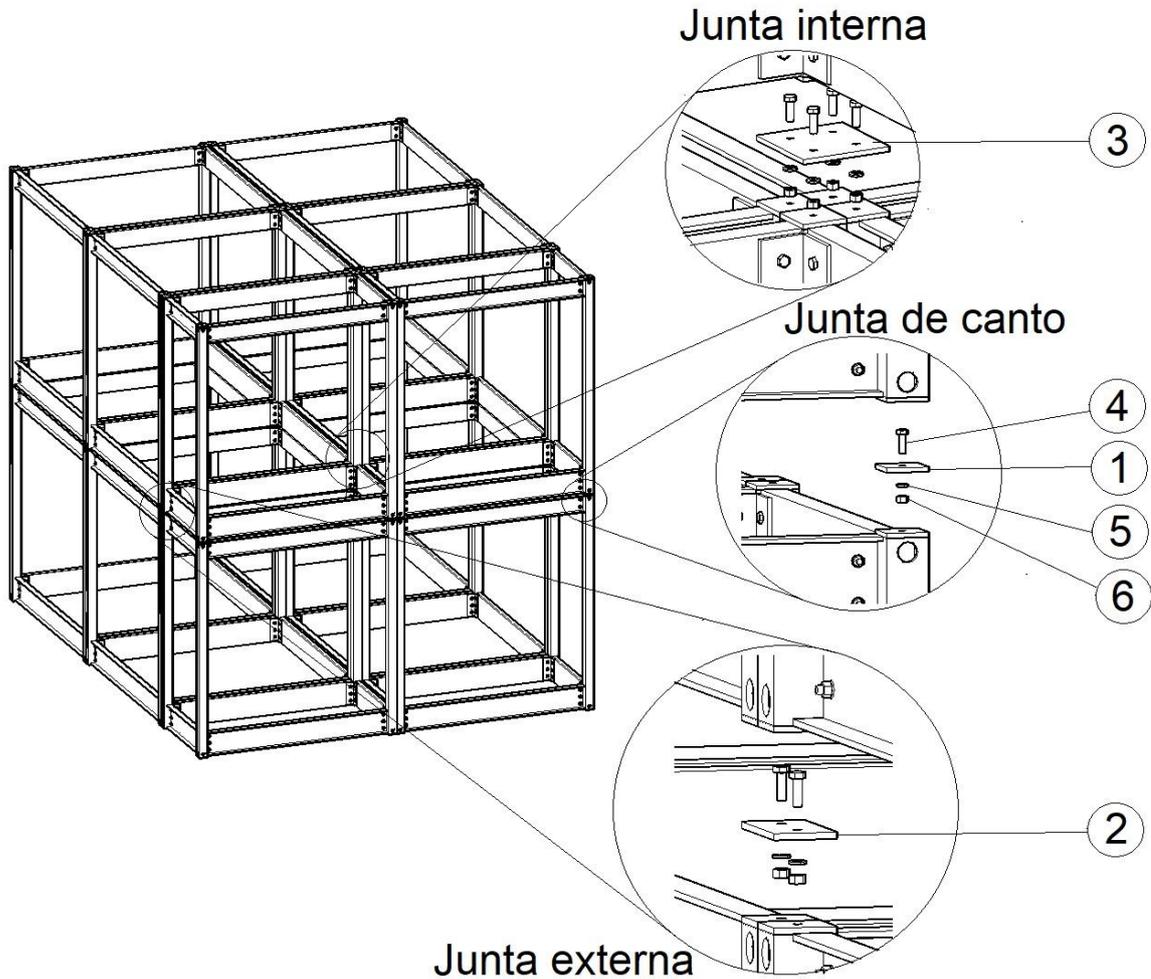
Tabela 2 - Quantificação peças agregadas ao módulo volumétrico 260x260 modelo Lawson.

Descrição	Número	Quantidade
Peça	1	8,00
Peça	2	8,00
Peça	3	8,00
Peça	4	40,00
Peça	5	4,00
Peça	6	4,00
Peça	7	4,00
Peça	8	40,00
Peça	9	40,00
TOTAL		156,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 34 representa a numeração das peças agregadas ao edifício, durante o processo de montagem in loco da estrutura. A numeração foi realizada através do tipo de junta conectiva gerada, visto que estas exigem peças diferentes em cada um dos casos.

Figura 34 - Numeração peças agregadas ao edifício modelo Lawson.



Fonte: Autor.

Conforme Figura 34, a Peça 1 é agregada ao edifício durante o processo de montagem in loco da estrutura e é descrita como uma chapa metálica, responsável pela conexão dos módulos através de juntas conectivas de canto. Em relação a Peça 2, a mesma é descrita como uma chapa metálica agregada ao edifício e responsável por estabelecer a conexão horizontal dos módulos volumétricos em juntas conectivas externas, durante o processo de montagem da estrutura em canteiro de obras. A Peça 3 é agregada ao edifício quando solicitadas juntas conectivas internas e é descrita como uma chapa metálica responsável por conectar horizontalmente os módulos volumétricos envolvidos. Por fim, as Peças 4, 5 e 6 referem-se aos parafusos estruturais, arruelas e porcas sextavadas, respectivamente. Estas peças fazem parte de todas as juntas conectivas

apresentadas anteriormente, e são agregadas ao edifício com a função de estabelecer ligações verticais entre os módulos volumétricos envolvidos.

Com isso, a quantidade total de cada peça agregada ao edifício por tipo de junta conectiva é representada na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantificação peças agregadas ao edifício modelo Lawson.

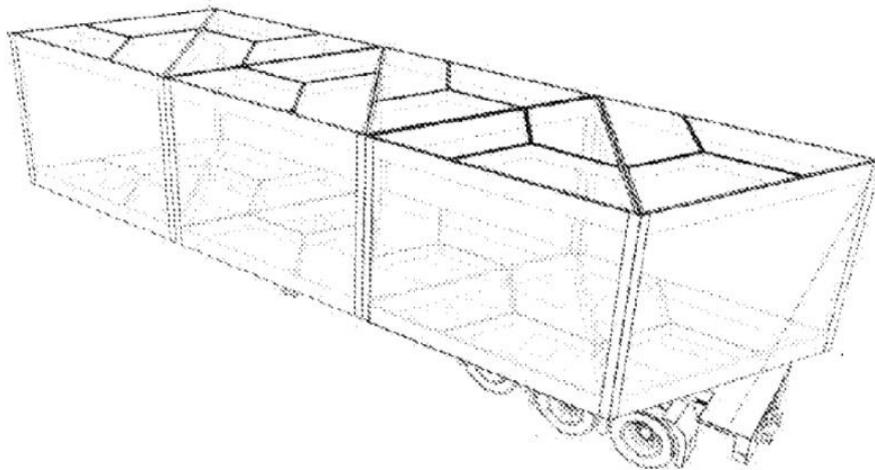
Peça	Quantidade		
	Junta de canto	Junta externa	Junta interna
1	1,00	-	-
2	-	1,00	-
3	-	-	1,00
4	1,00	2,00	4,00
5	1,00	2,00	4,00
6	1,00	2,00	4,00
TOTAL	4,00	7,00	13,00

Fonte: Autor.

O mesmo levantamento foi realizado, também, para o modelo proposto por Kovel, porém, para levantar a quantidade de peças agregadas ao módulo volumétrico e ao edifício através da utilização do modelo proposto por Kovel sobre leiaute definido, é necessário levantar, também, o modo como a estrutura é transportada, visto que este modelo propõe quantidades de peças a serem reinstaladas em canteiro de obra.

O modelo Kovel, portanto, é transportado com o maior número possível de módulos volumétricos já unidos entre si, sendo este número limitado pelas dimensões de transporte, conforme Figura 35.

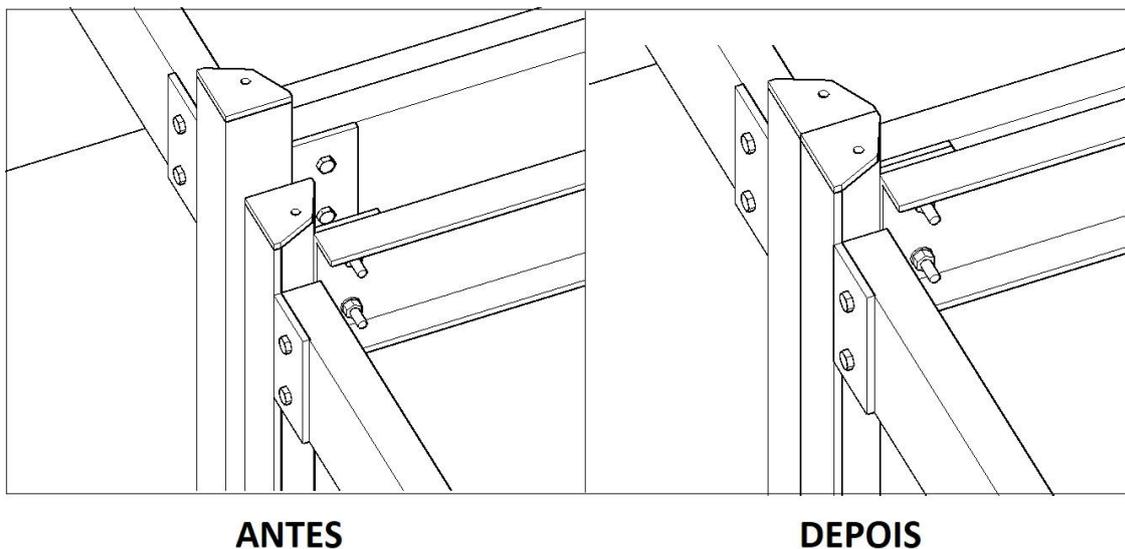
Figura 35 - Transporte típico modelo Kovel.



Fonte: Adaptado de Kovel (2011).

Fato ocorre devido ao sistema de fixação horizontal dos módulos volumétricos, conforme Figura 36. Dois módulos volumétricos independentes, antes de conectados entre si, possuem seus próprios sistemas de fixação entre viga e pilar, através de parafusos, arruelas e porcas. Porém, ao efetuar a ligação entre os chassis metálicos independentes, o conjunto conectivo passa a ser único. Conforme Figura 36, o momento anterior à união dos módulos volumétricos é caracterizado pela presença de maior quantidade de peças (parafusos, arruelas e porcas) em relação ao momento posterior a conexão. Caso todos os módulos volumétricos da estrutura fossem transportados de forma individual ao canteiro de obras, o resultado seria uma grande quantidade de serviços realizados in loco.

Figura 36 - Conexões horizontatais entre módulos volumétricos modelo Kovel.

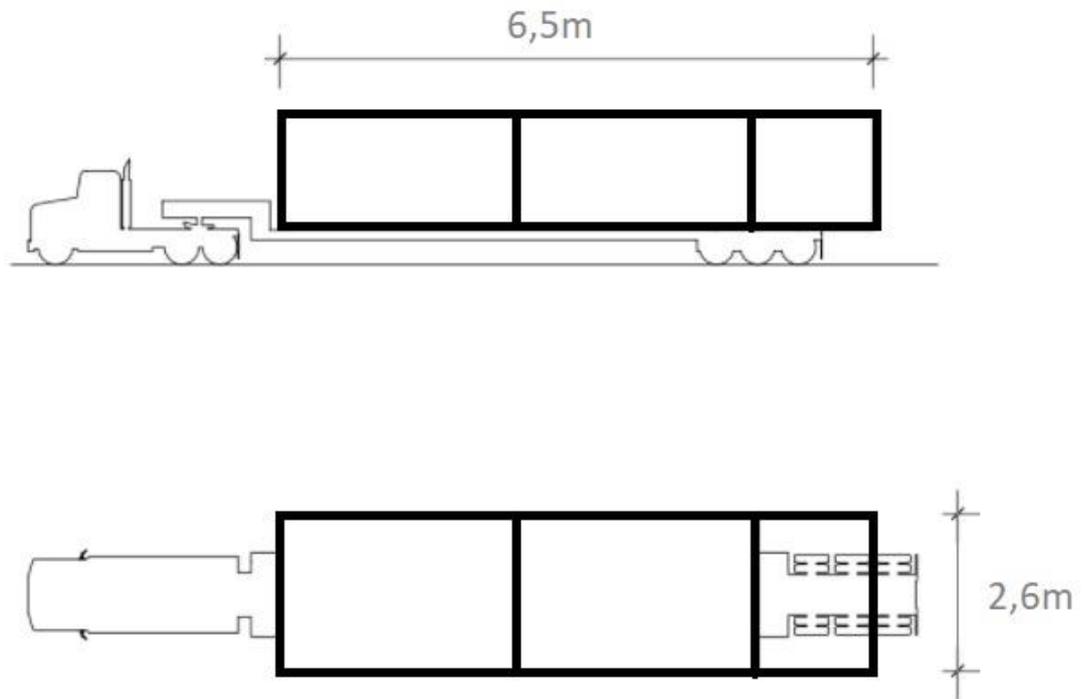


Fonte: Autor.

Visto que a forma como são transportados os módulos volumétricos do modelo Kovel influenciam diretamente na quantidade de peças e serviços a serem realizados em canteiro de obras, foram definidas as quantidades e disposição dos chassis metálicos em cada caminhão para realização da análise deste critério.

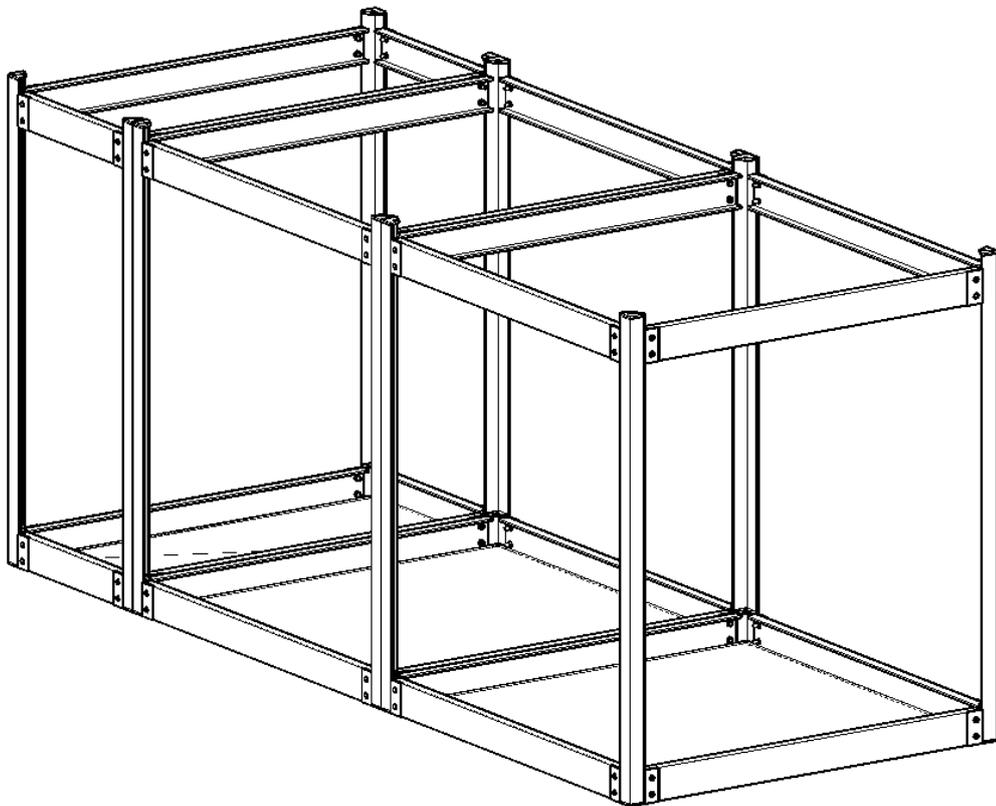
Portanto, o módulo volumétrico triangular anteriormente apresentado na Figura 35 é transportado em seis unidades por carga, devido seu formato geométrico e as limitações de transporte do país. Em território brasileiro, as dimensões limites de transporte terrestre são estabelecidas pelo CONTRAN, sendo 2,6 metros de largura, 4,4 metros de altura e comprimento variável, de acordo com o caminhão. Portanto, para aplicação sobre leiaute definido para estudo, foram definidos o transporte de três módulos volumétricos por carga, sendo dois chassis metálicos 260x260 e um chassi metálico 130x260, dispostos conforme Figura 37. A estrutura metálica resultante desta união de módulos volumétricos é representada conforme Figura 38.

Figura 37 - Transporte definido para modelo Kovel.



Fonte: Autor.

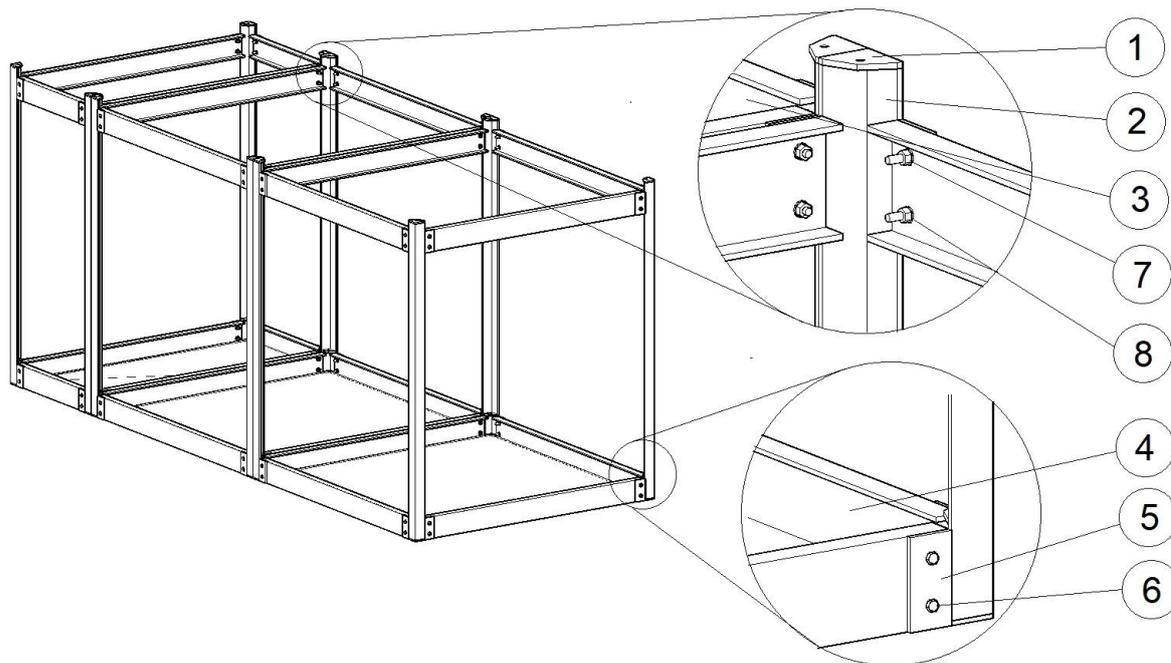
Figura 38 - Estrutura metálica transportada modelo Kovel.



Fonte: Autor.

Com isso, a quantidade de peças agregadas ao módulo volumétrico, ou seja, a quantidade de peças instaladas em ambiente controlado (indústria), para modelo proposto por Kovel, foi analisada para as estruturas representadas na Figura 38, e sua numeração para análise quantitativa das peças agregadas ao módulo volumétrico é representada na Figura 39.

Figura 39 - Numeração peças agregadas módulo volumétrico modelo Kovel.



Fonte: Autor.

Conforme Figura 39, a Peça 1 é definida como uma chapa metálica posicionada nas extremidades das cantoneiras. Esta ligação metálica entre a chapa (Peça 1) e a cantoneira (Peça 2), é realizada através de soldas em ambiente controlado (indústria). Em relação a Peça 2, como dito anteriormente, a mesma é descrita como uma cantoneira, chapa dobrada, posicionada nas extremidades da estrutura e utilizada como pilar. A Peça 3 e a Peça 4 representam as vigas da estrutura, e se diferem entre si somente pelo seu comprimento, visto que a estrutura metálica analisada é composta por módulos volumétricos de tamanhos diferentes (130x260 e 260x260). A Peça 5 representa uma chapa metálica, soldada nas extremidades dos pilares, com a função de conectar as vigas aos pilares. Esta conexão, por sua vez, ocorre, também, devido a utilização das Peças 6, 7 e 8, descritas como parafusos estruturais, porcas sextavadas e arruelas, respectivamente, responsáveis por conectar as vigas aos pilares da estrutura.

Com isso, a quantidade total de cada peça agregada a estrutura montada dentro da indústria é representada através da Tabela 4.

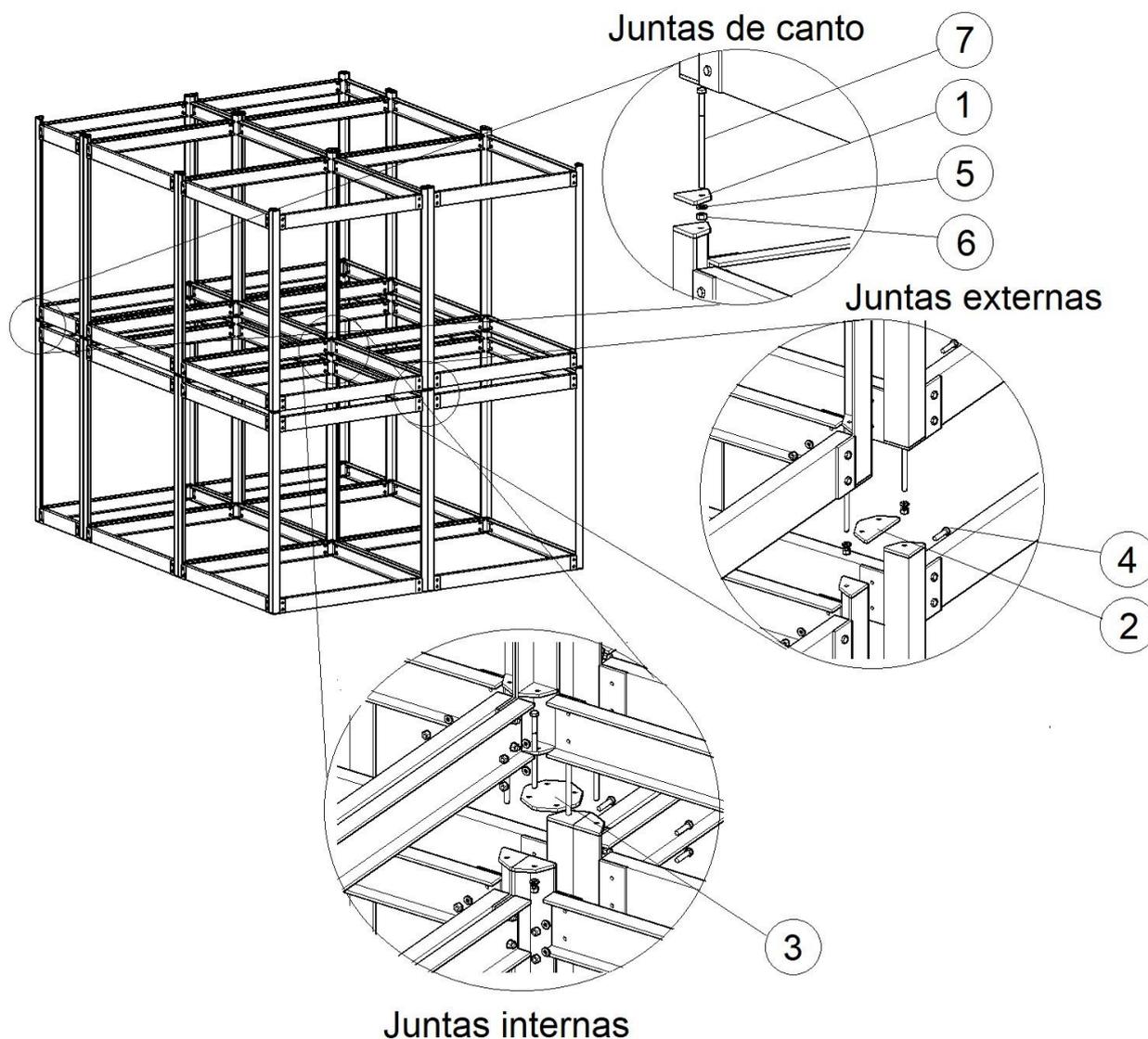
Tabela 4 - Quantificação peças agregadas ao módulo volumétrico modelo Kovel.

Descrição	Número	Quantidade
Peça	1	24,00
Peça	2	12,00
Peça	3	4,00
Peça	4	20,00
Peça	5	48,00
Peça	6	80,00
Peça	7	80,00
Peça	8	80,00
TOTAL		348,00

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Por fim, a Figura 40 representa a numeração das peças agregadas ao edifício, durante o processo de montagem in loco da estrutura, em relação ao modelo proposto por Kovel. Esta numeração foi realizada, também, através do tipo de junta conectiva gerada, visto que estas exigem peças diferentes em cada um dos casos.

Figura 40 - Numeração peças agregadas ao edifício modelo Kovel.



Fonte: Autor.

Conforme Figura 40, a Peça 1 é agregada ao edifício durante o processo de montagem in loco da estrutura e é descrita como uma chapa metálica, responsável pela conexão dos módulos através de juntas conectivas de canto. Em relação a Peça 2, a mesma é descrita como uma chapa metálica agregada ao edifício e responsável por estabelecer a conexão horizontal dos módulos volumétricos em juntas conectivas externas, durante o processo de montagem da estrutura em canteiro de obras. A Peça 3 é agregada ao edifício quando solicitadas juntas conectivas internas e é descrita como uma chapa metálica responsável por conectar horizontalmente os módulos volumétricos envolvidos. A Peça 4 é descrita como um parafuso estrutural, responsável pelas conexões horizontais dos módulos

volumétricos presentes nas juntas conectivas externas e internas. Em relação as Peças 5 e 6, as mesmas são descritas como arruelas e porcas sextavadas, respectivamente, e fazem parte das conexões entre módulos de todas as juntas conectivas avaliadas. Por fim, a Peça 7 é descrita como um para estrutural de comprimento maior, responsável pelas conexões verticais entre os módulos volumétricos.

Com isso, a quantidade total de cada peça agregada ao edifício por tipo de junta conectiva é representada na Tabela 5.

Tabela 5 - Quantificação peças agregadas ao edifício modelo Kovel.

Peça	Quantidade		
	Junta de canto	Junta externa	Junta interna
1	1,00	-	-
2	-	1,00	-
3	-	-	1,00
4	-	4,00	8,00
5	1,00	6,00	12,00
6	1,00	6,00	12,00
7	1,00	2,00	4,00
TOTAL	4,00	19,00	37,00

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir do levantamento realizado anteriormente apresentado nesta pesquisa, foram apresentados, neste capítulo, os resultados referentes ao acesso e a quantidade de peças e serviços realizados em fábrica e em canteiro de obra. Os resultados são discutidos e analisados através de tabelas comparativas entre os modelos.

4.1 Análise acesso

O acesso aos conjuntos conectivos por parte do montador em canteiro de obra apresenta resultados diferentes aos modelos propostos por Lawson e Kovel. Fato ocorre devido ao acesso realizado por meios diferentes entre os objetos comparados, visto que Lawson propõem um modelo com acesso externo do módulo volumétrico ao conjunto conectivo, ao mesmo passo que Kovel apresenta um modelo com acesso interno do módulo volumétrico.

De maneira geral, o modelo proposto por Kovel é capaz de atender todas as exigências de acesso a conexão durante o processo de montagem da estrutura em canteiro de obras sobre o leiaute definido, desde que, em determinados casos, o módulo volumétrico não apresente componentes internos como piso e teto instalados de fábrica.

Em relação ao modelo proposto por Lawson, o acesso ao conjunto conectivo durante a montagem dos módulos volumétricos in loco sobre leiaute definido não é atendido em todos os casos. Fato ocorre devido a presença de juntas internas geradas a partir do leiaute. Com isso, a técnica de conexão proposta por Lawson, com acesso através de furos nas faces externas dos pilares, não é capaz de gerar acesso ao conjunto conectivo, sendo assim, o sistema não é capaz de atender, integralmente, todas as conexões considerando o modelo utilizado.

Por esta razão, foram obtidos resultados divergentes, sendo eles levantados conforme as juntas conectivas geradas a partir do modelo de leiaute definido. Cada junta conectiva analisada, exceto as juntas de canto, possui ligações horizontais e verticais entre os módulos volumétricos analisados, sendo ambas as maneiras analisadas para cada encontro de chassis.

Com isso, a Tabela 6 representa um resumo comparativo dos modelos Lawson e Kovel em relação ao acesso dos conjuntos conectivos para os casos anteriormente descritos e analisados.

Tabela 6 - Resumo comparativo do acesso conectivo entre modelos.

Junta conectiva	Tipo de conexão	Modelo Lawson	Modelo Kovel
Juntas de canto	Horizontal	-	-
	Vertical	Com acesso	Com acesso
Juntas externas	Horizontal	Com acesso	Acesso parcial
	Vertical	Com acesso	Acesso parcial
Juntas internas	Horizontal	Sem acesso	Acesso parcial
	Vertical	Sem acesso	Acesso parcial

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 6 demonstra, com isso, o atendimento completo, parcial ou incompleto do acesso do conjunto conectivo para cada situação analisada. É entendido por acesso completo os casos em que o montador, durante a instalação da estrutura em canteiro de obra, possui acesso total ao conjunto conectivo para realização do serviço. Ou seja, não existem empecilhos aos quais restringem o acesso. O acesso parcial, por sua vez, é compreendido pelos casos em que a montagem da estrutura é possibilitada, porém, necessita de alterações vindas de fábrica, como é o caso da instalação de pisos e tetos. Por fim, as situações em que o montador é impossibilitado de realizar a montagem em canteiro de obras são descritas como sem acesso, visto que, mesmos com alterações de componentes internos dos módulos volumétricos, o acesso é completamente bloqueado para realização dos serviços.

4.2 Análise indústria x canteiro

De acordo com o segundo critério de avaliação definido (indústria x canteiro), foram apresentados, nesta etapa do trabalho, os resultados que envolvem a quantidade de peças e serviços a serem realizados em cada modelo, através de comparativos.

O levantamento de peças presentes em cada modelo de chassi metálico estudado, para montagem da estrutura em fábrica e em canteiro de obras sobre

leiaute definido, permitiu com que fossem analisadas, neste capítulo, a quantidade total de peças utilizadas em ambos ambientes, indústria e terreno, para cada modelo, Lawson e Kovel. Para isso, foram contabilizados, também, os conjuntos conectivos (chapas, parafusos, arruelas e porcas) para fixação dos módulos volumétricos em estruturas complementares, como é o caso das fundações em relação ao primeiro pavimento e telhado em relação ao segundo pavimento, sendo estas peças quantificadas da mesma maneira que ligações metálicas parafusadas in loco entre módulos volumétricos.

A Tabela 7 representa os quantitativos finais de peças levantadas em ambos modelos.

Tabela 7 - Resumo comparativo quantidade de peças entre modelos.

Modelo	Quantidade de peças (unid.)			Porcentagem (%)	
	Indústria	Canteiro	Total	% Indústria	% Canteiro
Lawson	1.872,00	276,00	2.148,00	87,15%	12,85%
Kovel	1.392,00	312,00	1.560,00	89,23%	20,00%

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O modelo proposto por Lawson apresenta grande parte de suas peças agregadas ao módulo volumétrico, ou seja, peças utilizadas para montagem da estrutura ainda em ambiente controlado, na indústria. As peças agregadas ao edifício, portanto, utilizadas em canteiro de obra para conectar as unidades volumétricas, conseqüentemente, possuem menores quantidades. O fato do somatório de peças agregadas ao módulo volumétrico com peças agregadas ao edifício gerar o resultado total de peças utilizadas para construir a edificação demonstra que, neste modelo, não foram realizados retrabalhos em canteiro de obras. Ou seja, as peças agregadas ao módulo volumétrico na indústria permaneceram agregadas até o final da montagem da edificação.

Em contrapartida, o modelo proposto por Kovel, apesar de também apresentar grande parte de suas peças agregadas ao módulo volumétrico, na indústria, possui maior quantidades de peças para montagem da estrutura em canteiro de obras, ou seja, peças agregadas ao edifício, conforme Tabela 7. Este fato ocorre devido a presença de retrabalhos para montagem das peças in loco

sobre leiaute definido e justifica, também, o fato do somatório das peças agregadas ao módulo volumétrico com as peças agregadas ao edifício ser divergente da quantidade total de peças utilizadas na edificação pronta, conforme Tabela 7. Ou seja, parte das peças agregadas ao módulo volumétrico na indústria, diante do modelo proposto por Kovel, são desmontadas em canteiro de obra e novamente agregadas ao edifício, a fim de efetivar a correta conexão entre módulos volumétricos, conforme demonstrado anteriormente, na Figura 36.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desta pesquisa foi realizado com a intuição de comparar os conjuntos conectivos de dois modelos de módulos volumétricos conhecidos e atualmente utilizados e produzidos por seus respectivos fabricantes. Foram realizadas, para efeitos de comparação, alterações referentes ao dimensionamento dos módulos volumétricos em ambos objetos de estudo, assim como alterações geométricas e de material, para o modelo proposto por Kovel. A partir da análise realizada em relação ao acesso dos conjuntos conectivos durante o processo de montagem da estrutura em canteiro de obras, assim como a análise em relação a quantidade de peças agregadas ao módulo volumétrico na indústria e agregadas ao edifício in loco, foram identificadas diferenças entre os modelos comparados, Lawson e Kovel.

A comparação em relação ao acesso do operador de montagem aos conjuntos conectivos para instalação da estrutura em canteiro de obras demonstrou que o modelo proposto por Lawson dificulta a montagem completa segundo o leiaute definido para estudo. Em contrapartida, este mesmo acesso aos conjuntos conectivos é atendido segundo modelo proposto por Kovel, permitindo a montagem facilitada da estrutura, desde que, em determinadas juntas conectivas, o módulo volumétrico seja transportado sem componentes internos como piso e teto.

Ainda sobre o acesso dos conjuntos conectivos, o estudo permitiu concluir que o modelo Lawson não permite acesso às conexões horizontais de três ou mais módulos volumétricos unidos por um vértice em comum, visto que este acesso ao conjunto conectivo em canteiro de obras é realizado através de furos posicionados nas faces externas dos pilares. Com isso, a chegada do terceiro e/ou quarto módulo volumétrico impede o acesso, devido a posição da própria estrutura. Esta situação ocorre somente em juntas conectivas internas, portanto, em leiautes em que juntas conectivas internas não ocorram, a utilização do modelo Lawson é mais vantajosa do que a utilização do modelo Kovel, visto que o chassi metálico proposto por Lawson permite, em todas as juntas conectivas, a instalação de componentes internos vindos de fábrica, como é o caso dos pisos e tetos.

Em relação ao segundo critério avaliado neste estudo, o modelo proposto por Lawson atendeu de melhor forma a analisado segundo a quantidade de peças a serem instaladas em canteiro de obras. O estudo permitiu concluir que o modelo

Kovel, visto que o sistema de fixação horizontal analisado da estrutura proposta por Kovel não permite que as peças agregadas ao módulo volumétrico na indústria permaneçam na estrutura até a conclusão da edificação, visto que elementos pertencentes aos conjuntos conectivos horizontais como parafusos estruturais, porcas sextavadas e arruelas devem ser remontados em canteiro de obras.

Por fim, foi possível constatar que ambos os modelos comparados apresentam dificuldades em relação a montagem da estrutura. Além disso, a pesquisa realizada permitiu concluir que o sistema de fixação dos módulos volumétricos deve ser previsto em projeto, sendo feitas as devidas alterações ao conjunto conectivo quando impossibilitada a montagem ou até mesmo dificultada a montagem da estrutura.

Como proposta para futuras pesquisas nesta temática, o presente trabalho sugere a modificação dos conjuntos conectivos avaliados sobre mesmo leiaute, da mesma forma a se pensar em detalhes em relação à instalação do teto e do piso vindos de fábrica. Assim, será possível propor conjuntos conectivos adaptados, de modo a serem capazes de atender elementos como acesso as fixações, bem como reduzir a quantidade de peças e serviços a serem realizados no processo de montagem da estrutura em canteiro de obra. Prováveis soluções para os problemas estudados estão relacionadas: 1) à pequenas aberturas em áreas específicas dos componentes internos (pisos e tetos) do modelo Kovel, e 2) um sistema de fixação acessado pelo interior do pilar do modelo Lawson, através da extremidade oposta do tubo metálico vazado, para todos os casos em que as ligações não possuam acesso pelo meio externo, conforme apresentado neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ADAPTEINER. **Shipping container twistlocks make stacking safer**. Ipswich, 2021. Adpateiner. Disponível em: <https://adaptainer.co.uk/shipping-container-accessories/twistlocks-shipping-containers-stacking/>. Acesso em: 12 mai. 2021.

ALMEIDA, Pedro Henrique Vasconcelos. **Estudo e verificação de ligações metálicas parafusadas e soldadas**. Brasília: Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas (FATECS), 2014.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHTECTS (AIA). **Design for Modular Construction: an Introduction for Architects**, 2019.

AMORIM, Felipe Ribeiro. **Estudo de Processos Construtivos Modulares do Ponto de Vista da Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

ARCHITALX. **Radical regeneration: habitat and narrative in development**. Portland, 30 de abr. 2015. Disponível em: <https://www.architalx.org/talx/jeff-kovel>. Acesso em: nov. 2021.

ÁRTICO, Rafael. **Módulos Volumétricos Pré-Fabricados: avaliação de funcionalidade de leiautes residenciais**. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15873: Coordenação modular para edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AUTODOC. **Construção modular: o que é, quais são os seus benefícios e como está sua utilização pelo mundo?** In: AUTODOC, 2019. Disponível em: <https://site.autodoc.com.br/conteudos/construcao-modular-o-que-e-quais-sao-os-seus-beneficios-e-como-esta-sua-utilizacao-pelo-mundo/>. Acesso em: dez. 2021.

BRASIL AO CUBO. **Pandemia vs. construção civil: como podemos ser ágeis em tempos de crise?** São Paulo: Brasil ao cubo, 2020. Disponível em: <https://brasilaoacubo.com/blog/pandemia-vs-construcao-civil/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BUILDING AND CONSTRUCTION AUTHORITY. **Design for Manufacturing and Assembly (DfMA)**. Singapura: BCA, 2017. Disponível em: https://www.bca.gov.sg/professionals/technology/others/ppvc_guidebook.pdf

CAO, Lilly. **Why Choose Modular Construction?**. In: ARCHDAILY BRASIL. 3 de janeiro de 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com/949219/why-choose-modular-construction>

CHUA, Y. S.; LIEW, J. Y. R.; PANG, S. D. **Modelling of connections and lateral behavior of high-rise modular steel buildings**, 2019.

CHUA, Y. S.; LIEW, J. Y. R.; PANG, S. D. **Robustness of Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC) High-rise Building**, 2018. Universitat Politècnica de València, València, Spain.

CICCONI, Rafael. **4 Etapas da Construção Modular**. In: MÓDULO SEQUÊNCIA, 2020. Disponível em: <https://modulosequencia.com/2020/11/02/4-etapas-da-construcao-modular/>. Acesso em: jul. 2021.

CRUZ, Larissa. Brasil ao Cubo explica o que são construções modulares. In: ARQXP. São Paulo, 12 de out. 2020. Disponível em: <https://arqxp.com/brasil-ao-cubo-explica-o-que-sao-construcoes-modulares/>. Acesso em: nov. 2021.

DECHEN, Kelvin. **A construção Modular vai dar certo no Brasil?**. In: TERRACOTTA. São Paulo, 2 de agosto de 2020. Disponível em: <https://www.terracotta.ventures/blog/a-construcao-modular-vai-dar-certo-no-brasil>

DEGANI, Jonathan. **O que é Construção Modular e Como Funciona**. In: SIENGE. [S.l.], 4 de dez de 2019. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/construcao-modular/>. Acesso em: jun. 2021.

DOS SANTOS, Virgilio Marques. **O que é DFMA? Qual é a sua importância e utilidade?**. In: FM2S, 2018. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/o-que-dfma/>. Acesso em: jun. 2021.

FERREIRA, Mário dos Santos; BREGATTO, Paulo Ricardo; D'ÁVILA, Márcio Rosa. **Coordenação modular e arquitetura: tecnologia, inovação e sustentabilidade**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL ESPAÇO SUSTENTÁVEL E CIDADES, 7., 2008, São Paulo. Anais eletrônicos [...] São Paulo: Universidade de São Paulo (USP), 2008. Disponível em: <https://www.usp.br/nutau/CD/86.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2021.

GARRISON, J.; TWEEDIE, A. **Kullman Design Guide**: Kullman Buildings Corp. 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**/ Antonio Carlos Gil – 3 ed. – São Paulo: Atlas, 1991. Disponível em: [https://sgcd.fc.unesp.br/Home/helberfreitas/tcci/gil como elaborar projetos de pesquisa -anto.pdf](https://sgcd.fc.unesp.br/Home/helberfreitas/tcci/gil%20como%20elaborar%20projetos%20de%20pesquisa%20-anto.pdf). Acesso em: nov. 2021.

GONZÁLEZ, María Francisca. **HOMB Casa Taft**: Skylab Architecture. In: ARCHDAILLY. [S.l.], 28 de jan. 2018. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/887891/homb-casa-taft-skylab-architecture>. Acesso em: nov. 2021.

GREVEN, Hélio Adão e BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. **Introdução à coordenação modular de construção no Brasil**: uma abordagem atualizada. (Coleção HABITARE/FINEP). Porto Alegre: ANTAC, 2007.

GUARUTHERM. **Proteção Contra Fogo em Estruturas Metálicas**. In: GUARUTHERM, 2020. Disponível em: <https://www.guarutherm.com.br/protacao-contra-fogo-estruturas-metalicas.php>. Acesso em: jun. 2021.

HORTA, Bernardo; HARUF, Pedro. **Um projeto de arquitetura para chamar de seu.** In: CASA CHASSI, c2015. Disponível em: <http://portfolio.bimbon.com.br/casachassi>. Acesso em: jun. 2021.

HORTA, Bernardo de Andrade. **Construção Modular Tridimensional:** fabricação, tecnologia, trabalho, obsolescência e arquitetura. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2021.

HSU, Pei-Yuan; ANGELOUDIS, Panagiotis; AURISICCHIO, Marco. **Optimal logistics planning for modular construction using two-stage stochastic programming.** Londres: Imperial College London, 2018.

KOVEL, Jeffrey. **Modular construction systems and methods.** 2011. Patente: US 2011/0185646 A1

LACEY, Andrew *et al.* **New interlocking inter-module connection for modular steel buildings: Experimental and numerical studies.** Austrália: Curtin University, 2019.

LAWSON, R. M. **Buildings Design Using Modules.** The Steel Constructions Institute, 2007.

LIGHTRUS. **DFMA Construction.** In: LIGHTRUS, 2021. Disponível em: <https://lightrus.com/ppvc/>. Acesso em: mai. 2021.

LIGHTRUS. **PPVC Structures.** In: LIGHTRUS, 2018. Disponível em: <https://lightrus.com/ppvcWall.html>. Acesso em: mai. 2021.

LUCINI, H. C. **Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias.** São Paulo: Pini, 2001.

METHOD HOMES. **HOMB.** Seattle, [2021?]. Disponível em: <https://www.methodhomes.net/homb-series>. Acesso em: nov. 2021.

MILLS, Shonn; GROVE, Dave; EDGAN, Matthew. **Breaking The Pre-fabricated Ceiling:** Challenging the Limits for Modular High-Rise, 2015.

NAKAMURA, Juliana. **O que é Industrialização na Construção e por que Investir nisso?.** In: BUILDIN, 2018. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/o-que-e-industrializacao-na-construcao-e-por-que-investir-nisso/>. Acesso em: abr. 2021.

PANG, S. D. *et al.* **Prefabricated Prefinished Volumetric Construction Joining Techniques Review.** Edmonton, Canadá: University of Alberta Library, 2016.

PARAFUSO FÁCIL. **Parafuso estrutural ASTM A325.** [2021?] Disponível em: <https://www.parafusofacil.com.br/parafuso-estrutural-astm-a325-unc-34-x-2-34-zincado-a-fogo/>. Acesso em: nov. 2021.

PATINHA, Sérgio Miguel Pinto de Almeida. **Construção Modular** – Desenvolvimento da Ideia: Casa numa Caixa. Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro, 2011.

PENAZZI, Maria Emilia. **Desenvolvimento de Sistema Construtivo e Estrutural Modular em Aço para Edificações para Fins Didáticos**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2015.

PORTAL METÁLICA. **Aço formado a frio**. In: PORTAL METÁLICA, 2021. Disponível em: <https://metalica.com.br/aco-formado-a-frio-2/>

SCHOENBORN, J. M. **Case Study Approach to Identifying the Constraints and Barriers to Design Innovation for Modular Construction**. 2012. 155 (MASTER). Science In Architecture, Faculty Of The Virginia Polytechnic Institute And State University, Blacksburg.

SETUBAL, Vítor Garcia. **Avaliação e reciclagem de chapas OSB utilizadas na construção civil**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFFRJ), 2009.

SHAN, Ming; HWANG, Bon-Gang; LOOI, Kit-Ying. **Key constraints and mitigation strategies for prefabricated prefinished volumetric construction**, 2018.

SMITH, R.E.; RICE T. **Permanent Modular Construction. Process Practice Performance**. University of Utah, Integrated Technology in architecture center, College of Architecture and Planning, 2015.

SPADETO, Tatiana Freitas. **Industrialização na Construção Civil** – uma contribuição à política de utilização de estruturas pré-fabricadas em concreto. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

STEEL FRAME. **Entenda por que a construção modular offsite está revolucionando o mundo!** In: PORTAL STEEL FRAME, 2021. Disponível em: <https://www.portalsteelframe.com.br/entenda-por-que-a-construcao-modular-offsite-esta-revolucionando-o-mundo/>. Acesso em: dez. 2021.

TERIBELE, Alessandra. **Arquitetura com Sistema Pré-Fabricado Modular Volumétrico**. Porto Alegre: PROPAR/UFRGS, 2016.

THÓRUS ENGENHARIA. **Tudo sobre BIM: o que é, ferramentas e por onde começar**. In: THÓRUS, 2020. Disponível em: <https://thorusengenharia.com.br/o-que-e-bim/> Acesso em: mai. 2021.

VISIA CONSTRUÇÃO MODULAR. **As 4 Etapas da Construção Modular**. Ivoti: Visia, 2020. Disponível em: <https://www.visia.eng.br/as-4-etapas-da-construcao-modular/> Acesso em: mai. 2021.

APÊNDICES

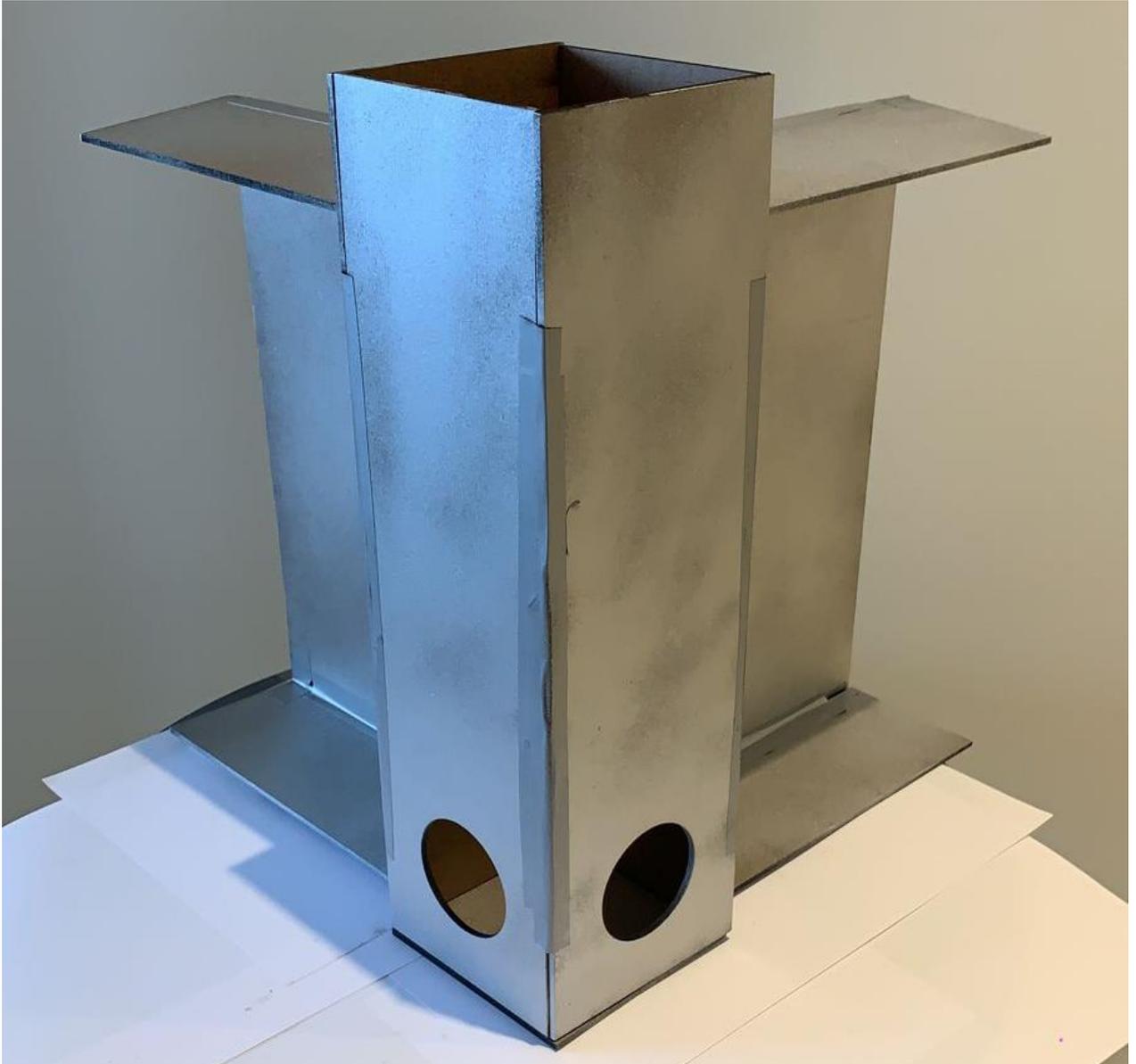
APÊNDICE A – DETALHES MODELO LAWSON DESENVOLVIDO PELO AUTOR

Figura 41 - Modelo Lawson - extremidade do chassi metálico.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 42 - Modelo Lawson – detalhe de canto do módulo volumétrico.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 43 - Modelo Lawson - detalhe extremidade interna da estrutura.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 44 - Modelo Lawson - módulos volumétricos posicionados lado a lado.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 45 - Modelo Lawson - detalhe interno módulos volumétricos posicionados lado a lado.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 46 - Modelo Lawson - detalhe interno módulos volumétricos posicionados lado a lado (2).



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 47 - Modelo Lawson - detalhe posicionamento horizontal de três módulos volumétricos.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 48 - Modelo Lawson – Detalhe conexão horizontal entre quatro módulos volumétricos.



Fonte: Registrada pelo Autor.

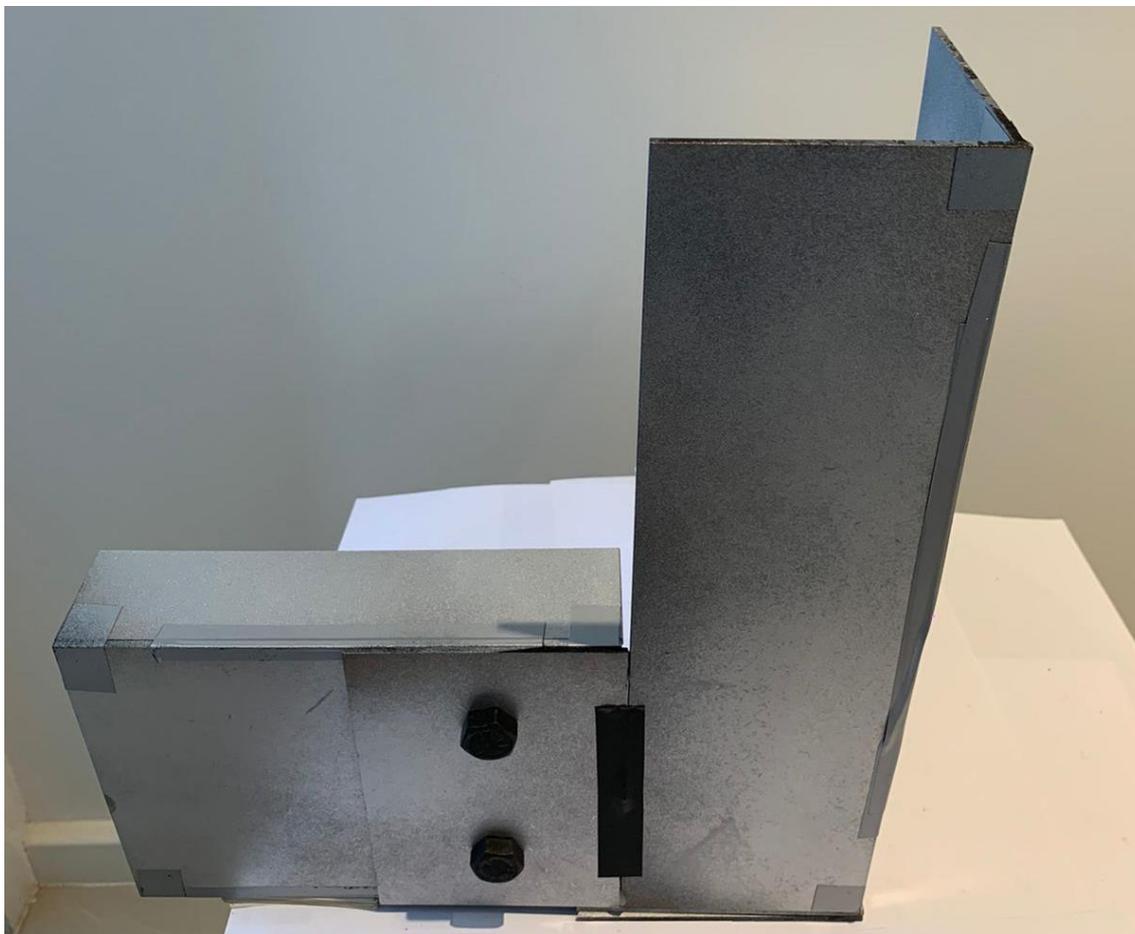
Figura 49 - Modelo Lawson – Detalhe vista de cima de conexão horizontal entre módulos volumétricos.



Fonte: Registrada pelo Autor.

APÊNDICE B – DETALHES MODELO KOVEL DESENVOLVIDO PELO AUTOR

Figura 50 - Modelo Kovel - detalhe extremidade do módulo volumétrico.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 51 - Modelo Kovel - detalhe interno da extremidade do módulo volumétrico.



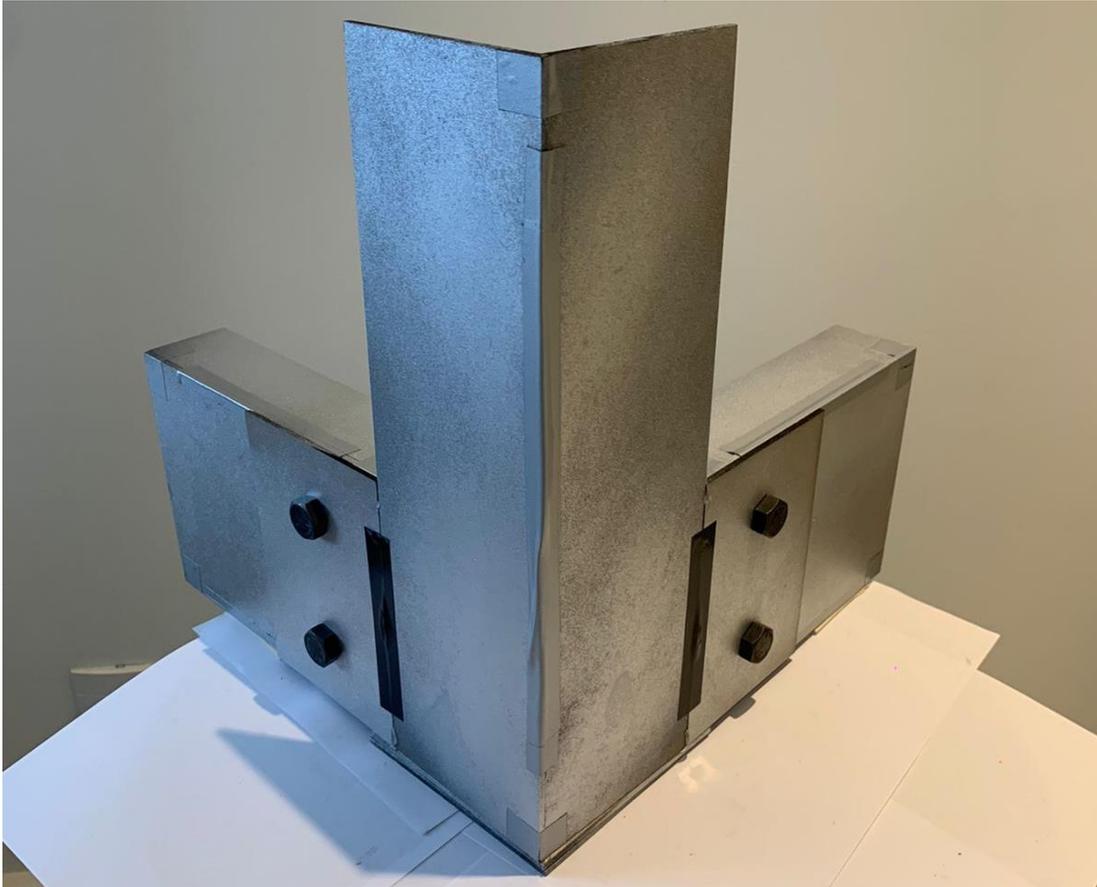
Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 52 - Modelo Kovel - extremidade de chassi metálico.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 53 - Modelo Kovel - Detalhe extremidade de chassi metálico.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 54 - Modelo Kovel - Detalhe conexão horizontal.



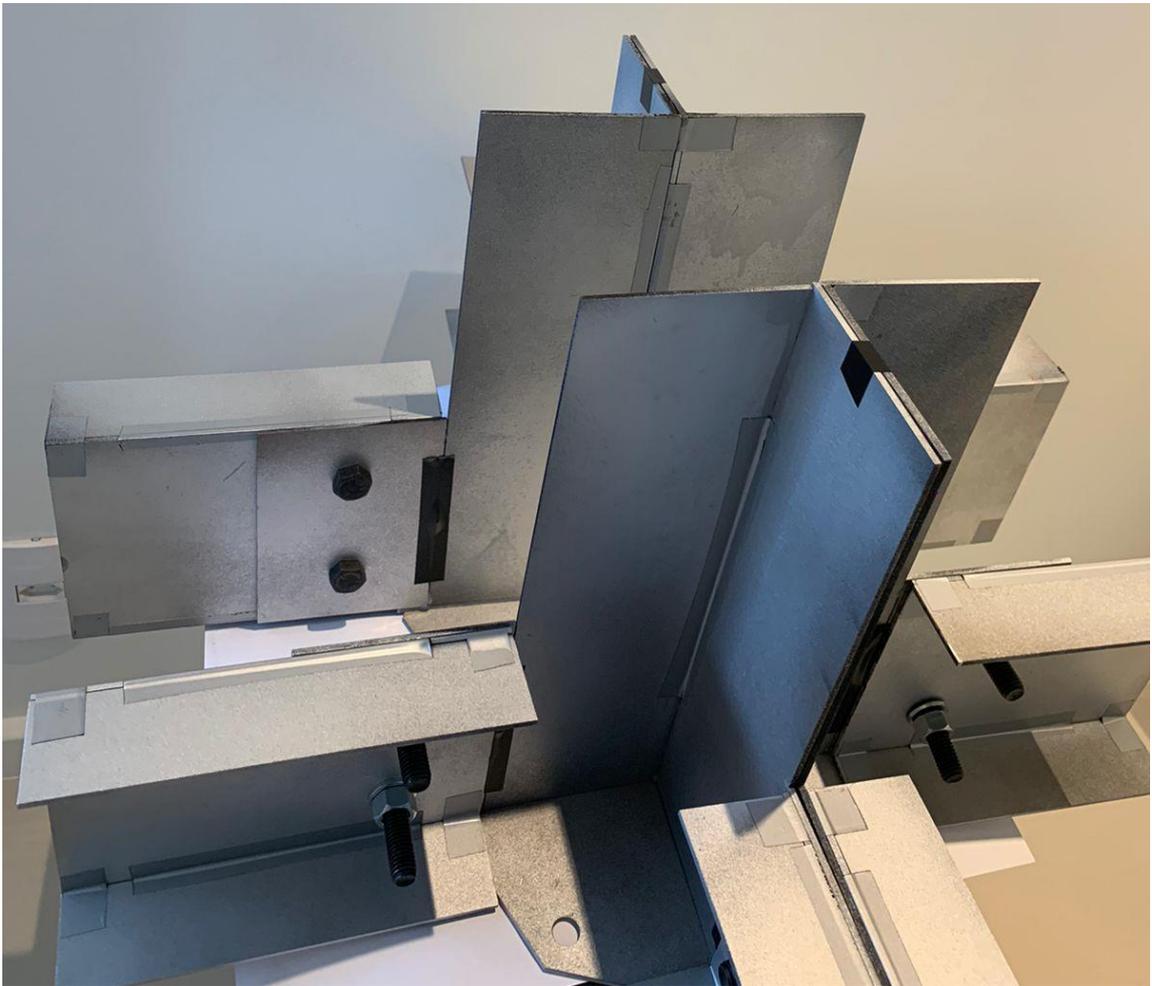
Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 55 - Modelo Kovel - detalhe estrutura desmontada.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 56 - Modelo Kovel - Detalhe conexão horizontal para quatro módulos volumétricos.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 57 - Modelo Kovel - detalhe conjunto desmontado.



Fonte: Registrada pelo Autor.

Figura 58 - Modelo Kovel - detalhe conexão horizontal de quatro módulos volumétricos.



Fonte: Registrada pelo Autor.