

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Gabriela Baú

**CONSTRUÇÕES MODULARES: MAPEAMENTO DO PROCESSO EXECUTIVO DE
EDIFICAÇÕES EM CHASSI DE AÇO**

FLORIANÓPOLIS

2021

Gabriela Baú

Construções Modulares: Mapeamento do processo executivo de edificações em chassi de aço

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Disciplina de TCC II do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Juan José Oviedo Haito

FLORIANÓPOLIS

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Baú, Gabriela

Construções modulares: mapeamento do processo executivo de edificações em chassi de aço / Gabriela Baú ; orientador, Ricardo Juan José Oviedo Haito, 2021.

77 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Construção modular. 3. Modularização. 4. Construção offsite. 5. Industrialização da construção. I. Oviedo Haito, Ricardo Juan José. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Gabriela Baú

Construções Modulares: Mapeamento do processo executivo de edificações em chassi de aço

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 07 de maio de 2021.

Banca Examinadora:

Prof. Ricardo Juan José Oviedo Haito, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luis Gómez, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. ° Paulo Oliveira
Avaliador
Aratau Construção Modular

Eng. ° Jonas Medeiros, Dr.
Avaliador
Cubicon

Eng. ° Murilo Mello
Avaliador
Brasil ao cubo

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Claudia e Ney, ao meu irmão, Guilherme, e à minha família que tanto me apoiou durante esta trajetória, com paciência e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela minha vida, minha saúde e por todas as oportunidades a mim concedidas.

Aos meus pais, Claudia e Ney, e irmão, Guilherme, por todo incentivo, amor e suporte oferecidos durante minha vida. Agradeço por me ensinarem o valor da fé, da honestidade, do caráter e da dedicação. Agradeço também à companhia do meu cachorro Bud.

Aos meus avós, tios e primos, pelo zelo, carinho e apoio ao longo dos anos.

Ao meu Professor orientador, Ricardo Juan José Oviedo Haito, pelos valiosos ensinamentos, paciência e dedicação na orientação em iniciação científica e neste trabalho. Obrigada pela amizade e respeito construídos ao longo desses dois anos. Às minhas amigas e companheiras de pesquisa, Jéssica Brito da USP, Pâmela Betiatto e Valéria Luz, da UFSC, pelo auxílio na elaboração dessa pesquisa, pelas reuniões e mensagens de apoio. Foi um prazer fazer parte do grupo “Futuro da Construção” com vocês.

A todos os meus amigos de graduação, pelos anos de companheirismo e amizade. Em agradecimento especial, ao grupo de amigos da minha turma, 15.2, às amigadas da atlética e ao grupo de meninas que levarei como família. Agradeço à Duda, por ser minha amiga confidente, incentivadora e sempre presente, que levarei como irmã.

Às amigadas que o esporte na UFSC me trouxe, principalmente, Ana, Jenifer e Jorge.

Aos meus amigos da vida, em especial aos mais presentes no último ano, Everlan, Julia Hoffmann e Julia Horn.

Ao DPAE e à Sabrina, pela primeira oportunidade de estágio na graduação.

À Cubo Engenharia, aos meus chefes, Alessandro e Eduardo, e a todos os colegas de trabalho, por todo aprendizado concedido e apoio durante a realização deste trabalho.

Aos Engenheiros entrevistados, pela disponibilidade.

À UFSC pela oportunidade de estudo e a todos que de alguma forma contribuíram para transformar os anos de graduação em Engenharia Civil na realização de um sonho.

“Dificuldades preparam pessoas comuns para destinos extraordinários.”

(Clive Staples Lewis)

RESUMO

A indústria da construção civil não vem mostrando aumentos significativos de sua produtividade, já criticada há tempos. Para reverter tal situação, a industrialização da construção surge como alternativa, principalmente com construções *offsite*. Recentemente, com a necessidade de construções mais rápidas e eficazes amplificada pela pandemia de COVID-19, a construção modular se destacou. Apesar de amplamente discutida na literatura, poucos trabalhos detalham o procedimento executivo a ela vinculado. Neste trabalho, busca-se mapear e descrever esse processo, especificando atividades e insumos de sua produção. Para tanto, primeiramente estudou-se o ciclo de desenvolvimento da construção modular com base na literatura. Posteriormente, verificou-se esse ciclo mediante visitas em campo e entrevistas com profissionais de três empresas do ramo. Assim, foi possível mapear e descrever o processo executivo de construção modular em chassi de aço com as especificações desejadas e estruturado em seis etapas: 1) projeto; 2) execução da subestrutura; 3) produção dos módulos; 4) transporte dos módulos; 5) montagem e 6) instalação. Além disso, foi possível exemplificar tais etapas com auxílio de fotos relativas às visitas. Através desse resultado, notou-se a uniformidade do processo e a customização do módulo, sua unidade fundamental, já que todas as empresas analisadas executaram as mesmas etapas, porém com insumos diferentes. A principal contribuição deste trabalho encontra-se, portanto, na estruturação e documentação desse sistema inovador, porque permite o compartilhamento de informações que auxiliam sua implementação, impulsionando a industrialização da construção civil.

Palavras-chave: Construção modular. Modularização. Construção *offsite*. Industrialização da construção.

ABSTRACT

The construction industry has not shown significant increases in its productivity, which has long been criticized. As a way of reversing this situation, the industrialization of construction appears as an alternative, especially with offsite constructions. Recently, because of the need of faster and efficient construction amplified by COVID-19, modular construction has stood out. Although widely discussed in the literature, few studies detail the executive process related to it. In this research, the aim is to map and describe the executive process of this construction system, specifying activities and inputs of its production. To this end, the development cycle of modular construction was initially studied based on the literature. Subsequently, this cycle was verified through field visits and interviews with professionals from three modular construction companies. Consequently, it was possible to map and describe the executive process of modular construction in steel chassis with desired information and structured in six stages: 1) project; 2) substructure execution; 3) production of the modules; 4) transport of the modules; 5) assembly and 6) installation. In addition, photos related to the visits were incorporated to exemplify such steps. Through this result, it was noticed the uniformity of the process and the customization of the module, its fundamental unit, since all the companies analyzed performed the same steps, but with different inputs. Therefore, the main contribution of this work is the structuring and documentation of this innovative system, because it allows the sharing of information that helps its implementation, boosting the industrialization of civil construction.

Keywords: *Modular Building. Modularization. Offsite Construction. Industrialized Building.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Módulos 2D e 3D.....	23
Figura 2 – Exemplo de partes de um módulo 3D metálico.....	25
Figura 3 – Ciclo de vida da construção convencional x modular	26
Figura 4 – Exemplificação etapas do ciclo modular	27
Figura 5 – Tempo economizado na construção modular	28
Figura 6 – Metodologia de pesquisa.....	30
Figura 7 - Palavras-chave de pesquisa e autores relacionados.....	32
Figura 8 – Exemplo da planilha utilizada na coleta de dados teóricos.....	34
Figura 9 – Exemplo de coleta de dados práticos	35
Figura 10 – Ficha de perguntas	36
Figura 11 – Ciclo de desenvolvimento da construção modular	38
Figura 12 – Escola modular 1.....	42
Figura 13 – Escola modular 2.....	42
Figura 14 – Residência modular 1.....	43
Figura 15 – Residência modular 2.....	44
Figura 16 – Edifício modular	45
Figura 17 – Expansão modular de hospital	46
Figura 18 – Fluxograma do processo executivo modular	50
Figura 19 – Exemplo de projeto arquitetônico modular.....	52
Figura 20 – Exemplo de modulação do projeto arquitetônico	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de sistema de produção	19
Quadro 2 – Definições de aspectos da modularização	21
Quadro 3 - Elementos primários de edificações.....	24
Quadro 4 - Principais elementos de um módulo 3D metálico.....	25
Quadro 5 - Entrevistados para obtenção de informações	33
Quadro 6 – Etapas de desenvolvimento da construção modular x autores	39
Quadro 7 - Etapas da construção modular.....	40
Quadro 8 – Ocorrência de etapas teóricas e particularidades identificadas	47
Quadro 9 – Resumo comparativo dos casos.....	48
Quadro 10 – Fotos execução de subestrutura	54
Quadro 11 – Fotos execução de estrutura metálica e envelope.....	56
Quadro 12 – Fotos serviços e trabalho interno.....	58
Quadro 13 – Fotos transporte de módulos.....	61
Quadro 14 – Fotos montagem de módulos.....	62
Quadro 15 – Fotos instalação dos módulos.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABDI – Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ACM – *Aluminium Composite Material*

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

BIM – *Building Information Modeling*

CLT – *Cross Laminated Timber* (Madeira Laminada Cruzada)

GRC – *Glass Reinforced Concrete*

LSF – Light Steel Framing

OSB – *Oriented Strand Board*

PIR – Poliisocianurato

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

USP – Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
1.3	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	INDUSTRIALIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO <i>OFFSITE</i>	17
2.1.1	Relação construção <i>offsite</i> – construção modular.....	18
2.2	CONSTRUÇÃO MODULAR.....	20
2.2.1	Definição	20
2.2.2	Módulo.....	22
2.2.2.1	<i>Tipos de módulos</i>	22
2.2.2.2	<i>Partes de um módulo 3D metálico.....</i>	24
2.2.3	Etapas e ciclo de vida da construção modular	26
2.2.4	Benefícios	27
2.2.5	Desafios	29
3	METODOLOGIA.....	29
3.1	PERGUNTA DE PESQUISA E ENTENDIMENTO DO TEMA	31
3.2	ESCOLHA DAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	31
3.3	COLETA DE DADOS	33
3.3.1	Teórica	33
3.3.2	Prática.....	34
3.4	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	36
3.5	ESCRITA DE RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38

4.1	CICLO DE DESENVOLVIMENTO DA CONSTRUÇÃO MODULAR TEÓRICO	38
4.2	CASOS ESTUDADOS.....	41
4.2.1	Descrição dos casos.....	41
4.2.1.1	<i>Escola 1 – Empresa A.....</i>	41
4.2.1.2	<i>Escola 2 – Empresa B.....</i>	42
4.2.1.3	<i>Residência unifamiliar 1 – Empresa A.....</i>	43
4.2.1.4	<i>Residência unifamiliar 2 – Empresa C.....</i>	43
4.2.1.5	<i>Edifício comercial – Empresa A.....</i>	44
4.2.1.6	<i>Expansão de hospital para combate ao coronavírus – Empresa A.....</i>	45
4.2.2	Comparação dos casos.....	46
4.3	PROCESSO EXECUTIVO DE CONSTRUÇÃO MODULAR EM CHASSI DE AÇO	49
4.3.1	Projeto.....	51
4.3.2	Execução da subestrutura – obra civil no canteiro de obras.....	53
4.3.3	Produção dos módulos.....	55
4.3.4	Transporte.....	60
4.3.5	Montagem.....	62
4.3.6	Instalação.....	65
5	CONCLUSÕES.....	68
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	69
	REFERÊNCIAS.....	70
	APÊNDICE A – Principais autores e assuntos vinculados à construção modular.....	75
	APÊNDICE B – Contribuições de cada autor para ciclo de desenvolvimento da construção modular.....	76
	APÊNDICE C – Ilustração dos “modos de construir” a partir de Sabbatini (1989).....	77

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção vem, há tempos, sendo criticada pela baixa produtividade e sustentabilidade (HU *et al.*, 2019). Apesar de contribuir significativamente para a economia, essa indústria teve um baixo aumento em sua produtividade, quando comparado aos outros setores (ABDUL NABI; EL-ADAWAY, 2020). Nas últimas duas décadas, enquanto o crescimento da produtividade da construção civil se limitou, em média, a 1% ao ano, o setor industrial obteve 3,6% e a economia mundial cresceu cerca de 2,8% (BARBOSA *et al.*, 2017). Como resultado, a construção *offsite*, ou construção fora do canteiro, surge como prática alternativa à construção tradicional, buscando aumentar sua performance. (KAMALI; HEWAGE, 2016).

Esse tipo de construção oferece uma nova abordagem construtiva por mover o processo executivo de edificações para ambientes fabris controlados, fora do canteiro de obras (JIANG *et al.*, 2018). Sendo um dos sistemas construtivos com maior nível de produção *offsite*, a construção modular, recentemente e com o avanço da pandemia de COVID-19, popularizou-se pela rapidez e eficiência, principalmente na construção de hospitais emergenciais.

Esse sistema construtivo é formado por um conjunto de módulos construídos em fábricas e com altos níveis de finalização, entregues no canteiro, montados e consolidados na fundação permanente. Afirma-se que a construção modular oferece vantagens ambientais, econômicas e sociais, contribuindo para metas de sustentabilidade (NAHMENS; IKUMA, 2012; AHN; KIM, 2014; KAMALI; HEWAGE, 2016).

Apesar das vantagens, a aplicação desse tipo de construção ainda é limitada, comparada à convencional (KAMALI *et al.*, 2018). Abdul Nabi e El-Adaway (2020) analisaram os principais temas estudados relativos à construção modular. Segundo esses autores, existe grande quantidade de pesquisas sobre benefícios, desafios, custo e redução de prazo desse tipo de construção. Entretanto, apenas 7% dos artigos analisados falam sobre a construção em si, o processo executivo, suprimentos e mercado. Um número menor ainda é dedicado às questões legais e regulatórias. Portanto, a motivação principal deste trabalho encontra-se no entendimento prático do processo executivo modular de edificações a partir de módulos em chassi de aço, buscando descrevê-lo com detalhes sobre atividades executadas e insumos utilizados em sua produção. Ademais, através da descrição e documentação desse conhecimento, incentiva-se sua implementação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estruturar e detalhar o processo executivo de uma construção modular em chassi de aço, com base na teoria e em obras modulares executadas por empresas especializadas nesse tipo de construção.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Elencar as etapas da construção modular;
- Distribuir atividades as quais os módulos são submetidos em cada uma das etapas da construção modular;
- Verificar a ocorrência dessas atividades em fábrica e em obras de empresas especializadas em construção modular;
- Comparar o processo executivo e a utilização de insumos na produção dos módulos de empresas distintas;
- Estruturar e documentar o processo executivo da construção modular.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro, consta a introdução sobre a baixa produtividade e sustentabilidade da construção tradicional, o que levou a busca por métodos mais eficientes, através da industrialização da construção. Com ela, destacou-se a construção *offsite*, trazendo a construção modular como alternativa para sistemas construtivos mais industrializados e eficientes. Além disso, estão apresentados: a motivação; os objetivos e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo é reservado à revisão bibliográfica com respeito a construção modular, abordando seus principais conceitos, seus benefícios, desafios e uma apresentação do ciclo de vida desse tipo de construção.

O terceiro capítulo é formado pela metodologia do trabalho.

Já o quarto, diz respeito aos resultados e discussões. Apresenta-se um ciclo de desenvolvimento teórico da construção modular, elaborado a partir da literatura. Também estão

apresentados os seis casos de estudo, base para a elaboração do processo executivo modular, também apresentado e exemplificado por fotos de obras atuais.

Por último, no quinto capítulo, estão apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho limitou-se a estudar o processo executivo de edificações modulares a partir de chassis metálicos, com foco na produção, transporte, montagem e instalação dos módulos, constituindo-se do acompanhamento, observação e registro de execuções modulares, além da análise de literatura.

Assim sendo, informações relativas ao detalhamento da etapa de projeto, estudo e descrição da fase de pós-construção, negociação e contratação deste sistema construtivo, bem como as estratégias de produção relativas ao relacionamento empresa-cliente não fazem parte do escopo desse trabalho, portanto, não estão descritas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDUSTRIALIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO *OFFSITE*

Nas últimas décadas, a indústria da construção foi exposta ao processo de industrialização e experimentou diferentes métodos construtivos (KAMALI; HEWAGE, 2016). Desde a Revolução Industrial, o desenvolvimento das indústrias está associado à introdução de inovações em sua manufatura. Quanto à construção civil, sua industrialização pode ser entendida, por um lado, como a introdução de métodos de fabricação inovadores para suas atividades (YASHIRO, 2014). Já para Sabbatini (1989), a industrialização na construção é:

um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva.

Por outro lado, Koskela (2003) descreve a industrialização como um meio de eliminar, ou pelo menos reduzir drasticamente, as atividades de construção no canteiro. Também para Jonsson e Rudberg (2013), a industrialização significa que uma grande parcela das atividades que adicionam valor à produção é realizada fora do canteiro, através da pré-fabricação de elementos e módulos, sendo grau de industrialização a quantidade de valor que é agregado à

produção, fora do canteiro de obras. Ou seja, quanto maior é a quantidade de atividades realizadas fora do canteiro, maior é o grau de industrialização da produção.

Desta forma, outro conceito importante relacionado à industrialização é a construção *offsite*, ou construção fora do canteiro. Gibb e Pendlebury (2006) definem *offsite* como um termo equivalente à industrialização e com espectro de aplicações para as quais as partes da obra são fabricadas e montadas fora do local da construção e antes da instalação em sua posição final.

A construção *offsite* também pode ser entendida como o processo de manufatura e pré-montagem de elementos, componentes ou módulos, que antecede sua instalação final no canteiro (KAMALI; HEWAGE, 2016), movendo boa parte do processo construtivo para um ambiente industrial controlado (JIANG *et al.*, 2018). Assim sendo, a construção *offsite* é uma das formas de industrializar a construção civil, mediante a pré-fabricação de elementos ou módulos.

2.1.1 Relação construção *offsite* – construção modular

Alguns autores, como Gibb e Isack (2003), Gibb e Pendlebury (2006), Jonsson e Rudberg (2013) e Kamali e Hewage (2016) dividem o sistema de produção da construção civil com diferentes níveis de produção fora do canteiro, conforme Quadro 1.

Esse Quadro mostra quatro tipos de sistemas de produção da construção, baseado em diferentes níveis de produção fora do canteiro. O primeiro, manufatura de componentes e pré-montagem, é relativo à abordagem tradicional da construção, executada dentro do canteiro e a partir de matérias-primas e componentes. O segundo, pré-montagem não volumétrica, acontece quando elementos 2D são pré-fabricados fora do canteiro. Já o terceiro, pré-montagem volumétrica, quando volumes (elementos 3D) são produzidos fora e montados dentro do canteiro, tendo estrutura independente. Na construção modular, último sistema dessa classificação, grande parte da produção é localizada fora do canteiro de obras, contando com módulos altamente acabados. Percebe-se que, para essa classificação, o sistema de construção modular é o que apresenta maior nível de produção *offsite*, conseqüentemente, dentre os quatro, é o mais industrializado.

Quadro 1 - Tipos de sistema de produção

TIPOS DE SISTEMA DE PRODUÇÃO	DEFINIÇÃO TRADUZIDA
<i>Component manufacture and sub-assembly</i>	Abordagem tradicional da construção. Matéria-prima e componentes são usados para construção dentro do canteiro.
<i>Non-volumetric pre-assembly</i>	Quando elementos de duas dimensões são pré-fabricados fora do canteiro de obras e montados dentro do canteiro.
<i>Volumetric pre-assembly</i>	Quando volumes relativos a partes específicas da construção são produzidos fora do canteiro e montados no canteiro e dentro de uma estrutura independente.
<i>Modular building</i>	Quando grande parte da produção acontece fora do canteiro de obras, com módulos fabricados com alto nível de conclusão. O único trabalho feito no canteiro é a montagem dos módulos, além das operações de finalização.

Fonte: a partir de Gibb e Isack (2003), Gibb e Pendlebury (2006), Jonsson e Rudberg (2013) e Kamali e Hewage (2016)

Para Sabbatini (1989), existem diferentes modos de construir as partes de uma obra, por técnica construtiva; método construtivo; processo construtivo ou sistema construtivo, sendo:

- Técnica construtiva: conjunto de operações empregadas para produzir parte de uma construção;
- Método construtivo: conjunto de técnicas construtivas interdependentes e com sequência bem definida para construção de uma parte da edificação;

- Processo construtivo: conjunto de métodos para construção da estrutura e das vedações de um edifício. É o modo organizado e bem definido de construir um edifício;
- Sistema construtivo: processo construtivo de elevados níveis de industrialização, constituído por elementos e componentes integrados pelo processo.

Dessa forma, por ser um processo construtivo altamente industrializado, constituído por elementos (módulos) integrados pelo processo, conforme exemplificado no Apêndice C, neste trabalho considerou-se a construção modular um sistema construtivo.

2.2 CONSTRUÇÃO MODULAR

2.2.1 Definição

A ideia do uso de proporções modulares para regular projetos de edificações é antiga (LE CORBUSIER, 1954¹ *apud* GOSLING *et al.* 2016). Bastos (2015) descreve o histórico da construção modular advindo do interesse humano por proporções e por ordenação já na Antiguidade, com exemplos através do uso de relações modulares entre pirâmides e seus blocos de pedras na civilização egípcia, e proporções entre diâmetro e altura das colunas, na civilização grega.

Ainda segundo Bastos (2015), a construção modular recente baseia-se nos conceitos da teoria da coordenação modular e de metodologias de produção racionalizadas, desde a Revolução Industrial, no século XIX, e com ascensão marcada pela criação da primeira norma de coordenação modular, logo após a 2ª Guerra Mundial, a DIN 4172.

No Brasil, a NBR 15873:2010 “Coordenação modular para edificações”, tem como objetivo a coordenação modular e sua multiplicidade, visando promover a compatibilidade dimensional entre elementos e componentes construtivos, permitindo racionalizar processos e definindo princípios da coordenação modular para edificações (ALMEIDA, 2015).

O Quadro 2 traz definições de alguns aspectos relacionados à modularização segundo Gosling *et al.* (2016) e a partir do estudo dos autores identificados.

¹ Corbusier, L. (1954). *The modulator: A harmonious measure to the human scale universally applicable to architecture and mechanics.* Faber and Faber, London.

Quadro 2 – Definições de aspectos da modularização

DEFINIÇÃO TRADUZIDA	ASPECTO	AUTOR
Um conjunto de partes ou unidades que podem ser unidas para compor uma máquina, uma peça de mobília, uma edificação, etc.	Definição genérica de modularidade	OALD (2014)
Um módulo é uma unidade funcional essencial e independente, relativa ao produto do qual faz parte. O módulo possui, em relação a uma definição de sistema, interfaces padronizadas e interações que permitem a composição de produtos por combinação.	Definição genérica de módulo	Miller (1998)
Sistemas modulares são composições de elementos ou módulos que independentemente executam funções distintas.	Definição genérica de sistema modular	Pil and Cohen (2006)
Contém as especificações de um bloco de construção e suas interfaces, bem como uma funcionalidade considerável em comparação com o produto final.	Propriedades do módulo de construção	Björnfort and Sehn (2004)
Fornecimento de soluções modulares construídas <i>offsite</i> e usando princípios modulares, a serem entregues, instaladas e comissionadas <i>onsite</i> , advindas de um plano modular pré-determinado.	Princípios modulares aplicados na construção	Doran and Giannakis (2011)

Fonte: adaptado de Gosling *et al.* (2016)

Para Kamali e Hewage (2016) a construção modular é uma das formas de construção *offsite* mais eficientes. Nesse tipo de construção, partes diferentes de um edifício são projetadas

e fabricadas fora do canteiro de obras, em ambiente fabril e a partir de um ou mais módulos, posteriormente montados para formação do produto final. Edificações modulares são um conjunto de módulos construídos *offsite*, entregues no canteiro, montados e posicionados nas fundações permanentes. Apenas 10 a 15% do trabalho é realizado dentro do canteiro de obras, incluindo fundações e conexões à outras unidades. (KAWECKI, 2010; KAMALI; HEWAGE, 2016; O'BRIAN *et al.*, 2000).

Por sua vez, o *Modular Building Institute* define a construção modular como um processo no qual a edificação é construída *offsite*, sob condições fabris controladas, usando os mesmos materiais e projetos para as mesmas normas e padrões utilizados nas construções convencionais (BASTOS, 2015).

Como apresentado anteriormente, no Quadro 1, para Jonsson e Rudberg (2013) a construção modular é um sistema onde são produzidos, fora do canteiro de obras, módulos com alto nível de conclusão, restando para o canteiro a montagem e as operações de finalização.

Portanto, admite-se para este trabalho como definição de Construção Modular: tipo de construção formada por módulos produzidos fora do canteiro, em ambiente fabril e controlado, com alto nível de finalização, a serem montados e finalizados dentro do canteiro de obras.

2.2.2 Módulo

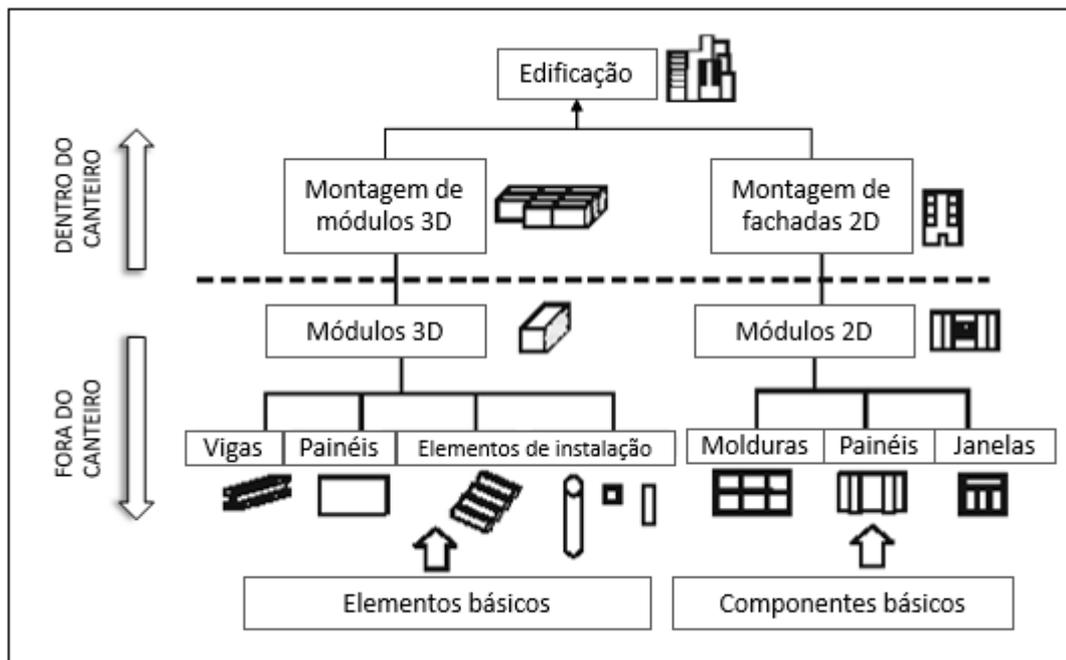
Unidade fundamental do sistema construtivo modular, o termo módulo provém do latim *modulus* e significa “medida-base, aquilo que serve de medida ou modelo” (BASTOS, 2015). Já segundo Gosling *et al.* (2016), e conforme Quadro 2, um módulo é uma unidade funcional relativa ao produto em que é parte, tendo interações que permitem composições de produtos por combinação. Portanto, considerando a definição apresentada dessa unidade e dos princípios modulares aplicados na construção, determina-se módulo uma unidade funcional, construída *offsite* e montada *onsite* junto à outras unidades análogas, para formação de um sistema modular.

2.2.2.1 Tipos de módulos

Existem dois tipos principais de módulos que podem formar uma edificação modular: módulos de três dimensões (3D) e módulos de duas dimensões (2D). Vigas, painéis e elementos de instalação são utilizados para fabricação de módulos 3D em linhas de produção. Enquanto molduras, paredes, janelas e portas são usados para construção de painéis bidimensionais de

fachadas (BALAGUER *et al.*, 2002), como mostra a Figura 1. É importante ressaltar que elementos 2D (painéis) só são considerados, nesse trabalho, como elementos modulares (módulos) caso apresentem quase a totalidade da sua produção *offsite*, principal característica da construção modular. Ou seja, se esse elemento 2D for produzido *offsite* e transportado para o canteiro praticamente finalizado, então esse elemento é dito modular e pode ser chamado de módulo 2D.

Figura 1 – Módulos 2D e 3D



Fonte: adaptado de Balaguer *et al.* (2002)

Elementos volumétricos tridimensionais também são unidades praticamente finalizadas *offsite*, produzidas em madeira, aço ou concreto. Sua montagem dentro do canteiro de obras envolve o içamento dos módulos e a conexão dos serviços de elétrica e encanamento. Esse tipo de abordagem 3D oferece mais eficiência e rapidez, entretanto, enfrenta algumas limitações de transporte (BERTRAM *et al.*, 2019), descritas com mais detalhes no item 2.2.5.

Também segundo esses autores, a montagem no canteiro de elementos bidimensionais é mais complexa, porque exige mais etapas de acabamento interno. Por outro lado, seu transporte é mais fácil comparado ao de módulos 3D. Sendo assim, cada um tem suas vantagens e torna-se adequado para diferentes situações. Além disso, essas duas abordagens podem ser

combinadas em um modelo híbrido, formado por elementos 2D e 3D, otimizando espaço e custos de produção (LAWSON *et al.*, 2005).

Como foco deste trabalho, tem-se o estudo de edificações modulares formadas principalmente por módulos 3D metálicos. Por isso, suas principais partes encontram-se caracterizadas a seguir.

2.2.2.2 Partes de um módulo 3D metálico

Para Gibb (1999) edificações podem ser divididas em elementos primários, conforme indica o Quadro 3.

Quadro 3 - Elementos primários de edificações

ELEMENTOS PRIMÁRIOS	DEFINIÇÃO TRADUZIDA (GIBB, 1999)
Subestrutura	Fundações e trabalho subterrâneo
Estrutura	Estrutura da edificação
Envelope	Paredes externas e cobertura que formam o perímetro da edificação
Serviços	Serviços de construção mecânica e elétrica, ou seja, sistemas prediais
Trabalho interno	Paredes internas, pisos elevados, tetos falsos e acabamentos como: gesso; tinta e revestimentos de paredes
<i>Facilities</i>	Partes principais do edifício que geralmente são fornecidas pelo desenvolvedor para uso do usuário final, como banheiros, cozinhas, elevadores, salas de plantas, salas de sistema de gestão de edifícios

Fonte: adaptado de Gibb (1999)

Para organizar as partes principais de um módulo 3D metálico, neste trabalho utilizou-se a proposta de elementos primários de Gibb (1999) aplicada a um elemento volumétrico modular, conforme Quadro 4.

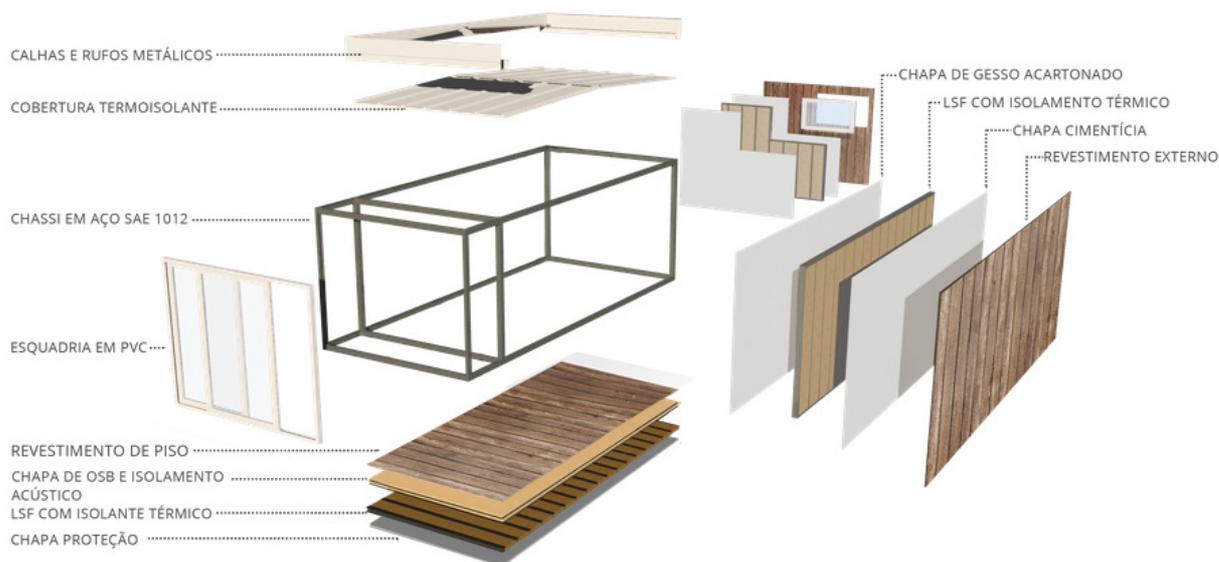
Quadro 4 - Principais elementos de um módulo 3D metálico

ELEMENTOS PRIMÁRIOS	PRINCIPAIS ELEMENTOS DE UM MÓDULO 3D METÁLICO
Subestrutura	Fundação do módulo
Estrutura	Chassi metálico
Envelope	Painéis de vedação (laje, paredes externas e cobertura)
Serviços	Execução de instalações
Trabalhos internos	Execução de paredes e acabamentos internos, revestimentos

Fonte: a autora (2021)

Portanto, a estrutura dos módulos 3D metálicos é formada pela estrutura de fundação e pelo chassi metálico. No envelope, tem-se painéis de vedação como lajes, paredes externas e cobertura, conforme exemplifica a Figura 2. Dentro dos serviços encontra-se a execução das instalações e nos trabalhos internos, a execução de paredes internas, acabamentos e revestimentos.

Figura 2 – Exemplo de partes de um módulo 3D metálico



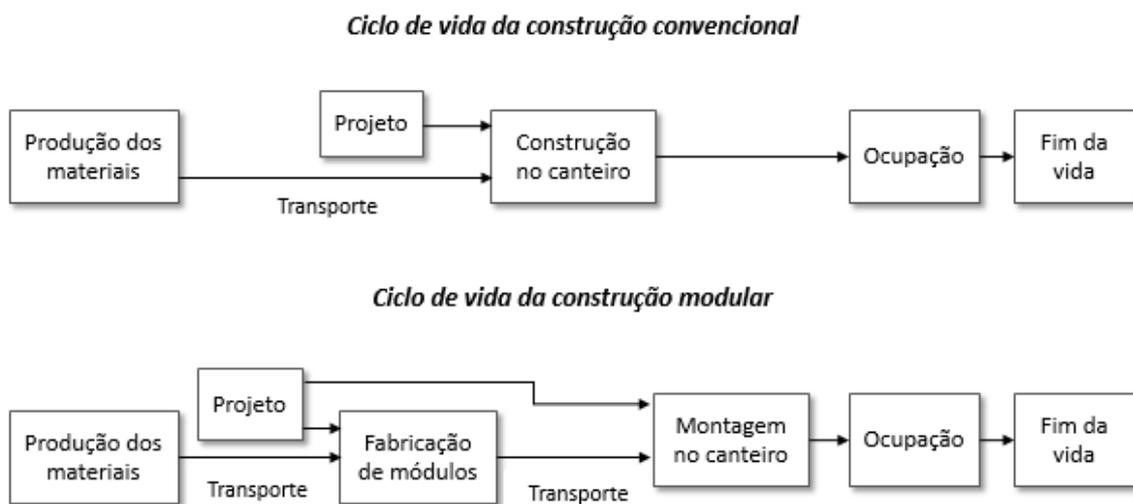
Fonte: Cubicon® (2021)

2.2.3 Etapas e ciclo de vida da construção modular

Uma vez entendida a definição de construção modular e de sua unidade fundamental, o módulo, a compreensão relativa às suas etapas de desenvolvimento é necessária para a descrição do processo executivo.

Kamali *et al.* (2019) compararam o ciclo de vida da construção modular com o ciclo das construções convencionais, conforme Figura 3.

Figura 3 – Ciclo de vida da construção convencional x modular

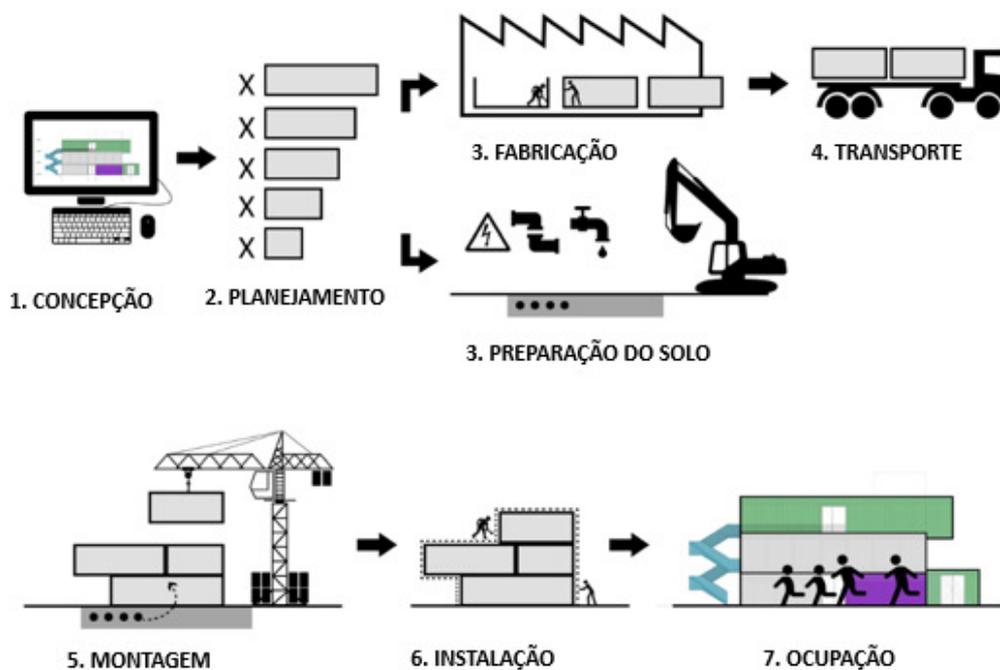


Fonte: adaptado de Kamali *et al.* (2019)

Como mostra a Figura 3, o ciclo de vida da construção modular inicia-se, como no convencional, pela produção dos materiais e pelo transporte. A principal diferença entre os dois está nas próximas etapas. Uma vez recebidos os materiais, no ciclo convencional, a construção acontece dentro do canteiro de obras, seguido pela ocupação e então fim da vida da edificação. Já na construção modular, a etapa de construção no canteiro é substituída por outras três: a fabricação dos módulos, o transporte dos módulos e, por último, sua montagem no canteiro, só então seguidos pela ocupação e fim da vida. Percebe-se, portanto, a principal diferença sendo um aspecto da construção *offsite*: levar a produção para fora do canteiro de obras.

A Figura 4, a seguir, exemplifica o ciclo modular e suas etapas.

Figura 4 – Exemplificação etapas do ciclo modular



Fonte: adaptado de *Quarcs Architectural Synchronized Network*

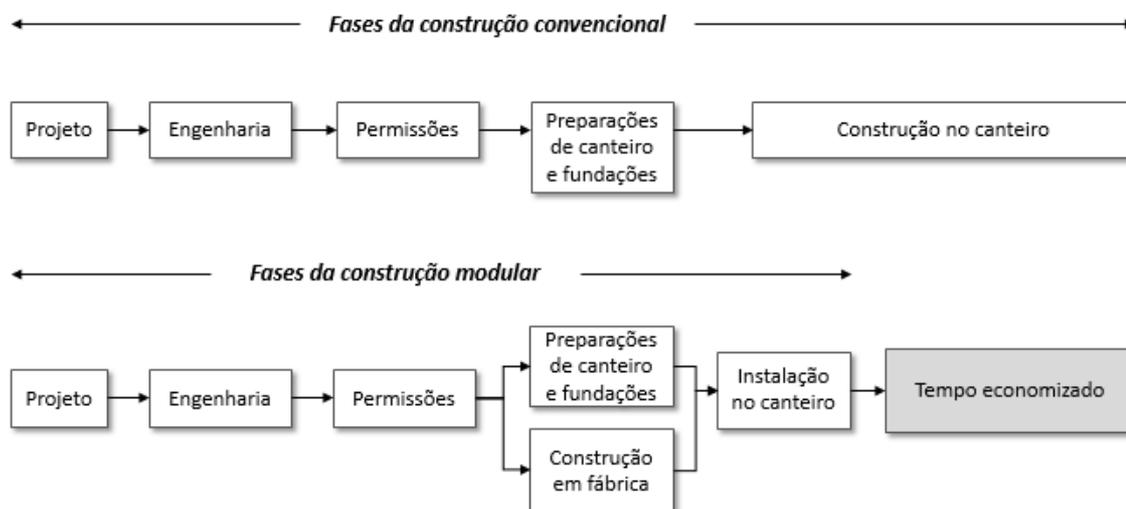
SICMO – *Sistema Industrializado Construcción Modular*

2.2.4 Benefícios

Recentemente, com o avanço da pandemia do vírus SARS-CoV-2, a construção modular se popularizou por se mostrar rápida e eficiente, destacando-se nas construções hospitalares de emergência no Brasil (ZANATTA, 2021). Esse sistema construtivo pode ser uma alternativa para construções emergenciais ou para aquelas que exijam intervalos curtos de execução. Com a construção situada fora do canteiro de obras, é possível economizar de 15 a 30% do tempo, quando comparado com a construção tradicional (JIANG *et al.*, 2017). Isso acontece porque o ambiente industrial de fabricação dos módulos permite maior controle, coordenação e repetição das atividades, além de contar com maior nível de automação (BERTRAM *et al.*, 2019). A produtividade da manufatura em fábrica e a velocidade construtiva são apontadas como principais vantagens do método (KAMALI *et al.*, 2018). Ou seja, através da repetição e mecanização das atividades e descartando condições desfavoráveis de canteiro, o tempo de manufatura é diminuído, tornando o método indicado para curtos prazos de execução.

A Figura 5 compara as fases da construção convencional com aquelas da construção modular, esquematizando a economia de tempo.

Figura 5 – Tempo economizado na construção modular



Fonte: a autora (2021) adaptado de Kamali e Hawage (2016)

Além da vantagem da construção em ambiente fabril, a simultaneidade de etapas também torna a construção modular mais rápida e eficiente, como mostra a Figura 5. Ao mesmo tempo em que as preparações do canteiro e fundações são executadas, os módulos já estão sendo construídos em fábrica, com altos níveis de acabamento. Resta, para o canteiro de obras, sua montagem e instalação, podendo economizar até 40% do tempo comparado à construção convencional. Além disso, o risco de atraso por eventos climáticos, vandalismo e roubos no canteiro são mínimos na construção modular (KAMALI; HEWAGE, 2016), resultando numa grande economia de tempo.

Segundo Gibb e Pendlebury (2006) acredita-se que a utilização de tecnologias *offsite*, como a construção modular, resolva a má qualidade de construção dos edifícios. Isso pode acontecer porque esse tipo de construção move o processo construtivo para um ambiente industrial controlado (JIANG *et al.*, 2018), o que requer maior planejamento e gerenciamento do projeto e da produção (JONSSON; RUDBERG, 2013), aumentando desempenho e diminuindo perdas (HONG *et al.*, 2018). Com maior controle, ações organizacionais e produção mais tecnológica, a construção *offsite* aumenta a produtividade e a qualidade da atividade construtiva.

Além disso, segundo Kamali e Hewage (2016), a sustentabilidade e a segurança no canteiro de obras são apontadas como outros dois benefícios. Isso porque um ambiente fabril, por ser mais controlado, permite reutilização e reciclagem de materiais, além da eliminação de

desperdícios. Ademais, enquanto a construção convencional perturba o local construtivo com ruídos, poeira, congestionamento e resíduos, a construção modular promove perturbação mínima. Quanto à segurança no canteiro, também devido ao ambiente controlado e considerando apenas montagem e instalação realizadas no canteiro, os acidentes *onsite* reportados podem ser muito menores quando comparados ao da construção convencional (LAWSON *et al.*, 2012). Sendo assim, a grande vantagem está na produção em ambiente industrial controlado, resultando em economia de tempo, diminuição de desperdícios, aumento da produtividade e da segurança, visto que as atividades não estão sujeitas às variações climáticas, a condições desfavoráveis de canteiro e à mão de obra desqualificada, além de exigirem maior planejamento e gerenciamento.

2.2.5 Desafios

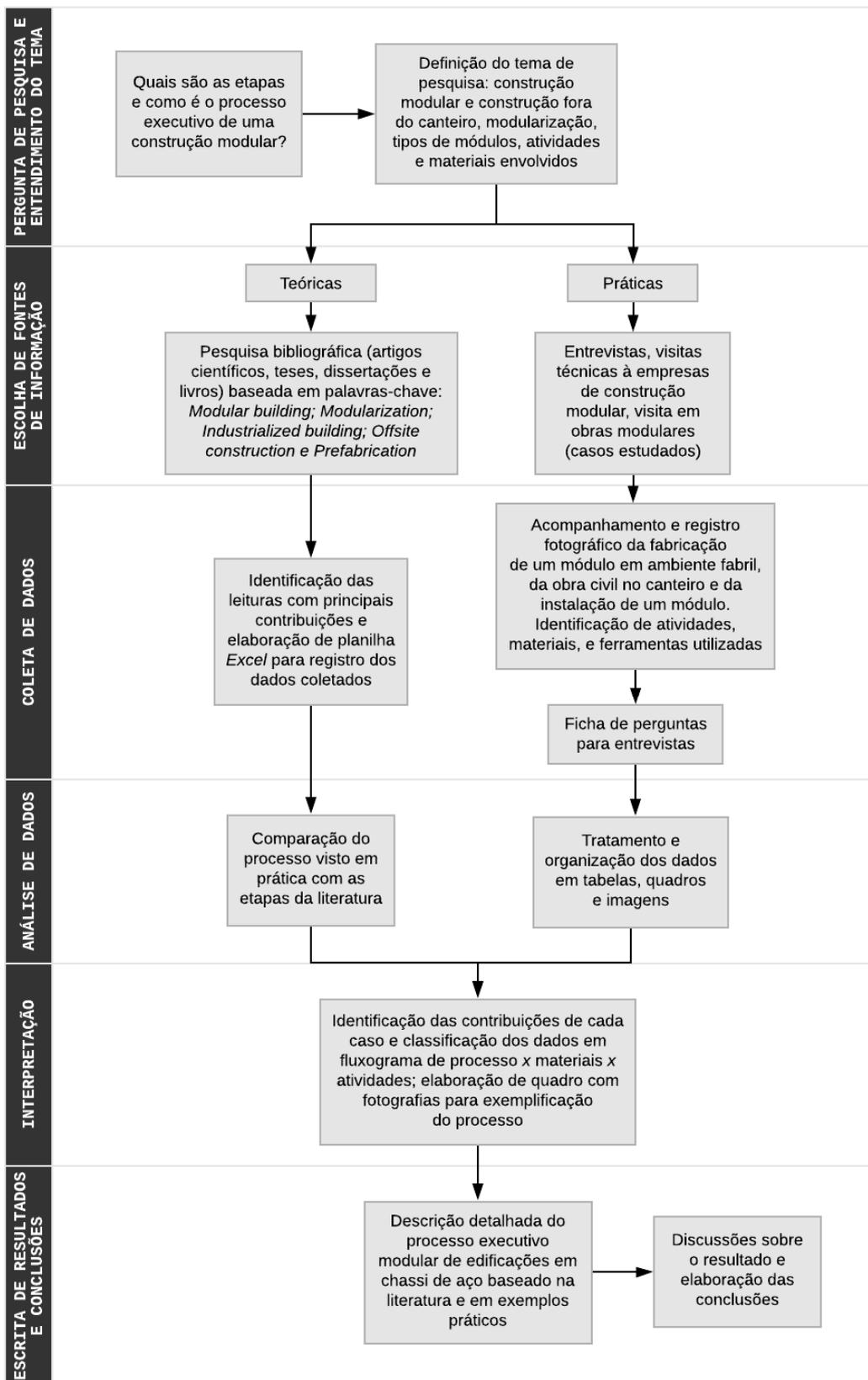
Apesar de ser apontada como alternativa de grande produtividade e eficiência, a construção modular pode enfrentar algumas limitações. Como os módulos são produzidos em ambiente fabril, suas dimensões devem ser compatíveis com as dimensões: do espaço industrial disponível para produção; dos caminhões e do acesso ao canteiro para transporte e também das dimensões de canteiro, de forma que as máquinas necessárias para montagem das peças possam trabalhar (BALAGUER *et al.*, 2002). Ou seja, antes de optar por esse tipo de construção, os fatores como fabricação, transporte e montagem devem ser avaliados.

Outro desafio encontra-se no planejamento e logística. Os módulos exigem projetos mais detalhados de sua produção, além de ser necessário o aumento da coordenação em todos os estágios: pré-projeto, aquisição de fornecimento, programação de entrega e instalação. Ademais, o custo inicial da construção modular é alto, justamente por envolver maior planejamento, transporte volumétrico dos módulos no sentido fábrica-canteiro e também pelo uso do maquinário necessário para montagem. Portanto, apesar de diversos benefícios, a maior popularização desse sistema construtivo limita-se, principalmente, em função do alto custo inicial. (KAMALI; HEWAGE, 2016; JIANG *et al.*, 2017).

3 METODOLOGIA

Visando atingir o objetivo anteriormente proposto, este trabalho foi conduzido a partir de pesquisa qualitativa. Para tanto, a metodologia foi inspirada em seis passos principais recomendados por Bryman (2008), apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Metodologia de pesquisa



Fonte: a autora (2021)

3.1 PERGUNTA DE PESQUISA E ENTENDIMENTO DO TEMA

Para atender às necessidades imediatas de infraestrutura para o tratamento de pacientes portadores do vírus SARS-CoV-2, construções emergenciais, rápidas e eficazes se tornaram necessárias e mostraram-se de extrema importância. No Brasil e nesse contexto, a construção modular se destacou, despertando a curiosidade e o interesse pelo tema como objeto de pesquisa, principalmente quanto à questão: “Como é o processo executivo de uma construção modular?”. Em conjunto a essa pergunta central, outras vieram à tona: “Quais são as etapas do sistema construtivo modular?; Quais atividades e técnicas construtivas são realizadas para a execução de um módulo?; Quais são os materiais utilizados?”. Assim sendo, para o entendimento do tema e na busca pelas respostas das perguntas surgidas, recorreu-se à pesquisa bibliográfica, além de discussão com o professor orientador.

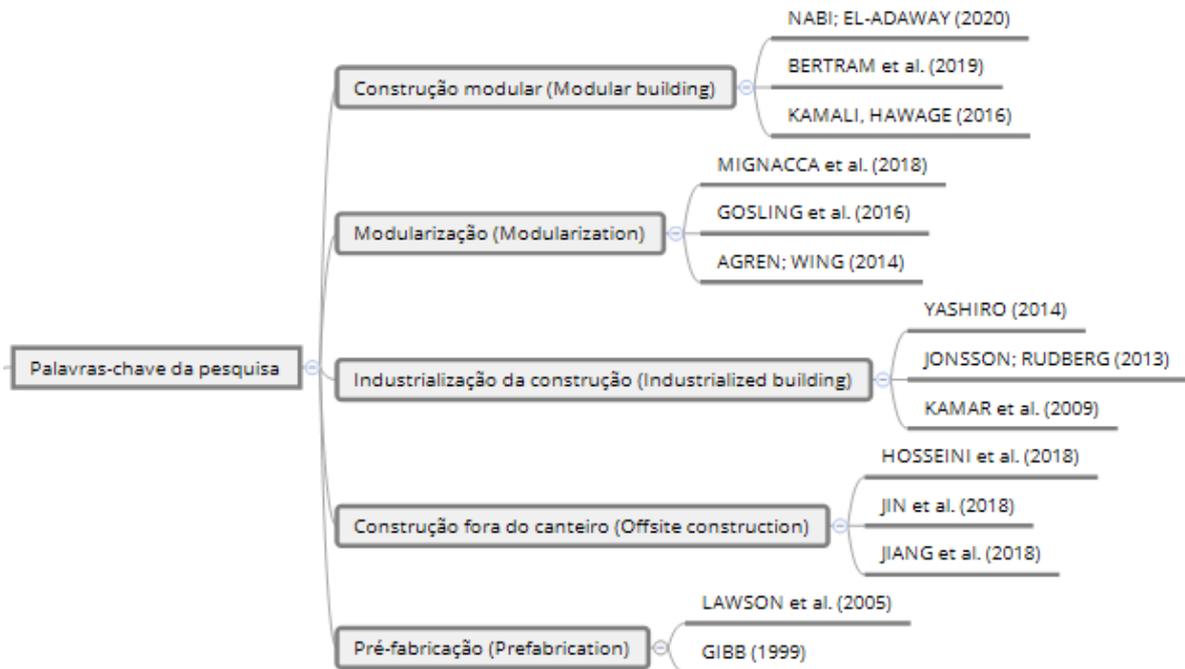
Com o entendimento do tema e com as perguntas iniciais de pesquisa definidas, escolheram-se as fontes de informação, como descrito no item 3.2.

3.2 ESCOLHA DAS FONTES DE INFORMAÇÃO

A partir dessa discussão inicial, o professor orientador disponibilizou fontes bibliográficas que nortearam a busca por outras publicações, principalmente dadas por artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e livros relacionados ao tema.

A escolha das fontes teóricas foi orientada por palavras-chave, tanto em português quanto em inglês. São elas: *Modular building* (Construção modular); *Modularization* (Modularização); *Industrialized building* (Industrialização da construção); *Offsite construction* (Construção fora do canteiro) e *Prefabrication* (Pré-fabricação). Nesse ramo, inicialmente era feita uma leitura inicial dos artigos relacionados às palavras-chave, priorizando o entendimento de figuras e tabelas. Aqueles que apresentavam relevância para a pesquisa eram separados para leitura e análise detalhada. Com isso, para cada uma das palavras, determinaram-se autores principais, com as maiores contribuições, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Palavras-chave de pesquisa e autores relacionados



Fonte: a autora (2021)

Apesar da realização de extensa pesquisa bibliográfica (com principais autores e assuntos estudados apresentados no Apêndice A) e das contribuições importantes dos autores apresentados, não foi possível identificar processos executivos descritos com níveis de detalhamento relativos às atividades e insumos aplicados em cada etapa. Em consequência, buscaram-se referências práticas com objetivo de mapear o processo executivo de uma edificação modular.

Assim sendo, realizaram-se visitas a obras modulares e também à fábrica de uma empresa especializada. As visitas às obras estão apresentadas nesse trabalho como casos estudados, sendo quatro deles responsabilidade da empresa nomeada “Empresa A”, também responsável pela fábrica visitada, um deles sendo responsabilidade de uma empresa distinta, nomeada “Empresa B” e também um sendo responsabilidade de uma terceira empresa, intitulada “Empresa C”, resultando um total de seis casos. Buscando a análise de diferentes tipos de edificações modulares, entre os casos estão: duas escolas, duas residências

unifamiliares, um edifício comercial e um hospital, descritos e comparados no Capítulo 4, relativo aos resultados e discussões.

Afim de trazer mais detalhes para a discussão, realizaram-se entrevistas e conversas com engenheiros das três empresas (A, B e C), todos profissionais atuantes na construção modular, conforme mostra o Quadro 5.

Quadro 5 - Entrevistados para obtenção de informações

Código	Função	Empresa	Casos relacionados	Ano da entrevista
E01	Engenheiro Civil e sócio-diretor da "Empresa A"	Empresa A	Escola 1; Residência 1; Edifício; Hospital	2020/2021
E02	Engenheiro Civil - responsável pela obra visitada	Empresa B	Escola 2	2021
E03	Engenheiro Civil - CEO da "Empresa C"	Empresa C	Residência 2	2021

Fonte: a autora (2021)

Todas as visitas e entrevistas contribuíram de diferentes formas para a elaboração do resultado final, conforme descrito nos próximos itens dessa metodologia.

3.3 COLETA DE DADOS

3.3.1 Teórica

Depois da escolha das fontes de informação, analisaram-se aquelas publicações reservadas para leitura detalhada. A partir desse processo, elaborou-se uma planilha *Excel* formada por três colunas, nomeadas: referência; palavra-chave e contribuição, conforme exemplifica a Figura 8.

Figura 8 – Exemplo da planilha utilizada na coleta de dados teóricos

REFERÊNCIA	PALAVRA-CHAVE	CONTRIBUIÇÃO
HOSSEINI <i>et al.</i> (2018)	<i>off-site construction</i>	Evolução da pesquisa em relação a construção fora do canteiro. Principais áreas relacionadas: concreto pré-moldado; pré-fabricação; planejamento da produção, construção modular. Mostra que esse tipo de construção (off-site) tem tendências de crescimento.
JIN <i>et al.</i> (2018)	<i>off-site construction</i>	Histórico de pesquisa em relação a construção fora do canteiro. Mostra que as pesquisas relacionadas com esse tipo de construção aumentaram consideravelmente em 2016, 2017, apontando como tendência.
GOSLING <i>et al.</i> (2016)	<i>modularization;</i> <i>off-site</i>	Entendimento das diferentes definições de modularização ao longo do ciclo de vida da construção: planejamento e projeto - reunião de requisitos; pré-construção - planejamento da produção; construção - montagem; pós-construção - possível reconfiguração; relação projeto-módulo (interferência da modularização nos projetos - necessidade de mais planejamento, compatibilização).
YASHIRO (2014)	<i>building industrialization</i>	Proposição de seis princípios relacionados com <i>Industrialization of building</i> : continuidade da produção; construção em série de produtos; integração do sistema de produção; alto grau de organização; mecanização; pesquisa e experimentos aliados a produção. Aspectos ligados com industrialização: mecanização; uso de sistemas computacionais; produção contínua; contínua melhora da eficiência; padronização de produtos; pré-fabricação; racionalização; modularização e produção em massa.
AGREN; WING (2014)	<i>industrialization;</i> <i>modularization</i>	Divisão da história da construção industrializada em 5 momentos: pré-fabricação; arquitetura; pré-montagem; modularização; <i>open systems</i> .

Fonte: a autora (2021)

Nessa planilha, a primeira coluna intitula-se “referência”. Nela, inseriram-se as citações das referências lidas. A segunda coluna, “palavra-chave”, ficou reservada para a(s) palavra(s) que melhor resumiam o tema da leitura. Enquanto na última coluna, “contribuição”, escreveram-se as principais contribuições das fontes de informação escolhidas. O intuito da organização das referências teóricas relacionadas com palavras-chave e contribuições, foi a possibilidade da aplicação de filtros, de forma a evidenciar todas as informações coletadas sobre determinado tema. Ao passo que se coletavam referências teóricas pelas leituras, as visitas e entrevistas permitiram a coleta prática, descrita a seguir.

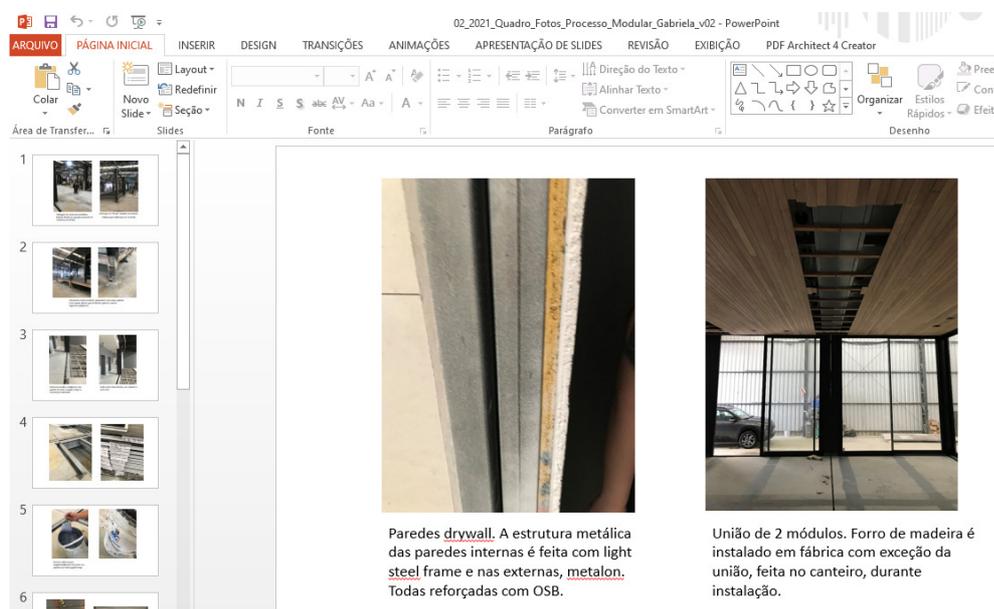
3.3.2 Prática

A coleta de dados práticos se deu por meio de duas fontes: as visitas e as entrevistas. Como explicado anteriormente, as visitas ocorreram em obras modulares executadas por empresas especializadas, que, nesse trabalho, estão apresentadas como casos estudados.

O objetivo da coleta prática estava em validar a teórica, além de complementá-la. Para isso, em cada um dos casos analisou-se à similaridade teórico-prática através da observação e

comparação. Todas as verificações (ocorrência ou não de etapas) foram anotadas em planilhas *Excel*. Além disso, registraram-se, por fotos, diversos momentos da montagem e instalação dos módulos, também relatados no Capítulo 4. Na visita à fábrica, foi possível acompanhar e fotografar a produção dos módulos, bem como identificar quais atividades são executadas nessa etapa e quais insumos são utilizados. Todas as informações coletadas foram documentadas, enquanto as fotos foram armazenadas em arquivo de slides, com legendas explicativas sobre as atividades e insumos, conforme Figura 9.

Figura 9 – Exemplo de coleta de dados práticos



Fonte: a autora (2021)

Depois de realizadas as visitas e afim de complementar tais informações coletadas, realizaram-se as entrevistas com os profissionais do ramo. Para torná-las mais produtivas e buscando respostas por perguntas que surgiram durante as coletas anteriores, elaborou-se uma ficha de perguntas, como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Ficha de perguntas

PROJETO	<p>Como é feito um projeto modular?</p> <p>Quais são os projetos elaborados? Ex: arquitetônico/estrutural/elétrico</p> <p>São feitos em BIM?</p> <p>Quanto tempo dura a etapa projeto?</p> <p>Os projetos trazem detalhes? Ex: paginação de revestimentos/tamanhos de solda</p> <p>Quais as dificuldades de projeto?</p> <p>Quais as permissões necessárias?</p>
SUBESTRUTURA	<p>Quais fundações geralmente são executadas?</p> <p>Quanto tempo pra executar a fundação modular?</p> <p>Quais as dificuldades dessa etapa?</p>
PRODUÇÃO DOS MÓDULOS	<p>Quais materiais são utilizados na produção dos módulos?</p> <p>Como é a estrutura de um módulo?</p> <p>Existem etapas de inspeção? Quais?</p> <p>Quais as dificuldades na produção?</p> <p>Qual é o tempo de produção dos módulos?</p>
TRANSPORTE	<p>Quais as limitações de transporte?</p>
MONTAGEM/INSTALAÇÃO	<p>Quais máquinas são utilizadas?</p> <p>Quanto tempo duram essas etapas?</p> <p>Que serviços são executados?</p> <p>Quais as dificuldades?</p>

Fonte: a autora (2021)

Ao passo que as perguntas dessa ficha foram respondidas, tais respostas já foram incorporadas no fluxograma a ser apresentado na Figura 18, finalizando a coleta de dados. A contribuição dos casos e de cada entrevista descrevem-se a seguir.

3.4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Em posse dos dados coletados e buscando a comprovação das etapas teóricas, elaborou-se uma sequência do desenvolvimento modular baseada na literatura e uma tabela relativa aos casos estudados, contendo quais etapas foram seguidas e a descrição da execução dos módulos. Cada um dos casos estudados trouxe contribuições diferentes para esse trabalho.

Com o primeiro caso, escola 1, foi possível observar quais materiais compunham os módulos e com qual nível de acabamento e instalações eles chegavam ao canteiro, já que nesse caso, eles já estavam instalados. Além disso, também foi possível observar de que maneira os módulos são conectados às fundações.

Com o segundo caso, escola 2, foi possível observar a montagem e a instalação, bem como o transporte e o içamento de cada um dos módulos.

Já na residência 1, terceiro caso, conseguiu-se analisar sua subestrutura (obra civil no canteiro), já que alguns dos módulos ainda não haviam sido montados. Naqueles já montados, observou-se a execução dos acabamentos internos, principalmente quanto a paginação dos revestimentos. O estudo da residência 2, quarto caso, permitiu o entendimento de edificações híbridas em módulos 2D e 3D, além da análise dos materiais utilizados pela Empresa C.

No edifício, quinto caso, também foi possível observar a execução da sua fundação e das esperas para fixação dos módulos. Na fábrica, durante o acompanhamento da produção, foi possível observar a execução de um dos módulos destinado a esse caso. Assim, reuniram-se informações sobre as atividades de execução e também sobre os materiais.

Quanto ao hospital, sua principal contribuição foi a análise do curto prazo de execução, além da logística de produção dos módulos e dos materiais que permitiram tal rapidez.

Dessa forma, foi possível comparar a teoria com a prática, confirmando a sequência elaborada. A partir dos dados de execução dos módulos e da descrição dos materiais utilizados, foi possível elaborar um fluxograma inicial do processo executivo, objetivo desse trabalho. De forma a complementá-lo, realizaram-se as entrevistas.

A primeira e a segunda entrevista, E01 e E02, trouxeram contribuições relativas à ordem das etapas apresentadas no fluxograma inicial, bem como a adição de novas, para aumentar a clareza do processo. Já a terceira entrevista, E03, permitiu a confirmação do fluxograma final, além da comparação de mais um caso.

Feita a análise dos dados, foi possível a elaboração dos resultados finais.

3.5 ESCRITA DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

Em posse da comprovação das etapas teóricas, consolidou-se a sequência do ciclo modular baseada na literatura. Quanto aos casos, todos foram brevemente descritos. Um resumo deles foi organizado em tabela comparativa, trazendo os detalhes de cada um, os materiais que compõem seus módulos e seus diferenciais. Quanto ao fluxograma, depois das entrevistas foi

possível elaborar sua versão final. Por fim, adicionou-se um quadro contendo as fotos tiradas durante as visitas, de forma a exemplificar todo o processo descrito anteriormente. Tais resultados encontram-se descritos e discutidos a seguir.

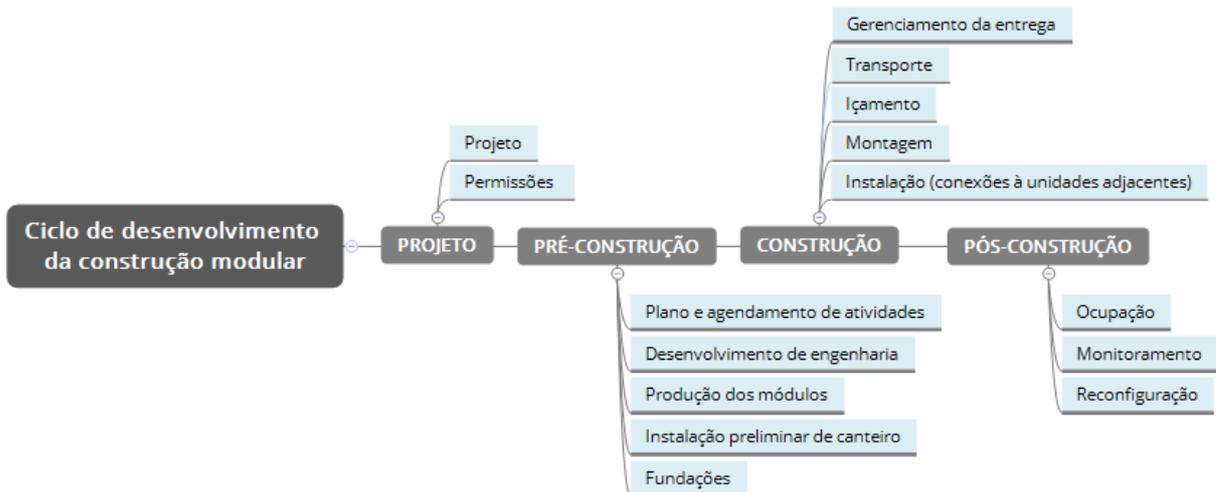
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresentam e discutem-se três elementos: 1) um ciclo de desenvolvimento da construção modular baseado na teoria existente; 2) o estudo de seis casos de construção modular em edificações e a comparação entre eles e 3) uma proposta de processo executivo de construção modular em chassi de aço, baseada nos dois itens anteriores. Os detalhes dessa discussão mostram-se nos itens seguintes.

4.1 CICLO DE DESENVOLVIMENTO DA CONSTRUÇÃO MODULAR TEÓRICO

Para entender o funcionamento uma construção modular, buscou-se na literatura as etapas necessárias para seu desenvolvimento. Sendo assim, elaborou-se o ciclo de desenvolvimento da construção modular representado na Figura 11, a seguir.

Figura 11 – Ciclo de desenvolvimento da construção modular



Fonte: a autora (2021)

A Figura 11 traz, em ordem cronológica, as fases de uma construção modular: projeto; pré-construção; construção e pós-construção. Na primeira fase, estão as etapas: projeto e permissões. A pré-construção, por sua vez, é composta pelo plano e agendamento de atividades,

desenvolvimento de engenharia, produção dos módulos, instalações preliminares do canteiro e também pelas fundações. Já na construção, estão as etapas responsáveis pelo gerenciamento da entrega, o transporte, o içamento, a montagem e a instalação dos módulos, ou seja, a conexão dele com as unidades adjacentes. Por último, na pós-construção, encontram-se a ocupação, o monitoramento e a possível reconfiguração.

Para elaboração desse esquema, foram utilizadas contribuições de cinco autores, conforme Quadro 6.

Quadro 6 – Etapas de desenvolvimento da construção modular x autores

ETAPAS DO CICLO DE DESENVOLVIMENTO	Projeto		Pré-construção					Construção					Pós-construção		
	Projeto	Permissões	Plano e agendamento de atividades	Desenvolvimento de engenharia	Produção de módulos	Instalações preliminares canteiro	Fundações	Gerenciamento de entrega	Transporte	Içamento	Montagem	Instalação	Ocupação	Monitoramento	Reconfiguração
AUTORES															
GOSLING et al. (2016)	X		X					X			X			X	X
KAMALI; HEWAGE (2016)	X	X		X	X	X	X		X	X		X	X		
MIGNACCA et al. (2018)	X			X	X				X						
BERTRAM et al. (2019)	X				X		X					X			
GIBB (1999)	X								X	X	X	X			

Fonte: a autora (2021)

Esse Quadro mostra as referências utilizadas para a formulação do esquema. Em cada uma das colunas estão citadas as etapas, enquanto as linhas indicam os autores estudados. Todas as etapas, quanto citadas pelos autores, são marcadas com “X”. As propostas de ciclo da construção modular de cada autor encontram-se apresentadas no Apêndice B.

Como esse trabalho tem por objetivo a descrição do processo executivo de edificações modulares em chassi metálico, buscou-se o entendimento mais detalhado das fases de pré-construção e construção, como apresentado no Quadro 7. Nele, a fase de pós-construção não se encontra explicada, pois não faz parte da discussão desta pesquisa.

Quadro 7 - Etapas da construção modular

ETAPAS	DESCRIÇÃO
Projeto	Essa etapa é reservada à análise de viabilidade da construção modular e à elaboração dos projetos arquitetônicos e civis.
Permissões	Depois de elaborados os projetos, são requisitadas as permissões para a construção, como: ART; alvará de construção; ligação de água e luz, etc. Após a produção, também são solicitadas as permissões para transporte.
Plano e agendamento de atividades	Nessa etapa é feito o planejamento da construção modular, tanto da obra civil no canteiro quanto da produção dos módulos.
Desenvolvimento de engenharia	Se refere ao desenvolvimento de soluções construtivas, em termos de produto e processo, para adaptação e melhoria do sistema construtivo modular.
Produção de módulos	Etapa reservada a produção dos módulos em ambiente fabril.
Instalações preliminares de canteiro de obras	Enquanto os módulos são produzidos em fábrica, o canteiro é preparado para execução de atividades corriqueiras do canteiro de obras, como é o caso dos serviços preliminares.
Fundações	Execução da fundação dos módulos.
Gerenciamento de entrega	Etapa reservada ao planejamento da entrega de módulos. Por alguns dos itens serem volumétricos, ocupando grande espaço do canteiro de obras, precisam chegar na obra em ordem de montagem.
Transporte	Transporte dos módulos produzidos, da fábrica para o canteiro. Pode ser rodoviário e feito por caminhões adequados ou hidroviário.
Içamento	A etapa de içamento é responsável pela retirada dos módulos dos caminhões e posicionamento no canteiro de obras, através do uso de guias e caminhões <i>munck</i> .
Montagem	A montagem envolve as atividades de fixação dos módulos com a fundação e também entre módulos.
Instalação	Corresponde às atividades de conexão das instalações (elétricas, hidrossanitárias, etc) dos módulos entre si e com outros elementos do canteiro de obras, além de atividades de finalização não executadas em fábrica, como vedações e acabamentos finais.

Fonte: a autora (2021)

A partir da análise das propostas dos autores mencionados no Quadro 6, as etapas identificadas do ciclo de construção modular e o entendimento de cada uma delas são contribuições teóricas para guiar a descrição do processo executivo em detalhe. Esse detalhe passa por conhecer quando e quais atividades acontecem, bem como quais insumos estão envolvidos, informações pouco detalhadas na literatura consultada. Para tanto, foram estudados seis casos práticos de construções modulares, descritos a seguir.

4.2 CASOS ESTUDADOS

De forma a confirmar as etapas propostas na literatura e buscando mapear o processo executivo, a seguir apresentam-se a descrição e a comparação de diferentes obras modulares, dispostas em seis casos: escola 1; escola 2; residência unifamiliar 1; residência unifamiliar 2; edifício comercial e hospital, executadas por três empresas distintas.

Essa apresentação se faz em duas etapas. Na primeira, apresentam-se as características básicas de cada caso estudado. Já na segunda, apresenta-se um resumo comparativo dos casos.

4.2.1 Descrição dos casos

4.2.1.1 Escola 1 – Empresa A

O primeiro caso analisado é referente a uma escola situada na cidade de Palhoça – Santa Catarina, representada na Figura 12. É uma obra do tipo comercial realizada em 2020.

Tendo sapatas como fundação, sua estrutura é formada por elementos metálicos, perfis “W”, com fechamentos externos em termopainéis de PIR e internos em *drywall* reforçado com OSB, além de fachadas com chapas de ACM, enquanto a laje é formada a partir de painéis *Wall*. A execução dos revestimentos em porcelanato, do forro de gesso, das instalações prediais e a colocação das esquadrias de vidro, foram atividades realizadas em ambiente fabril. Restaram para o canteiro de obras, além da montagem dos módulos, sua instalação, dada pelas atividades de finalização: conexão das instalações; execução dos acabamentos na junção de módulos e conferências gerais.

Figura 12 – Escola modular 1



Fonte: a autora (2020)

4.2.1.2 Escola 2 – Empresa B

O segundo caso estudado também foi uma escola. Essa, situa-se na cidade de Florianópolis – Santa Catarina. Executada durante o ano de 2021, é formada por 21 módulos de 7x3 metros, com área total de 441 m².

Nesse caso, a estrutura do módulo é formada por chapas dobradas de aço galvanizado, com fechamentos internos em *drywall* reforçado com placas de OSB. Sua fachada é executada em concreto GRC (reforçado com fibra de vidro) e a laje, em concreto armado com 5 cm de espessura, apoiada no chassi metálico. As instalações prediais foram executadas em fábrica, mas o forro de gesso e os revestimentos de piso, não, restando essas atividades para serem executadas em loco, adjunto com a montagem e a instalação.

Figura 13 – Escola modular 2



Fonte: Empresa B (2021)

4.2.1.3 Residência unifamiliar 1 – Empresa A

Primeiro caso residencial analisado, essa obra está localizada na cidade de Garopaba – Santa Catarina e foi executada em 2020. Conta com aproximadamente 180 m², a partir de 4 módulos 3D.

Com fundação de sapatas, a casa conta com estrutura metálica em perfis “W”, fechamentos externos em termopainéis de PIR e internos em *drywall* e OSB. Sua fachada é predominantemente formada por esquadrias e painéis de vidro e a laje também é formada pelos painéis *Wall*. Os revestimentos, o forro em madeira e as instalações foram atividades realizadas fora do canteiro de obras, em fábrica. Para o canteiro, restaram as atividades de montagem e instalação.

Figura 14 – Residência modular 1



Fonte: a autora (2020)

4.2.1.4 Residência unifamiliar 2 – Empresa C

O segundo caso de residência unifamiliar estudado é referente a uma casa modular pertencente a um empreendimento residencial de alto padrão que conta com 56 casas, localizado em Santo Antônio do Pinhal – São Paulo. As casas contam com módulos 3D e também 2D, totalizando 193 m² de construção modular híbrida.

As casas apresentam fundação em radier e chassi metálico executado em perfil de aço galvanizado. Os fechamentos externos são feitos em *light steel frame*, vedados com painéis isotérmicos e revestidos com placas cimentícias com juntas destacadas. Os fechamentos internos são executados em *drywall* + OSB e a cobertura é dada pelos painéis *Wall*. Quanto às instalações, são utilizados kits hidráulicos de saídas horizontais e instalações elétricas com conectores. Os módulos são majormente acabados em fábrica, restando para o canteiro sua montagem, instalação e finalização.

Figura 15 – Residência modular 2



Fonte: Empresa C (2021)

Projeto ARATAU e arquitetura FGMF.

4.2.1.5 Edifício comercial – Empresa A

Primeiro edifício *offsite* volumétrico em chassi de aço da América do Sul, essa obra é composta por 56 módulos 3D, a maioria de 3,75 metros de largura, 15,00 metros de comprimento e 3,80 metros de altura, que somados com painéis 2D, totalizam 3121 m² de obra modular, localizados na cidade de Tubarão – Santa Catarina.

Com fundação executada em estaca hélice contínua, a estrutura dos módulos é formada por elementos metálicos, também perfis “W”. Os fechamentos externos são feitos em *light steel frame* + termopainéis de PIR, além de placas em ACM como revestimento. Já a os fechamentos internos são compostos por *light steel frame* + placas de gesso acartonado + OSB. Os painéis *Wall* fazem o papel das lajes e a fachada conta com esquadrias de vidro. As atividades para

finalização da estrutura, do envelope e os trabalhos internos foram realizados em fábrica. Para o canteiro restaram as atividades de montagem e instalação. Nesse caso, foram acoplados durante a montagem, brises formados por módulos 2D.

Figura 16 – Edifício modular



Fonte: Empresa A (2021)

4.2.1.6 Expansão de hospital para combate ao coronavírus – Empresa A

O sexto e último caso é referente a expansão de um hospital para combate ao coronavírus, localizado em São Paulo, capital. É uma obra com área total de 1350 m², proporcionando 100 novos leitos hospitalares.

Sua fundação é formada por radier e a estrutura dos módulos por perfis metálicos “W” e “C”. No envelope, tem-se: como lajes os painéis *Wall*; fechamentos internos formados por *woodframe* + placas de gesso acartonado + OSB e externos com *woodframe* + manta Tyvek + placas cimentícias. Nesse caso, destaca-se o tempo total de obra, 33 dias. Por ser uma obra emergencial, toda a produção, montagem e instalação foi ajustada ao prazo. Como a maioria dos casos já apresentados, as atividades de trabalho interno foram finalizadas em fábrica, restando para o canteiro a montagem e a instalação.

Figura 17 – Expansão modular de hospital



Fonte: Empresa A (2020)

4.2.2 Comparação dos casos

Para cada um dos casos apresentados, analisou-se a ocorrência das etapas teóricas, aquelas identificadas na literatura. Nessa análise, perceberam-se algumas particularidades, indicadas no Quadro 8.

Tal Quadro mostra a verificação da ocorrência das etapas identificadas na teoria (vide Figura 11) com relação às seis obras estudadas. Assim, os casos que as apresentaram recebem um “X”. De maneira complementar, marcou-se com um “D” os casos em que foram identificadas particularidades. A completude da marcação desse Quadro indica que todas as etapas teóricas foram identificadas na prática. Destaca-se que, entre os casos, se identificaram particularidades para as etapas de: plano e agendamento de atividades; desenvolvimento de engenharia; produção de módulos; fundação; gerenciamento de entrega; montagem e instalação.

Quadro 8 – Ocorrência de etapas teóricas e particularidades identificadas

	CASOS DE ESTUDO	Escola 1	Escola 2	Residência 1	Residência 2	Edifício	Hospital
		ETAPAS DO CICLO DE DESENVOLVIMENTO					
Projeto	Projeto	X	X	X	X	X	X
	Permissões	X	X	X	X	X	X
Pré-construção	Plano e agendamento de atividades	X	X	X	X	X	D
	Desenvolvimento de engenharia	X	X	X	D	D	X
	Produção de módulos	D	D	D	D	D	D
	Instalação preliminar de canteiro	X	X	X	X	X	X
	Fundações	X	X	X	X	D	X
Construção	Gerenciamento da entrega	X	D	X	X	D	X
	Transporte	X	X	X	X	X	D
	Içamento	X	X	X	X	X	X
	Montagem	X	X	X	X	X	D
	Instalação	X	X	X	X	X	D

Legenda: X – Ocorrência da etapa; D – Etapa com particularidade.

Fonte: a autora (2021)

Dentre elas, a etapa com maior quantidade de particularidades foi identificada como a produção de módulos. Consideraram-se como “particularidades” as atividades feitas em um caso estudado e que não se repetem em outro, ou que apresentam diferenciais. O fato da etapa com maior ocorrência delas ser a produção dos módulos, significa que existe uniformidade quanto à sequência dos processos de execução da construção modular, mas não existe uniformidade quanto ao produto (módulo). Isso porque cada um dos casos seguiu as etapas teóricas de desenvolvimento, mas apresentou tipos de módulos diferentes.

O Quadro 9, a seguir, contém um resumo dos casos estudados. Especificamente, compara-os quanto aos fatores: empresa responsável; ano de construção; tipo; localização; tempo total de obra; área; número de módulos e principais materiais empregados nos módulos; bem como a descrição das particularidades percebidas.

Caso de estudo	Empresa responsável	Ano de construção	Tipo	Localização	Tempo de obra	Área modular (m ²)	Número de módulos	Principais materiais empregados nos módulos	Particularidades
1. Escola 1	A	2020	Comercial	Palhoça - SC	Indefinido devido à paralizações pelo avanço da COVID-19	Não informado	Não informado	SUBESTRUTURA: sapatas e estacas de concreto pré-moldadas cravadas ESTRUTURA: chassi metálico perfis "W" ENVELOPE: painel <i>Wall</i> (laje); <i>drywall</i> + OSB + ACM (fechamentos externos); termopainel PIR (cobertura) TRABALHO INTERNO: <i>drywall</i> + OSB (fechamentos internos)	Utilização de placas de ACM + esquadrias de vidro como revestimento externo
2. Escola 2	B	2021	Comercial	Florianópolis - SC	45 dias (15 dias de execução da subestrutura e produção dos módulos, 3 dias de montagem e 27 dias de instalação)	441	21 módulos 3D	SUBESTRUTURA: radier e sapatas de concreto ESTRUTURA: chassi metálico chapas dobradas de aço ENVELOPE: módulo 2D em concreto armado (laje); módulo 2D em GRC (fechamentos externos); telha sanduíche (cobertura); TRABALHO INTERNO: <i>drywall</i> + OSB (fechamentos internos)	1. Utilização de módulos 2D pré-fabricados para compor os módulos 3D (fachadas e lajes); 2. Projeto do plano de entrega dos módulos
3. Residência 1	A	2020	Residencial	Garopaba - SC	90 dias (40 dias de produção dos módulos, montagem e instalação)	aprox. 180	4 módulos 3D	SUBESTRUTURA: sapatas em concreto ESTRUTURA: chassi metálico perfis "W" ENVELOPE: painel <i>Wall</i> (laje); <i>drywall</i> + vidro (fechamentos externos); termopainel PIR (cobertura); TRABALHO INTERNO: <i>drywall</i> + OSB (fechamentos internos)	Utilização de esquadrias de vidro para composição da fachada e revestimento de forro em madeira
4. Residência 2	C	Em execução	Residencial	Santo Antônio do Pinhal - SP	120 dias	193	Híbrido 3D + 2D	SUBESTRUTURA: radier em concreto ESTRUTURA: chassi metálico perfil de aço + <i>ligh steel frame</i> ENVELOPE: painel <i>Wall</i> (laje e cobertura); <i>drywall</i> + OSB + placa cimentícia (fechamentos externos); TRABALHO INTERNO: <i>drywall</i> + OSB (fechamentos internos)	1. Composição híbrida de módulos 2D e 3D; 2. Utilização de <i>light steel frame</i> para compor a estrutura e kits hidráulicos nas instalações; 3. Prototipagem em verdadeira grandeza
5. Edifício	A	2021	Comercial	Tubarão - SC	210 dias (180 dias de execução da subestrutura e produção dos módulos e 100 dias de montagem e instalação)	3121	Híbrido 3D + 2D 56 módulos 3D	SUBESTRUTURA: estaca hélice contínua ESTRUTURA: chassi metálico perfis "W" ENVELOPE: painel <i>Wall</i> (laje); estrutura metalon + gesso + OSB + termopainel PIR + ACM + vidro (fechamentos externos); termopainel PIR (cobertura) TRABALHO INTERNO: <i>light steel frame</i> + gesso + OSB	1. Módulos 2D acoplados (Brise horizontal (asa de ACM); Brise vertical com chapa perfurada; Brise vertical com painel fotovoltaico); 2. Fundações em estaca hélice contínua; 3. Projeto do plano de entrega dos módulos; 4. Desenvolvimento de engenharia para edificação modular com 8 pavimentos
6. Hospital	A	2020	Hospitalar	São Paulo - SP	33 dias	1350	56 módulos 3D (hospital) + módulos 3D de passarela	SUBESTRUTURA: radier em concreto ESTRUTURA: chassi metálico perfis "W" e "C" ENVELOPE: painel <i>Wall</i> (laje); <i>woodframe</i> + gesso + OSB + Manta Tyvek + placa cimentícia (fechamentos externos); TRABALHO INTERNO: <i>woodframe</i> + gesso + OSB (fechamentos internos)	Toda produção, montagem e instalação voltada ao prazo. Hospital de emergência

No Quadro 9, apresentam-se as particularidades dos casos, com ênfase no processo executivo e nos insumos utilizados.

Ressalta-se que os seis casos estudados têm estrutura em chassi metálico. Além disso, todos os módulos saíram da fábrica com lajes, coberturas, paredes e instalações já executadas. Assim, somente a montagem, a instalação, a execução de alguns revestimentos e outros acabamentos (elétricos, louças, metais) realizaram-se no canteiro de obras. Quanto às fundações, maiormente foram do tipo sapata e radier, com exceção do edifício, feita em estaca hélice contínua.

Com relação aos diferenciais, nota-se a variedade de materiais empregados na produção dos módulos. Na cobertura: termopainéis de PIR, telhas sanduíches e painéis *Wall*. Como lajes: painéis *Wall* ou concreto armado. Nas vedações: *light steel frame*; *drywall*; ACM; *woodframe*; placa cimentícia; painéis CLT ou módulos 2D em concreto GRC. No chassi metálico: perfis “W” e “C”; perfis metálicos leves e chapas dobradas de aço galvanizado.

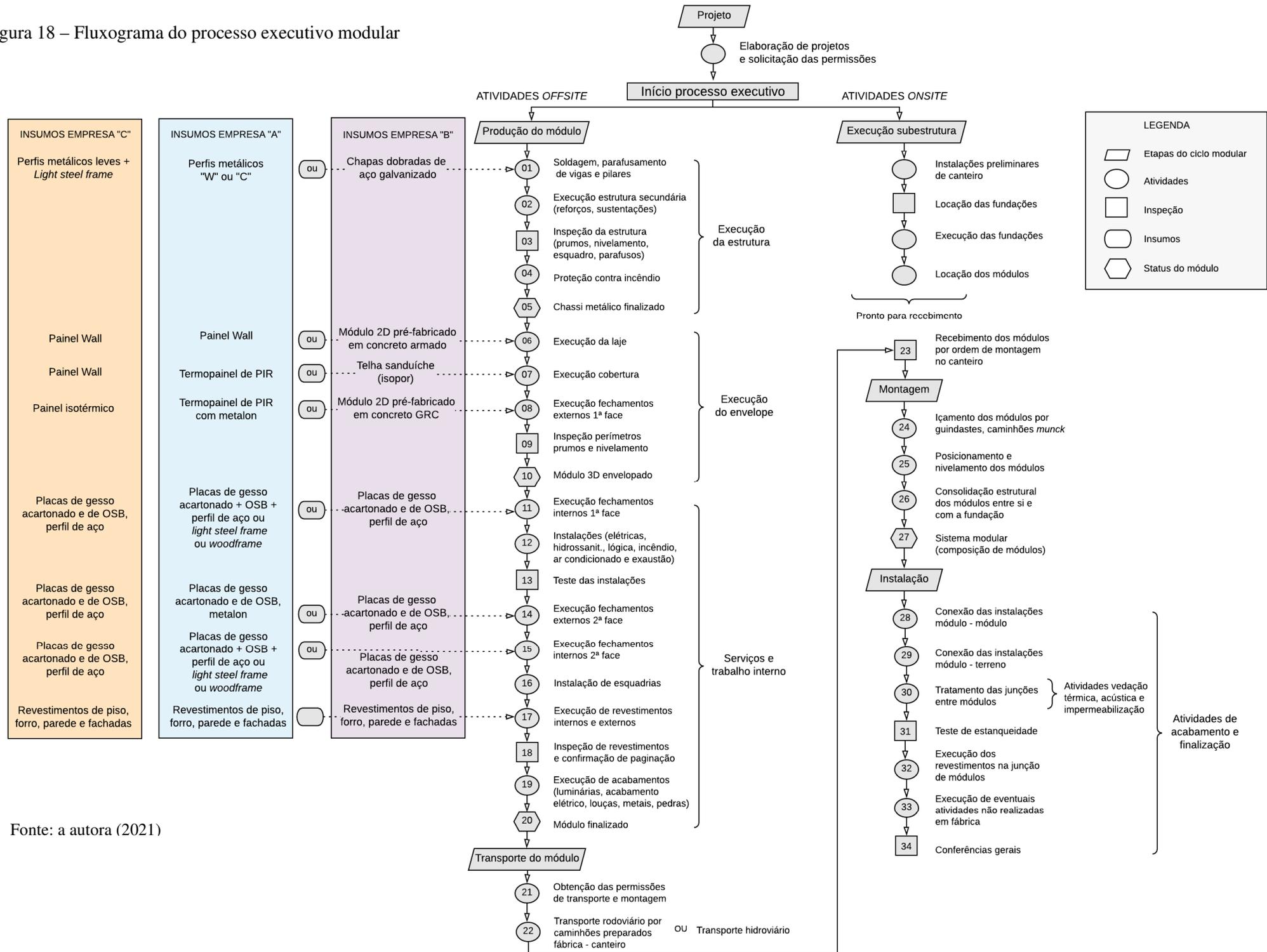
Além disso, o edifício e o hospital foram os casos com mais particularidades. Esse primeiro, contou com desenvolvimento de engenharia para produção de seus módulos, além de ter fundação em hélice contínua, como dito anteriormente. Devido a quantidade de módulos, essa obra requereu um gerenciamento da entrega detalhado. Já com relação ao hospital, por ser emergencial, todo o seu planejamento e execução voltaram-se a um fator principal: prazo. Por isso, seu plano e agendamento de atividades, a produção dos módulos, o transporte, sua montagem e instalação foram diferenciadas, com tempo de obra menor quando comparado aos outros casos.

Portanto, percebe-se novamente a uniformidade do processo, já que as três empresas estudadas executaram, em ordem: projeto; produção; transporte; montagem e instalação. Entretanto, existem diferenças entre as atividades de finalização e insumos utilizados, já que as fundações, as dimensões e principalmente os materiais, se alteraram conforme necessidade, sejam elas de projeto, de prazo ou de custo. Com base nesses resultados, detalhou-se o processo executivo de construção modular em chassi de aço, conforme mostrado no item seguinte.

4.3 PROCESSO EXECUTIVO DE CONSTRUÇÃO MODULAR EM CHASSI DE AÇO

A partir do entendimento acerca do processo modular de cada um dos casos estudados, foi proposto o fluxograma de processos, apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Fluxograma do processo executivo modular



A Figura 18 mostra o processo da construção modular dividido em seis etapas: projeto; subestrutura; produção do módulo; transporte do módulo; montagem e instalação. Em cada uma dessas etapas, estão indicados por cinco símbolos, conforme legenda: as etapas; as atividades; as inspeções; os insumos e também o status do módulo, ou seja, como ele se encontra ao final de cada etapa. O retângulo azul destaca os insumos utilizados pela Empresa A, o retângulo lilás aqueles utilizados pela Empresa B e o retângulo laranja os da Empresa C.

A seguir detalham-se as seis principais etapas contidas na Figura 18. Entretanto, ressalta-se que o processo executivo é composto pelas etapas de subestrutura, produção do módulo, transporte, montagem e instalação. Sendo assim, a etapa de projeto será brevemente descrita devido a sua importância, mas essa não faz parte do foco deste trabalho.

4.3.1 Projeto

A etapa de projeto, conforme apresentado na Figura 18, envolve a elaboração dos projetos e a solicitação das permissões necessárias. Essas são iguais às obtidas para uma construção convencional, sendo geralmente: Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), alvará de construção, licença de instalação de energia e água, eventuais autorizações do Corpo de Bombeiros, da Companhia de Engenharia de Tráfego e/ou outras conforme exigências da cidade onde o imóvel encontra-se situado.

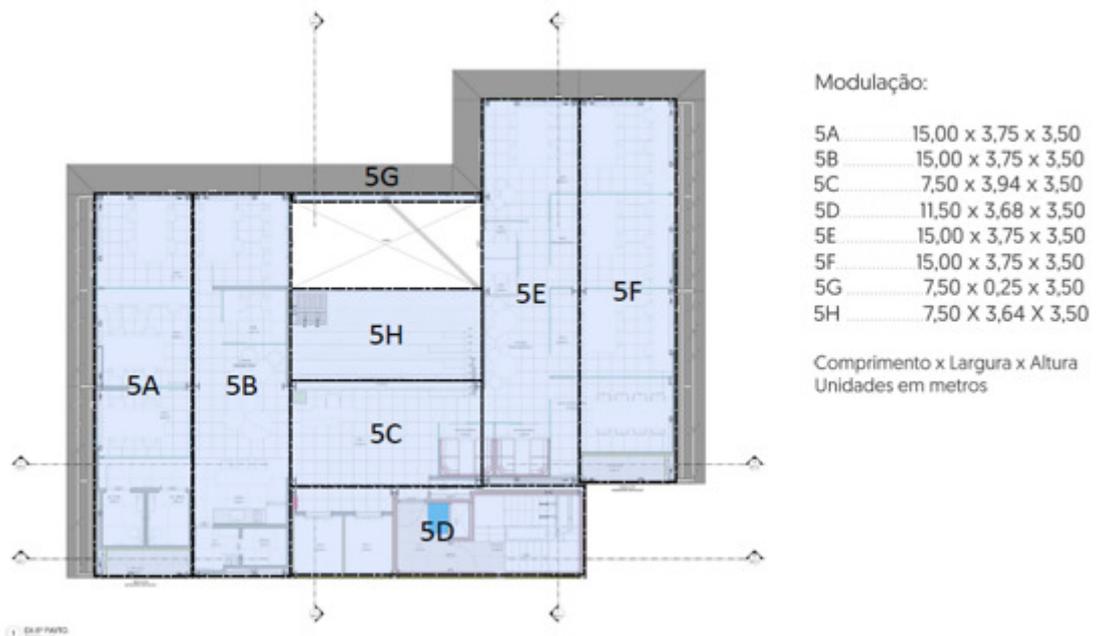
A elaboração de projetos de construções modulares pode ocorrer de duas maneiras diferentes. A primeira é através da modularização de projetos tradicionais, ou seja, acontece quando um projeto arquitetônico comum é apresentado a uma empresa de construção modular que o adapta para ser construído em módulos. A segunda maneira é dada pela criação do projeto já em formato modular. As Figuras 19 e 20 exemplificam um projeto arquitetônico criado já de forma modular e sua modulação correspondente.

Figura 19 – Exemplo de projeto arquitetônico modular



Fonte: Empresa A (2021)

Figura 20 – Exemplo de modulação do projeto arquitetônico



Fonte: Empresa A (2021)

Todos os projetos elaborados para uma construção modular são análogos aos elaborados na construção tradicional, envolvendo projetos arquitetônicos, estruturais, elétricos, hidrossanitários, entre outros, sendo ou não em *BIM*. A principal diferença está nos projetos que indicam as modulações, além daqueles que organizam a montagem. Ademais, algumas empresas optam pela elaboração de projetos para orientar a execução dos módulos em fábrica. Feita a elaboração e a partir da solicitação das permissões, iniciam-se a obra civil no canteiro e a produção dos módulos em fábrica.

4.3.2 Execução da subestrutura – obra civil no canteiro de obras

A etapa de execução da subestrutura acontece de maneira muito parecida para uma construção modular e uma construção tradicional. Nela, geralmente não estão envolvidos módulos e nem produções em fábrica, apesar de algumas empresas optarem por fundações pré-moldadas. Como relatado nos casos, as fundações para obras modulares geralmente são executadas em radiers e sapatas, mas podem ser até em hélice contínua, conforme necessidade.

Nessa etapa, encontram-se as atividades de instalações e serviços preliminares de canteiro de obras, locação e execução das fundações e locação dos módulos. As principais diferenças com relação às fundações de obras não modulares estão nas últimas duas atividades, visto que algumas fundações podem receber elementos próprios para fixação: esperas para encaixe do “pé” do módulo, conforme exemplifica o Quadro 10. Esses encaixes servem para unir a estrutura de fundação com a estrutura dos módulos, portanto são característicos da construção modular.

Quadro 10 – Fotos execução de subestrutura

	
<p>Foto 1 – Execução da fundação no canteiro Caso 5 – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>	<p>Foto 2 – Encaixe para o “pé” do módulo Caso 5 – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>
	
<p>Foto 3 – “Pé” do módulo Caso 5 – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>	<p>Foto 4 – Execução da fundação no canteiro Caso 2 – Empresa B Fonte: Empresa B (2021)</p>

Fonte: a autora (2021)

4.3.3 Produção dos módulos

A etapa de produção dos módulos *offsite* acontece simultaneamente à execução das fundações (BERTRAM *et al.*, 2019), sendo a etapa com maior número de atividades e insumos envolvidos. Isso acontece porque os módulos são praticamente finalizados em fábrica, com níveis de conclusão de 80 a 90%, contando com execução de trabalhos estruturais, elétricos, hidráulicos e de acabamento (O'BRIAN *et al.*, 2000; KAWECKI, 2010; KAMALI; HEWAGE, 2016).

As primeiras atividades dessa etapa são relativas à execução da estrutura metálica do módulo, iniciando pela soldagem e/ou parafusamento dos perfis para formação das vigas e pilares, seguida pela execução dos reforços e sustentações necessárias para lajes e coberturas, calculadas em projeto. A escolha dos elementos para execução da estrutura cabe às empresas responsáveis pela sua produção. Nos casos estudados, percebem-se diferenças. A Empresa A opta geralmente pelo uso de perfis “W” ou “C”. A Empresa B prefere o emprego de chapas dobradas de aço galvanizado, enquanto a Empresa C, perfis leves de aço galvanizado + perfis de *light steel frame*. Ou seja, estruturas de módulos metálicos podem ser produzidas a partir de diferentes insumos.

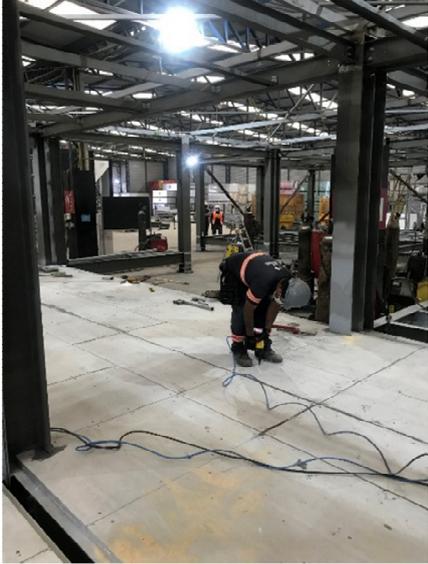
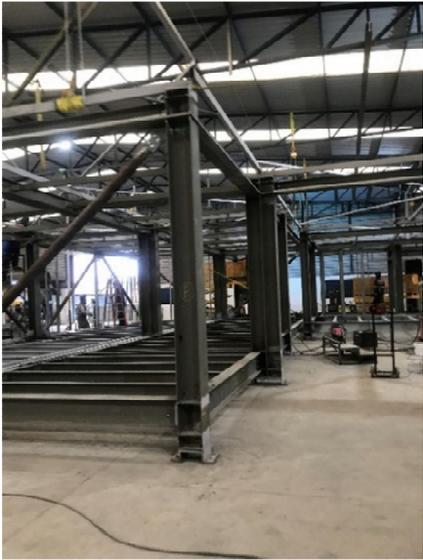
Feitas essas atividades, o módulo já ganha formato 3D, seguindo para a inspeção da estrutura com relação aos prumos, nivelamento, esquadros, soldas e parafusos. Em sequência, é executada a proteção contra incêndio, resultando no chassi metálico finalizado.

Uma vez que o chassi é finalizado, iniciam-se as atividades de execução do envelope, relativas à laje, à cobertura e aos fechamentos externos. Para execução das lajes, as Empresas A e C optaram pelo uso de painéis *Wall*, parafusados nas estruturas de sustentação. Já a empresa B utilizou módulos 2D pré-fabricados em concreto armado. Com relação à cobertura, as três empresas utilizaram materiais diferentes: termopainéis de PIR (Empresa A); telhas sanduíche com isopor (Empresa B) e painéis *Wall* (Empresa C).

Com relação aos fechamentos externos, as Empresas A e C empregam painéis de isolamento térmico, enquanto a Empresa B, módulos 2D pré-fabricados em concreto GRC. Apesar de mais uma vez apresentarem insumos diferentes, ao final dessa etapa, os módulos das três empresas encontram-se envelopados.

O Quadro 11 ilustra tais atividades.

Quadro 11 – Fotos execução de estrutura metálica e envelope

	
<p>Foto 5 – Soldagem dos elementos metálicos Visita à fábrica – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>	<p>Foto 6 – Execução da estrutura metálica Visita à fábrica – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>
	
<p>Foto 7 – Chassi metálico Visita à fábrica – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>	<p>Foto 8 – Estruturas de sustentação para as lajes em painel <i>Wall</i> Caso 5 – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>

Quadro 11 – Fotos execução de estrutura metálica e envelope (continuação)

	
<p>Foto 9 – Execução das lajes em painel Wall Visita à fábrica – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>	<p>Foto 10 – Detalhe laje em painel Wall Visita à fábrica – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>
	
<p>Foto 11 – Execução da cobertura em termopanel Visita à fábrica – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>	<p>Foto 12 – Módulo envelopado Caso 2 – Empresa B Fonte: Empresa B (2021)</p>

Fonte: a autora (2021)

Com o módulo envelopado, são realizadas as atividades relativas aos serviços e à trabalhos internos. Iniciam-se pela execução dos fechamentos internos, divididos em duas faces, assim como os externos. Isso é feito para evitar rasgos em paredes para as instalações, uma vez que é executada a primeira face do fechamento, seguida pela atividade de execução e teste das instalações e depois, executa-se a segunda face, finalizando as paredes internas e externas. Para essa etapa, as três empresas estudadas optaram por *drywall* + OSB.

Com a finalização das vedações, são instaladas as esquadrias e os revestimentos internos e externos. Para essa atividade existem projetos que planejam a paginação dos revestimentos, permitindo o encaixe de peças inteiras na junção de módulos, para que não haja recortes no meio de cômodos, por exemplo. Como os módulos são transportados individualmente, todas as peças são posicionadas de forma a garantir essa paginação, mas aquelas situadas no espaço da junção não são executadas em fábrica, apenas no canteiro. Essas peças recebem, na fábrica, marcações com a palavra “sai”, como exemplificado no Quadro 12.

Finalizados os revestimentos, são executadas as atividades de acabamento (elétrico, instalação de louças, metais, pedras, etc). Ao fim dessa etapa, encerra-se a produção dos módulos em fábrica e eles se encontram prontos para o transporte, como mostra o Quadro 12.

Quadro 12 – Fotos serviços e trabalho interno

	
<p>Foto 13 – Fechamentos internos (<i>drywall</i> + OSB) Visita à fábrica – Empresa Fonte: a autora (2020)</p>	<p>Foto 14 – Segunda face de fechamentos externos Visita à fábrica – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>

Quadro 12 – Fotos serviços e trabalho interno (continuação)



Foto 15 – Instalações elétricas em fábrica
Visita à fábrica – Empresa A
Fonte: a autora (2020)



Foto 16 – Instalações elétricas em fábrica
Visita à fábrica – Empresa A
Fonte: a autora (2020)



Foto 17 – Fechamentos internos
Visita à fábrica – Empresa A
Fonte: a autora (2020)

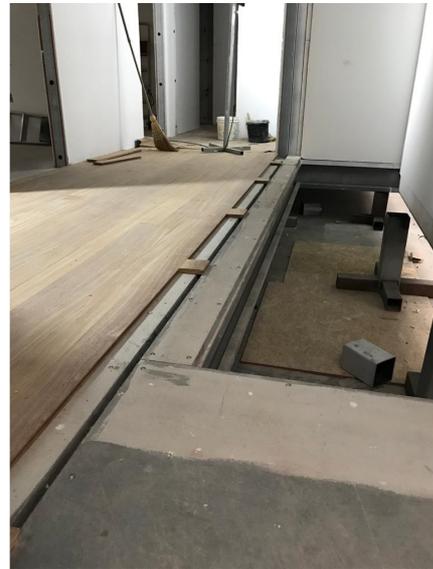


Foto 18 – Execução de revestimento de piso de madeira em ambiente fabril
Visita à fábrica – Empresa A
Fonte: a autora (2020)

Quadro 12 – Fotos serviços e trabalho interno (continuação)

	
<p>Foto 19 – Paginação na junção de módulos Visita à fábrica – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>	<p>Foto 20 – Confirmação de paginação na junção Caso 3 – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>

Fonte: a autora (2021)

4.3.4 Transporte

Com a finalização das atividades em fábrica, o módulo está pronto para o transporte até o canteiro, geralmente feito de forma rodoviária, por caminhões adequados ou hidroviária, quando necessário.

Nessa etapa é importante observar as restrições de transporte, principalmente quanto às dimensões máximas para os caminhões (BALAGUER *et al.*, 2002) e quanto à necessidade de veículos de escolta, ou batedores (LAWSON *et al.*, 2005). Ademais, devem ser solicitadas permissões para o transporte de módulos, além de autorizações da prefeitura para interromper o trânsito nas proximidades do canteiro de obras, quando necessário.

O envio dos módulos da fábrica para o canteiro de obras geralmente ocorre de acordo com a ordem de montagem da edificação modular, sendo esse planejamento uma atividade integrante do gerenciamento de entrega. O fim da etapa se dá com o recebimento dos módulos.

O Quadro 13 contém fotos para exemplificar a etapa de transporte.

Quadro 13 – Fotos transporte de módulos

	
<p>Foto 21 – Módulo finalizado e pronto para transporte Visita à fábrica – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>	<p>Foto 22 – Transporte de módulo por caminhão Caso 2 – Empresa B Fonte: a autora (2021)</p>
	
<p>Foto 23 – Transporte de módulos por caminhão Caso 2 – Empresa B Fonte: a autora (2021)</p>	<p>Foto 24 – Interrupção do trânsito Caso 2 – Empresa B Fonte: a autora (2021)</p>

Fonte: a autora (2021)

4.3.5 Montagem

A etapa de montagem se inicia após o recebimento dos módulos no canteiro, com a atividade de içamento, geralmente feita por guindastes ou caminhões *munck*. Cada módulo conta com aberturas ou olhais em sua estrutura, planejados para permitir tal atividade. A escolha desse elemento conectado à estrutura é relativa à empresa. Por exemplo, a Empresa A opta por olhais soldados, enquanto a Empresa B, por aberturas próprias feitas no chassi metálico.

Mediante o içamento, os módulos são posicionados de acordo com sua locação na fundação, e em sequência, nivelados. Uma vez que o posicionamento é concluído, as unidades modulares (2D ou 3D) são consolidadas estruturalmente entre si e com a fundação, através da soldagem ou parafusamento de elementos de ligação e fixação, formando um sistema modular, ou seja, uma composição de módulos. O Quadro 14 exemplifica a montagem modular acompanhada nos casos estudados.

Quadro 14 – Fotos montagem de módulos

	
<p>Foto 25 – Olhais para içamento Visita à fábrica – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>	<p>Foto 26 – Içamento do módulo Caso 2 – Empresa B Fonte: a autora (2021)</p>

Quadro 14 – Fotos montagem de módulos (continuação)



Foto 27 – Posicionamento do módulo
Caso 2 – Empresa B
Fonte: Empresa B (2021)



Foto 28 – Conferência de nível
Caso 2 – Empresa B
Fonte: Empresa B (2021)



Foto 29 – Consolidação estrutural com a
fundação
Caso 5 – Empresa A
Fonte: Empresa A (2021)



Foto 30 – Consolidação estrutural entre módulos
Caso 5 – Empresa A
Fonte: Empresa A (2021)

Quadro 14 – Fotos montagem de módulos (continuação)



Foto 31 – Maquinário para montagem
Caso 2 – Empresa B
Fonte: a autora (2021)



Foto 32 – Montagem de módulos
Caso 5 – Empresa A
Fonte: Empresa A (2021)

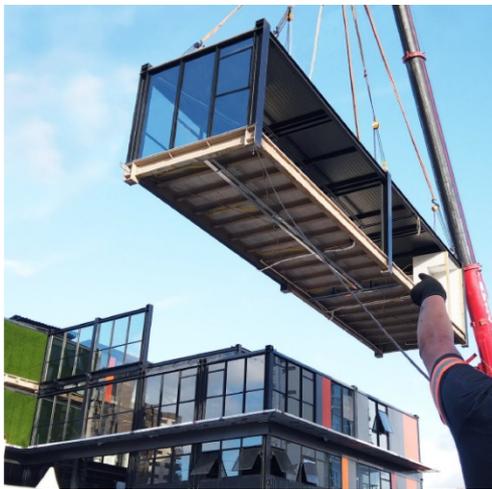


Foto 33 – Montagem de módulos
Caso 5 – Empresa A
Fonte: Empresa A (2021)



Foto 34 – Montagem de módulos
Caso 5 – Empresa A
Fonte: Empresa A (2021)

Fonte: a autora (2021)

4.3.6 Instalação

Com a consolidação estrutural feita e a formação do sistema modular, a etapa seguinte é relativa a instalação, partindo das atividades de conexão das instalações entre módulos e entre o sistema e o terreno. As instalações elétricas geralmente são fabricadas com conectores e chegam ao canteiro prontas para conexão entre módulos, basta plugá-las. Já as hidrossanitárias contam com esperas a serem interligadas com as instalações do canteiro.

Além disso, é nessa etapa que as junções entre módulos recebem tratamentos, ou seja, atividades de vedação térmica, acústica e de impermeabilização. Por exemplo, a Empresa B optou pela impermeabilização com manta asfáltica aluminizada e espuma expansiva de poliuretano, executada nas junções da cobertura entre módulos. Após essa atividade, instalaram-se calhas e rufos para garantir o escoamento adequado da água. A Empresa A também faz uso da manta asfáltica aluminizada, sendo essa uma similaridade entre os insumos utilizados nas empresas.

Após as atividades de conexão de instalações e de tratamentos, também chamadas de unidades adjacentes (GIBB, 1999), os módulos são submetidos a testes de estanqueidade, feitos através do teste das instalações hidrossanitárias e da impermeabilização.

Uma vez que as junções entre módulos se encontram tratadas e que o módulo se encontra estanque, são executados os revestimentos de piso, parede e forro na área dessas junções, a fim de escondê-las. Quando a edificação modular se encontra finalizada, geralmente não é possível perceber essa emenda entre módulos.

Para finalizar a etapa de instalação e, conseqüentemente, o processo executivo modular, são executadas eventuais atividades não realizadas em fábrica, como alguns revestimentos externos, acabamentos elétricos (geralmente luminárias), instalação de louças, metais, marcenaria e marmoraria. Além disso, também são executados reparos de eventuais danos causados aos acabamentos do módulo durante a etapa de transporte, como reparos de pintura e de trincas de gesso. Por último, são conferidas as atividades desenvolvidas em canteiro. O Quadro 15 exemplifica a etapa de instalação dos módulos e finalização do processo executivo.

Quadro 15 – Fotos instalação dos módulos

	
<p>Foto 35 – Instalações elétricas com conectores Caso 5 – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>	<p>Foto 36 – Conexão de instalações hidrossanitárias módulo-terreno Caso 5 – Empresa A Fonte: a autora (2020)</p>
	
<p>Foto 37 – Exemplo de teste de estanqueidade Caso 2 – Empresa B Fonte: Empresa B (2021)</p>	<p>Foto 38 – Execução dos revestimentos na junção de módulos Caso 3 – Empresa A Fonte: Empresa B (2021)</p>

Fonte: a autora (2021)

Percebeu-se, após o estudo do processo executivo de diferentes obras modulares, executadas por empresas também distintas, a uniformidade do processo empregado por elas, formado pelas etapas de projeto, produção dos módulos, execução de subestrutura, transporte, montagem e instalação. Entretanto, cada empresa emprega suas particularidades na sua produção.

Com relação ao módulo, diversos materiais podem ser empregados para sua formação. Inclusive entre obras de mesma empresa, módulos para projetos diferentes são produzidos de formas também diferentes. Por isso, não foi possível encontrar um padrão de insumos e, portanto, considera-se o módulo uma unidade repetível desse sistema construtivo a ser produzido conforme necessidades.

Quanto ao processo, em sua análise geral destaca-se a uniformidade. Entretanto, as atividades relativas à etapa de instalação, como execução de acabamentos e finalizações, apresentaram-se diferentes entre empresas e também entre obras de uma mesma empresa, assim como os insumos empregados na produção dos módulos. Ambos são aspectos que variam de projeto para projeto, conforme necessidades do cliente, de prazo e de custo.

Além disso, também é importante ressaltar alguns benefícios citados na literatura e observados durante o estudo para formulação deste trabalho: o controle oferecido pelo ambiente fabril e consequente melhoria da qualidade da produção, da produtividade e da redução de resíduos; a não dependência de eventos climáticos para produção dos módulos e, principalmente, a rapidez e eficiência deste sistema construtivo (LAWSON *et al.*, 2012; JONSSON; RUDBERG, 2013; KAMALI; HEWAGE, 2016; JIANG *et al.*, 2017; KAMALI *et al.*, 2018; BERTRAM *et al.*, 2019).

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho buscou-se a estruturação do processo executivo de edificações modulares em chassi de aço. Para tanto, inicialmente identificaram-se as etapas principais para execução da construção modular, retiradas da literatura e validadas na prática. São elas: 1) projeto; 2) execução da subestrutura; 3) produção dos módulos; 4) transporte dos módulos; 5) montagem e 6) instalação.

Na sequência, buscou-se descrever as atividades realizadas dentro de cada uma das etapas, bem como os insumos empregados no processo. Como tais informações não foram encontradas com detalhes na literatura, recorreu-se a visitas em obras modulares, à fábrica de uma empresa especializada nesse tipo de construção e a entrevistas com profissionais do ramo, entrevistando-se três empresas dedicadas à construção modular. Assim sendo, foi possível mapear e descrever o processo executivo modular em chassi de aço (Figura 18), estruturado a partir das seis etapas identificadas, trazendo detalhes de atividades e insumos utilizados por três empresas distintas. Além disso, foi possível exemplificar tais etapas com o auxílio de fotos relativas a seis casos de estudo e a uma visita em fábrica.

Através desse mapeamento, percebeu-se que, por um lado, o processo se encontra bem estabelecido, visto que as três empresas executam, em ordem, todas as etapas e atividades mapeadas. Por outro lado, com relação aos módulos, unidade fundamental desse sistema construtivo, não foi possível determinar tal uniformidade em sua produção. Notou-se que cada uma das empresas emprega materiais distintos nessa etapa. Por exemplo, para o chassi metálico, a Empresa A utiliza com mais frequência perfis metálicos “W”, enquanto a Empresa B, chapas dobradas em aço galvanizado. A Empresa C também emprega perfis de aço galvanizado, mas os complementa com perfis de *light steel frame*. As Empresas A e C fazem uso dos painéis *Wall* para execução das lajes e painéis isotérmicos com revestimento para fechamentos externos, enquanto a empresa B prefere módulos 2D pré-fabricados em concreto armado e pré-fabricados em GRC, respectivamente. Com relação aos revestimentos, diversos foram identificados durante o estudo dos casos, tais como: ACM; placa cimentícia; painéis de vidro; concreto GRC, porcelanatos, etc.

Conclui-se, portanto, a coexistência de duas características: 1) uniformidade do processo executivo na construção modular em chassi metálico e 2) a possibilidade de customização do módulo, com emprego de diferentes insumos, de acordo com necessidades de

projeto, de custo, de prazo, de disponibilidade do material escolhido e da empresa responsável por sua produção.

Quanto à utilidade do trabalho, ao mercado contribui-se com o esclarecimento do processo, permitindo a identificação de pontos de melhoria, enquanto à literatura, contribui-se com auxílio no preenchimento da lacuna sobre falta de documentos relativos ao processo executivo, à construção modular em si, aos suprimentos e às questões legais. Ademais, é importante ressaltar que a contribuição deste trabalho, além dos resultados apresentados, também se encontra na estruturação e mapeamento do processo executivo de construção modular em chassi metálico, visto que documentar um sistema construtivo inovador permite o compartilhamento de informações que auxiliam sua implementação, já que a descrição dos procedimentos e dos materiais utilizados em cada uma das etapas do desenvolvimento de uma construção modular, facilita a reprodução e aprimoramento do processo. Tais procedimentos podem ser reproduzidos parcial, ou totalmente, a fim de implementar pequenas inovações em processos construtivos tradicionais, impulsionando a industrialização da construção.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a comparação de outros casos executados por empresas além das três analisadas nesse trabalho, nacionais ou estrangeiras, buscando reunir novas informações, identificação de diferentes insumos e possíveis complementações ao processo.

Como o foco dessa pesquisa estava no processo executivo, também se sugere o estudo da etapa de projeto modular e da pós-construção, dada pela ocupação, pelo monitoramento e pela reconfiguração dos módulos.

Além disso, também se sugere a elaboração de um manual da construção modular.

REFERÊNCIAS

ABDUL NABI, Mohamad; EL-ADAWAY, Islam H. Modular construction: determining decision-making factors and future research needs. **Journal of Management in Engineering**, v. 36, n. 6, p. 04020085, 2020.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Manual da construção industrializada**. Brasília: ABDI, 2015.

AHN, Yong Han; KIM, Kyoon-Tai. Sustainability in modular design and construction: a case study of 'The Stack'. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 5, n. 4, p. 250-259, 2014.

ALMEIDA, Luiza Rangel de. **Estudos de sistemas construtivos pré-fabricados modulares aplicados em canteiros de obras**. 2015. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873**: Coordenação Modular para Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ÅGREN, Robert; WING, Robert D. Five moments in the history of industrialized building. **Construction management and economics**, v. 32, n. 1-2, p. 7-15, 2014.

BALAGUER, Carlos et al. FutureHome: An integrated construction automation approach. **IEEE robotics & automation magazine**, v. 9, n. 1, p. 55-66, 2002.

BARBOSA, Filipe; WOETZEL, Jonathan; MISCHKE, Jan. **Reinventing Construction: A Route of Higher Productivity**. McKinsey Global Institute, 2017.

BASTOS, R.de C. S. C. **Da Coordenação Modular à Construção Modular: Estudos de Caso**. 2015. 88 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

BERTRAM, N., FUCHS, S., MISCHKE, J., PALTER, R., STRUBE, G., WOETZEL, J. **Modular construction: From projects to products**. Capital Projects & Infrastructure. McKinsey & Company. PDF. 2019 1-34.

BJÖRNFOT, Anders; STEHN, Lars. Industrialization of construction: A lean modular approach. In: **Annual Conference of the International Group for Lean Construction: 03/08/2004-05/08/2004**. 2004.

BRYMAN, A. **Social Research Methods**. third edition. Oxford University Press. 748 p. 2008.

CUBICON®. Tecnologia Cubicon®. Disponível em: <https://cubicon.com.br/tecnologia-cubicon>. Acesso em 29 de abril de 2021.

DORAN, Des; GIANNAKIS, Mihalis. An examination of a modular supply chain: a construction sector perspective. **Supply Chain Management: An International Journal**, 2011.

GIBB, Alistair GF. **Off-site fabrication: prefabrication, pre-assembly and modularisation**. John Wiley & Sons, 1999.

GIBB, Alistair; ISACK, Frank. Re-engineering through pre-assembly: client expectations and drivers. **Building research & information**, v. 31, n. 2, p. 146-160, 2003.

GIBB, Alistair; PENDLEBURY, M. Glossary of terms. **Buildoffsite: Promoting Construction Offsite, London**, v. 39, 2006.

GOSLING, J., PERO, M., SCHOENWITZ, M., TOWIL, D., CIGOLINI, R. Defining and Categorizing Modules In Building Projects: An International Perspective. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.142, n. 11, 04016062. 2016.

HAMMAD, Ahmed WA et al. Building information modelling-based framework to contrast conventional and modular construction methods through selected sustainability factors. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 1264-1281, 2019.

HAN, Sang Hyeok et al. **3D Visualization of Modular Building Assembly: from a factory to construction site**.

HONG, J., SHEN, G. Q., LI, Z., ZHANG, B., ZHANG, W. Barriers to promoting prefabricated construction in China: a cost-benefit analysis. **Journal of Cleaner Production**. v. 172, 649-660. 2018.

HOSSEINI, M. Reza et al. Critical evaluation of off-site construction research: A Scientometric analysis. **Automation in Construction**, v. 87, p. 235-247, 2018.

HU, Xin et al. Understanding stakeholders in off-site manufacturing: a literature review. **Journal of construction engineering and management**, v. 145, n. 8, p. 03119003, 2019.

ISAAC, Shabtai; BOCK, Thomas; STOLIAR, Yaniv. A methodology for the optimal modularization of building design. **Automation in construction**, v. 65, p. 116-124, 2016.

JIANG, R., MAO, C., HOU, L., WU, C., TAN, J. A SWOT analysis for promoting off-site construction under the backdrop of China's new urbanization. **Journal of Cleaner Production**. v. 173, 225-234. 2018.

JIN, Ruoyu et al. A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018. **Journal of Cleaner Production**, v. 202, p. 1202-1219, 2018.

JONSSON, H., RUDBERG, M. Classification of production systems for industrialized building: a production strategy perspective. **Construction Management and Economics**, v. 32, n.1-2, 53-69. 2013.

KAMALI, Mohammad; HEWAGE, Kasun. Life cycle performance of modular buildings: A critical review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 62, p. 1171-1183, 2016.

KAMALI, Mohammad; HEWAGE, Kasun; MILANI, Abbas S. Life cycle sustainability performance assessment framework for residential modular buildings: Aggregated sustainability indices. **Building and Environment**, v. 138, p. 21-41, 2018.

KAMALI, Mohammad; HEWAGE, Kasun; SADIQ, Rehan. Conventional versus modular construction methods: A comparative cradle-to-gate LCA for residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 204, p. 109479, 2019.

KAMAR, K. A. M. et al. Industrialized building system (IBS): revisiting the issues on definition, classification and the degree of industrialization. In: **Construction Industry Research Achievements International Conference (CIRAIC 2007)**. Kuala Lumpur: CIDB. 2009.

KAWECKI, Leonard Robert. **Environmental performance of modular fabrication: calculating the carbon footprint of energy used in the construction of a modular home.** Arizona State University, 2010.

KOSKELA, Lauri. Is structural change the primary solution to the problems of construction?. **Building Research & Information**, v. 31, n. 2, p. 85-96, 2003.

LI, Heng et al. Rethinking prefabricated construction management using the VP-based IKEA model in Hong Kong. **Construction Management and Economics**, v. 29, n. 3, p. 233-245, 2011.

LAWSON, R. Mark; OGDEN, Ray G.; BERGIN, Rory. Application of modular construction in high-rise buildings. **Journal of architectural engineering**, v. 18, n. 2, p. 148-154, 2012.

LAWSON, R.; OGDEN, R. Developments in pre-fabricated systems in light steel and modular construction. **Transport**, v. 35, n. 15, p. 15, 2005.

MIGNACCA, Benito et al. We never built small modular reactors (SMRs), but what do we know about modularization in construction?. In: **International Conference on Nuclear Engineering**. American Society of Mechanical Engineers, 2018. p. V001T13A012.

MILLER, Thomas D.; ELGARD, Per. Defining modules, modularity and modularization. In: **Proceedings of the 13th IPS research seminar, Fuglsoe**. Aalborg University Fuglsoe, 1998.

NAHMENS, Isabelina; IKUMA, Laura H. Effects of lean construction on sustainability of modular homebuilding. **Journal of architectural engineering**, v. 18, n. 2, p. 155-163, 2012.

OALD (2014). **Oxford advanced learner's dictionary**. Oxford University Press, Oxford.

O'BRIEN, Michael; WAKEFIELD, Ron; BELIVEAU, Yvan. **Industrializing the Residential Construction Site**. 2000.

PELTOKORPI, Antti et al. Categorizing modularization strategies to achieve various objectives of building investments. **Construction Management and Economics**, v. 36, n. 1, p. 32-48, 2018.

PIL, Frits K.; COHEN, Susan K. Modularity: Implications for imitation, innovation, and sustained advantage. **Academy of management Review**, v. 31, n. 4, p. 995-1011, 2006.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SICMO. Sistema Industrializado de Construcción Modular. Disponível em: <http://www.sicmosystem.com/>. Acesso em 29 de abril de 2021.

WUNI, Ibrahim Yahaya; SHEN, Geoffrey Qiping. Barriers to the adoption of modular integrated construction: systematic review and meta-analysis, integrated conceptual framework, and strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, p. 119347, 2020.

YASHIRO, Tomonari. Conceptual framework of the evolution and transformation of the idea of the industrialization of building in Japan. **Construction management and economics**, v. 32, n. 1-2, p. 16-39, 2014.

ZANATTA, Bianca. **Popular no exterior, construção off-site ganha força no Brasil com a pandemia**. 2021. Disponível em <https://economia.estadao.com.br/blogs/radar-imobiliario/popular-no-exterior-construcao-off-site-ganha-forca-no-brasil-com-a-pandemia/>. Acesso em 30 abril de 2021.

APÊNDICE A – Principais autores e assuntos vinculados à construção modular

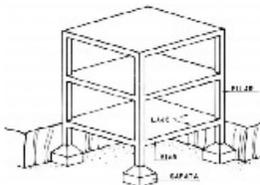
AUTORES	HOSSEINI <i>et al.</i> (2018)	JIN <i>et al.</i> (2018)	GOSLING <i>et al.</i> (2016)	YASHIRO (2014)	AGREN; WING (2014)	JONSSON; RUDBERG (2013)	KAMAR <i>et al.</i> (2009)	GIBB (1999)	MIGNACCA <i>et al.</i> (2018)	LAWSON <i>et al.</i> (2005)	BALAGUER <i>et al.</i> (2002)	BERTRAM <i>et al.</i> (2019)	JIANG <i>et al.</i> (2017)	KAMALI <i>et al.</i> (2018)	KAMALI; HEWAGE (2016)	ABDUL NABI; EL-ADAWAY (2020)
ASSUNTO																
Revisão de literatura (estado atual das pesquisas da área)	X	X		X												X
Modularização e ciclo de vida			X	X	X			X	X			X		X	X	X
Construção industrializada	X			X	X	X	X									
Definição de construção modular						X		X		X					X	
Construção fora do canteiro	X	X	X			X	X	X		X			X		X	
Estudo de caso modular								X						X		
Prazo								X	X			X	X		X	
Projeto e planejamento			X			X		X	X		X				X	X
Transporte modular										X	X				X	
Montagem modular										X	X					
Custo								X	X			X			X	
Prós e contras						X			X	X		X	X	X	X	
Sustentabilidade														X	X	

Fonte: a autora (2021)

APÊNDICE B – Contribuições de cada autor para ciclo de desenvolvimento da construção modular

AUTOR	ETAPAS PROPOSTAS	TRADUÇÃO
GOSLING <i>et al.</i> (2016)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Design 2. Gater Requirements 3. Scheduling 4. Project Plan 5. Manage Deliveries 6. Assembly 7. Monitor Modules 8. Reconfigure 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projeto 2. Reunião de requisitos 3. Agendamento 4. Plano de projeto 5. Gerenciamento de entrega 6. Montagem 7. Monitoramento de módulos 8. Reconfiguração
KAMALI; HEWAGE (2016)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Design 2. Engineering 3. Permits and aprovals 4. Site preparation and foundations 5. Construction at factory 6. Installation on site 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projeto 2. Desenvolvimento de engenharia 3. Permições e aprovações 4. Preparação de canteiro de obras e fundações 5. Construção em fábrica 6. Instalação no canteiro de obras
MIGNACCA <i>et al.</i> (2018)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Concept Design 2. Front and engineering development 3. Engineering, procurement and construction 4. Transportation and commissioning 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projeto 2. Desenvolvimento de engenharia 3. Engenharia, suprimentos e construção 4. Transporte e comissionamento
BERTRAM <i>et al.</i> (2019)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planning and design 2. Foundations 3. Offsite manufacture 4. Onsite installation 5. Operation and maintenance 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planejamento e projeto 2. Fundações 3. Manufatura fora do canteiro de obras 4. Instalação no canteiro de obras 5. Operação e manutenção
GIBB (1999)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Design considerations 2. Transportantion 3. Lifting 4. Final positioning <p>A final unit has to be: - Set in place and levelled - Connected to adjacent units: structurally; with building services; to make a waterlight seal</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerações de projeto 2. Transporte 3. Içamento 4. Posicionamento <p>A unidade final precisa estar: - Posicionada e nivelada; - Conectada às unidades adjacentes: estruturalmente; com as instalações; estanque</p>

APÊNDICE C – Ilustração dos “modos de construir” a partir de Sabbatini (1989).

	TÉCNICA CONSTRUTIVA	MÉTODO CONSTRUTIVO	PROCESSO CONSTRUTIVO	SISTEMA CONSTRUTIVO
DEFINIÇÃO SABBATINI (1989)	Conjunto de operações empregadas para produzir <u>parte de uma construção</u>	Conjunto de técnicas construtivas interdependentes para construção de uma <u>parte da edificação</u> (com sequência bem definida)	Conjunto de métodos para construção da estrutura e das vedações do edifício. Organizado e bem definido modo de construir um edifício	Processo construtivo de <u>elevados níveis de industrialização</u> , constituído por elementos e componentes integrados pelo processo
EXEMPLOS	Elevar parede; montar uma forma; pintar uma porta	Método para viga de concreto armado : 1) Montar forma 2) Posicionar armadura 3) Concretar	Processo para construção estrutural do edifício: 1) Método para fundações 2) Método para pilares 3) Método para vigas 4) Método para lajes	Processo altamente industrializado!
IMAGENS	<p>Montagem forma</p>  <p>Fonte da imagem: (VALDIR; IVAN, 2012)</p>	<p>Forma, armadura e concreto</p>  <p>Fonte da imagem: (MEIA COLHER, 2021)</p>	<p>Estrutura em concreto</p>  <p>Fonte da imagem: (ALVES, 2014)</p>	<p>Construção modular</p>  <p>Fonte da imagem: (CR, 2021)</p>

Fonte: a autora (2021)

Nota: (VALDIR; IVAN, 2021) (<https://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/formas-para-concreto>); (MEIA COLHER, 2021) (<https://www.meiacolher.com/2018/08/como-concretar-viga-baldrame-alicerce.html>); (ALVES, 2014) (<https://pt.slideshare.net/ValdirAlves/estrutural>); (CR, 2021) (<https://constructionreviewonline.com/>). Todos acesso em abril de 2021.