



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções
Mestrado Profissional em Construção Metálica



Bernardo de Andrade Horta

**CONSTRUÇÃO MODULAR TRIDIMENSIONAL:
Pré-Fabricação, Tecnologia, Trabalho, Obsolescência e Arquitetura**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Metálica.

Orientador: Prof. Clécio Magalhães do Vale, D.Sc
Coorientador: Prof. Antonio Carlos Dutra Grillo, D.Sc

Ouro Preto
2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

H821c Horta, Bernardo de Andrade .
Construção modular tridimensional [manuscrito]: pré-fabricação,
tecnologia, trabalho, obsolescência e arquitetura. / Bernardo de Andrade
Horta. - 2021.
155 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Clécio Magalhães Vale.
Coorientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Dutra Grillo.
Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade Federal de Ouro
Preto. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia das Construções.

1. Industrialização. 2. Construção industrializada. 3. Construção
modular. I. Grillo, Antonio Carlos Dutra. II. Vale, Clécio Magalhães. III.
Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624.014

Bibliotecário(a) Responsável: Angela Maria Raimundo - CRB 6 1583



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



FOLHA DE APROVAÇÃO

Bernardo de Andrade Horta

Construção modular tridimensional: pré-fabricação, tecnologia, trabalho, obsolescência e arquitetura

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de mestre

Aprovada em 23 de fevereiro de 2021

Membros da banca

Doutor - Clécio Magalhães do Vale - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Antônio Carlos Dutra Grillo - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Doutor - Roberto Eustaáquio dos Santos - Universidade Federal de Minas Gerais
Doutor - Bruno Soares de Carvalho - Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Clécio Magalhães do Vale, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 04/03/2021



Documento assinado eletronicamente por **Clecio Magalhaes do Vale, COORDENADOR(A) DO CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO**, em 04/03/2021, às 14:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0142538** e o código CRC **C7AB300B**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.002006/2021-41

SEI nº 0142538

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: 3135591546 - www.ufop.br

RESUMO

A construção modular tridimensional é um sistema construtivo *off-site* que implica a pré-fabricação de unidades volumétricas exigindo apenas conexões com a infraestrutura e entre si para originar uma edificação completa quando transferido para o terreno. Esta pesquisa busca proporcionar uma reflexão em torno da indústria que faz uso deste sistema no Brasil e contribuir para o aprofundamento dos debates e estudos sobre o tema. Com este trabalho, deseja-se mapear e caracterizar o setor da construção civil brasileira que utiliza o módulo tridimensional como sistema construtivo. A metodologia baseia-se, sobretudo, em revisões bibliográficas a respeito da industrialização da construção e estudos de caso. A pesquisa coleta e sistematiza dados sobre organizações e grupos, mediante mapeamento de empresas, a fim de compreender o contexto do setor nacional e identificar a variedade das aplicações do sistema e suas características, de acordo com a cultura construtiva e tecnologia disponível. Inicialmente é elaborada uma introdução ao tema, buscando definir conceitos afins ao sistema construtivo modular tridimensional, seguido da realização de uma exposição histórica da industrialização da arquitetura no intuito de resgatar as contribuições relevantes ao tema e explorar as transformações pelas quais passou. Posteriormente é realizada uma investigação empírica mediante estudos de caso de organizações brasileiras que atuam neste segmento empregando questionários semiestruturados e entrevistas, a fim de caracterizar as empresas, a aplicação do sistema construtivo e suas interpretações quanto às problemáticas inerentes ao sistema construtivo. Por fim, frente aos dados obtidos nas pesquisas de campo, o trabalho apresenta uma reflexão crítica apoiada em matrizes de análises elaboradas a partir de referências teóricas sobre tecnologia e construção. O trabalho conclui que o sistema ainda é incipiente no Brasil e enfrenta diversos desafios e barreiras que podem ser associados à: falta de estímulo em investimento em ciência e tecnologia; logística de transportes e respectivos custos; altos custos inerentes à pré-fabricação; desafio entre sistema e cadeia de suprimentos; exigência de alto nível de colaboração entre os agentes de um projeto.

Palavras-chave: Construção Volumétrica; Industrialização; Sistemas Construtivos

ABSTRACT

The three-dimensional modular construction is an off-site construction system that implies the prefabrication of volumetric units requiring only connections with the infrastructure and with each other to originate a complete building when transferred to the site. This research seeks to provide a reflection on the industry that makes use of this system in Brazil and contribute to the debates and studies on the subject. The aim of this work is to map and characterize the Brazilian construction sector that uses the three-dimensional module as a construction system. The methodology is based, above all, on bibliographic reviews on the industrialization of construction and case studies. The research collects and systematizes data on organizations and groups, by mapping companies, in order to understand the context of the national sector and to identify the variety of applications of the system and their characteristics, according to the constructive culture and available technology. Initially, an introduction to the theme is elaborated, seeking to define concepts similar to the three-dimensional modular construction system, followed by the realization of a historical exhibition of the industrialization of architecture in order to rescue the relevant contributions to the theme and explore the transformations it has undergone. Subsequently, an empirical investigation is carried out through case studies of Brazilian organizations that operate in this segment, using semi-structured questionnaires and interviews, in order to characterize the companies, the application of the construction system and their interpretations regarding the problems inherent to the construction system. Finally, in view of the data obtained in the field research, the work presents a critical reflection based on matrices of analysis elaborated from theoretical references on technology and construction. The work concludes that the system is still incipient in Brazil and faces several challenges and barriers that can be associated to: lack of stimulus in investment in science and technology; transport logistics and respective costs; high costs inherent to prefabrication; challenge between system and supply chain; demand for high level of collaboration among the agents of a project.

Keywords: Volumetric Construction; Industrialization; Construction Systems.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

M3D	Módulo tridimensional
ABRAIN	Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliária
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise do Ciclo de Vida
AEC	Arquitetura, engenharia e construção
AIA	<i>American Institute of Architects</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
DB	<i>Design Build</i>
DBB	<i>Design-Bid-Build</i>
EPS	<i>Expanded polystyrene</i>
EUA	Estados Unidos da América
FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
IPD	<i>Integrated Project Delivery</i>
MBI	<i>Modular Building Institute</i>
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PMC	<i>Permanent Modular Construction</i>
UnB	Universidade de Brasília

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 JUSTIFICATIVA / MOTIVAÇÃO	18
1.3 METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO	21
1.4 PROBLEMATIZAÇÃO E ABORDAGENS	25
1.4.1 Transferência e adoção de processos de produção e inovações tecnológicas	26
1.4.2 Canteiro e a mão de obra	27
1.4.3 Obsolescência e o ciclo de vida das edificações.....	29
1.4.4 As interações entre a disciplina arquitetônica e a indústria de pré-fabricação.....	30
2 A CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA	32
2.1 CONCEITOS	33
2.1.1 Industrialização.....	33
2.1.2 Pré-fabricação.....	34
2.1.3 Módulo	38
2.1.4 Coordenação Modular	40
2.1.5 Construção Modular	41
2.1.6 Módulo Tridimensional	45
2.2 CONTEXTO HISTÓRICO DO SISTEMA DE MÓDULO TRIDIMENSIONAL	54
2.2.1 Antecedentes Remotos	54
2.2.2 Século XIX	55
2.2.3 Primeira metade do século XX.....	57
2.2.4 Segunda metade do século XX.....	61
2.2.5 O início do M3D no Brasil	68
2.2.6 Considerações Parciais	71

3 MAPEANDO A INDÚSTRIA M3D NO BRASIL.....	73
3.1 LEVANTAMENTO DAS EMPRESAS	74
3.2 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA	77
3.3 DATA DE FUNDAÇÃO DAS EMPRESAS	80
3.4 MATERIAIS E MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO	82
4 ESTUDO DE CASO	85
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS ESTUDADAS	88
4.1.1 Empresa I	88
4.1.2 Empresa II.....	91
4.2 TRANSFERÊNCIA E ADOÇÃO DE PROCESSOS	93
4.2.1 Empresa I	93
4.2.2 Empresa II.....	94
4.3 CANTEIRO E MÃO DE OBRA.....	95
4.3.1 Empresa I	95
4.3.2 Empresa II.....	97
4.4 OBSOLESCÊNCIA E CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES.....	99
4.4.1 Empresa I	99
4.4.2 Empresa II.....	100
4.5 INTERAÇÕES ENTRE ARQUITETURA E A INDÚSTRIA	101
4.5.1 Empresa I	101
4.5.2 Empresa II.....	103
5 MATRIZES DE ANÁLISE DO PROBLEMA.....	105
5.1 TRANSFERÊNCIA E ADOÇÃO DE PROCESSOS DE PRODUÇÃO.....	106
5.1.1 Transferência e capacidade tecnológica.....	106
5.1.2 Tecnologia e Sociedade	107

5.1.3 Desenvolvimento tecnológico no Brasil.....	109
5.1.4 Casos Analisados.....	110
5.2 CANTEIRO E MÃO DE OBRA	112
5.2.1 Mão de obra.....	112
5.2.2 Valor do trabalho e Alienação.....	112
5.2.3 Segurança do Trabalho.....	114
5.2.4 Terceirização.....	116
5.2.5 Trabalho no canteiro.....	117
5.2.6 Casos Analisados.....	118
5.3. OBSOLESCÊNCIA E O CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES	119
5.3.1 Adaptada para o futuro.....	119
5.3.2 Ampliabilidade.....	120
5.3.3 Camadas / <i>Layers</i>	122
5.3.4 Construindo para Desconstrução.....	124
5.3.5 Análise do Ciclo de Vida e impacto ambiental.....	125
5.3.6 A experiência japonesa.....	126
5.3.7 Casos Analisados.....	127
5.4 INTERAÇÕES ENTRE ARQUITETURA E A INDÚSTRIA	130
5.4.1 Projeto.....	130
5.4.2 Método de Entrega de Projeto.....	131
5.4.3 BIM / Controle de qualidade.....	134
5.4.4 Pensamento determinístico e projeto.....	135
5.4.5 Casos Analisados.....	137
6 CONCLUSÃO	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO	151

1 INTRODUÇÃO

A pré-fabricação e a industrialização têm sido historicamente um meio de atender às necessidades geradas pelo adensamento das cidades graças à capacidade de oferecer produtos de maneira rápida a um preço acessível. A produção industrial contemporânea, baseada essencialmente na prática de elevado grau de repetição e padronização, fornece comumente componentes e elementos para a construção civil: lajes, painéis, treliças, vigas, pilares etc. Nesse contexto, a pré-fabricação assume um papel essencial. Todavia, a indústria da construção não nos oferece – equivalente à forma usual e frequente que são fornecidos componentes – edifícios acabados como um todo. O uso de componentes pré-fabricados em um sistema construtivo nada mais é que um conjunto de partes coordenadas que integram projeto, fabricação e montagem e que podem ser replicados em diferentes edificações e em diversas situações. Apesar disso, ou por consequência disso, existem várias categorias de sistemas construtivos industrializados que atendem a diferentes especificidades, em que cada estratégia e sistema serão mais adequados que outro num contexto específico por condicionantes como recursos físicos e financeiros, programa, condições locais dentre outros fatores. Podemos caracterizar os sistemas construtivos industrializados em três esferas básicas: (1) Elementos 2D – conjunto de peças para montagem, produzidos em larga escala nas fábricas e entregues separadamente no local da construção, o que implica em uma série de operações e junções; (2) Elementos 3D – módulos tridimensionais volumétricos feitos na fábrica, o que implica que todos os espaços e componentes da edificação são confeccionados, montados e acabados na indústria, exigindo apenas as conexões com a infraestrutura e entre si quando transferidos para o terreno; (3) Híbrido das duas primeiras esferas – reúne as vantagens do uso intensivo do kit de peças no local, evitando as inconveniências dimensionais do módulo tridimensional, que são utilizados para pré-fabricação das partes complexas da edificação.

No propósito de compreender esta segunda concepção de sistemas industrializados, caracterizada pelo **módulo tridimensional**¹ – tanto em seus aspectos produtivos quanto em seus impactos na prática profissional dos arquitetos e na obsolescência das edificações – este trabalho se propõe a investigar obras representativas e históricas relativas ao assunto, mapear e analisar a indústria nacional que faz o uso desse sistema, assim como avaliar as implicações deste sistema construtivo em quatro perspectivas de abordagens: transferência e adoção de

¹ O termo módulo tridimensional é utilizado para designar a técnica construtiva em que são utilizadas unidades tridimensionais completamente acabadas na fábrica e conectadas à infraestrutura (fundações e conexões de serviços) no terreno. O conceito será aprofundado num capítulo específico, juntamente com outras definições e conceitos inerentes ao termo.

processos de produção; canteiro e mão de obra; obsolescência e ciclo de vida das edificações; interação entre a disciplina arquitetônica e a indústria.

A construção modular (em sua forma generalizada) – e o processo pelo qual as unidades são construídas – representa um interesse atual da indústria da construção que busca melhorias no desempenho dos seus ciclos relativos à, principalmente: segurança, produtividade, qualidade, custo, cronograma e sustentabilidade. Impactos positivos no orçamento e no respeito ao cronograma graças à produtividade e qualidade permitida pelo trabalho realizado no ambiente fabril dão à construção modular oportunidade de uso amplo, o que suscita estudos relacionados ao tema. (SMITH, 2010)

A parte predominante dos estudos referentes à industrialização da construção civil comumente limitam-se ao contexto próprio da arquitetura. As análises de propostas celebradas pela imprensa advêm de uma ótica focada no objeto e sua função e técnica, ignorando a compreensão das condições sociais e econômicas que a produziram. Arantes (2010) sugere que os arquitetos depositaram no desenho dessas obras uma expectativa desmedida e lhe conferiam um papel central despropositado, sendo que os demais agentes envolvidos no processo da construção eram ignorados – construtoras capitalistas, incorporadores imobiliários, capital financeiro, proprietários de terra e trabalhadores da construção. Desse ponto de vista, é necessário considerar a industrialização e o módulo de fábrica como um produto social, em uma visão global. Smith (2010) recomenda que a pré-fabricação seja tratada como um problema de produção de tecnologia, não relacionado apenas com os arquitetos, mas com todo o ambiente produtivo – incluindo os operários.

A presente dissertação está organizada em seis capítulos. Os primeiros dois capítulos reúnem conceitos que servirão como base para a análise crítica, já os últimos quatro capítulos entram no campo da coleta de dados e análise crítica baseado nos temas levantados na etapa de problematização. Para compreensão global do trabalho, segue descrita sua estrutura:

Capítulo 1 – Introdução: Delimita-se o assunto tratado na pesquisa qual é descrito a finalidade (objetivo) da realização do estudo. Neste capítulo também são apontadas as justificativas e motivações que construíram o trabalho além de expor a metodologia utilizada. Na fase de problematização e abordagens são apresentadas inquietações relativas ao uso do sistema e suas hipóteses para posterior análise, exploradas no capítulo 5.

Capítulo 2 – Conceitos e Breve Histórico: O conjunto de conceitos inerentes ao tema é explorado. Como adjetivo, o termo “modular” representa um amplo campo de estudo e fora utilizado por muitas disciplinas. No campo da arquitetura o termo evoca uma variedade de significados consolidados pela história e nem sempre é empregado com precisão, resultando numa ambiguidade de significados e se tornando intercambiáveis em nosso vocabulário. Nesta sequência me parece pertinente introduzir os conceitos gerais acerca do assunto explorado, revelando e investigando definições e terminologias adotadas pelas principais entidades. Posteriormente é desenvolvido de forma sucinta o levantamento histórico das contribuições internacionais relativa ao objeto de estudo de forma crítica em relação aos aspectos socioculturais e políticos envolvidos, buscando a compreensão das contribuições e paradigmas durante o processo de desenvolvimento.

Capítulo 3 – Mapeando a Indústria M3D no Brasil: A indústria que faz uso do sistema de módulo tridimensional em território nacional foi mapeada e foram abordados dados relativos às empresas tais como: localização geográfica; data de fundação; materiais e métodos construtivos empregados. O mapeamento surge da necessidade de compreender as características dos produtores nacionais e de representar a informação numa base de dados.

Capítulo 4 – Estudo de Caso: Neste capítulo as duas empresas exploradas no estudo de caso são caracterizadas e a síntese das respostas obtidas através da aplicação do questionário. O resultado das entrevistas é apresentado de forma abreviada e seletiva, buscando captar informações complementares e/ou divergentes nas respostas, ressaltando o conteúdo significativo que será explorado na etapa analítica.

Capítulo 5 – Matrizes de análise do problema: Está estreitamente ligado à fase de problematização da pesquisa, dissertando de forma específica e analítica cada uma das quatro abordagens expostas previamente. A reflexão parte da análise teórica suportada pela revisão bibliográfica comparada as informações obtidas na etapa de mapeamento aliado aos dados fornecidos através da aplicação de questionário às duas empresas selecionadas e apresentadas na etapa de estudo de caso.

Capítulo 6 – Conclusão

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é o mapeamento e caracterização da construção civil brasileira que utiliza o módulo tridimensional como sistema construtivo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar e sistematizar abordagens teóricas e conceituais de pesquisadores que tratam de questões relacionadas a construções industrializadas responsáveis pelo surgimento do sistema construtivo de módulo tridimensional.
- Coletar e sistematizar dados sobre organizações e grupos que desenvolvem pesquisas e experimentos relacionados ao uso de módulos tridimensionais na construção, mediante mapeamento de empresas a fim de identificar a variação das aplicações do sistema e suas características, de acordo com a cultura construtiva e tecnologia disponível.
- Realizar estudos de caso de organizações que desenvolvam trabalhos ligados à temática da pesquisa, mediante atividades como entrevistas com pesquisadores e profissionais da área, a fim de aumentar fontes sobre o sistema construtivo possibilitando a análise crítica.
- Analisar e refletir de forma crítica em torno dos temas abordados como matrizes de análise do problema, relacionando com dados obtidos na revisão bibliográfica e com as respostas na etapa de estudo de caso. Desenvolver uma conclusão que seja possível estimular novos trabalhos acerca do tema.

1.2 JUSTIFICATIVA / MOTIVAÇÃO

O prêmio BimBon² 2015 foi uma competição de projetos de casas industrializadas promovido pela Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) em parceria com a plataforma Bimbon, no qual o objetivo principal do certame era fomentar projetos de residências adaptáveis que poderiam ser produzidas em escala industrial, reduzindo custos de produção e permitindo ao usuário soluções habitacionais flexíveis de rápida entrega. Projetos foram enviados por profissionais de todo o Brasil e após o processo de avaliação, o júri indicou o projeto Casa Chassi, de minha autoria e Pedro Haruf, como vencedor. Partindo da estratégia da utilização de “módulos tipo” de dimensões padronizadas e passíveis de serem transportados e rapidamente montados no terreno de destino, a habitação de 81 m² de área consiste na junção de três volumes de igual proporção. Análogo a um chassi de um carro (correspondência que veio a dar origem ao nome da proposta) o projeto tem uma estrutura básica feita em módulos retangulares com dimensões que proporcionam redução do desperdício de materiais, assim como procura standardizar processos construtivos e reduzir as necessidades de mão de obra no canteiro e tempo despendido. Desde o primeiro contato com a temática, através da premiação de 2015 e calcado na minha experiência profissional, o estudo a respeito do módulo tridimensional vem ao encontro dos meus anseios dentro da prática acadêmica.

O tema, além de estar alinhado pelas motivações pessoais citadas acima, reflete um antigo sonho de mercado do campo da arquitetura e representa ainda hoje a ambição de alternativas aos sistemas construtivos tradicionais – ambição na maioria das vezes alimentada sem viés crítico. Protótipos, experimentações, modelos, projetos e edificações construídas habitam a trajetória da industrialização da construção civil. A grande quantidade de ensaios e experimentações faz que ainda hoje este assunto seja atual e frequentemente abordado em uma série de eventos tais como publicações, exposições, concursos de arquitetura, pesquisas acadêmicas e programas em universidades.

² O BimBon, é uma startup de arquitetura que desenvolveu um software para realizar o cálculo de orçamentos de projetos de arquitetura online, e que foi subvencionado pelo FINEP com um investimento de 1,5 milhões de reais. Esta startup foi criada pela Superficie.org e monta orçamento por meio de um banco de dados com produtos, materiais e mão de obra para construção. Em 2016 a startup alterou seu nome para Hometeka.

Figura 01 – Casa chassi, vencedora do prêmio BimBon 2015, exposta em feira de encontro de empresários da cadeia produtiva da indústria da construção



Fonte: Gabriel Castro (2015)

Figura 02 – Teste de içamento de módulo feito no chão da fábrica



Fonte: Mauricio Lage (2015)

Outra justificativa importante para a realização da pesquisa consiste no estudo da relação de trabalho de todos os agentes na produção industrial. O relacionamento de troca e contribuições entre a prancheta³ e a cadeia de produção deve ser abordada por entender que a relação entre as disciplinas contribuem para a evolução do sistema construtivo. É necessário que os arquitetos absorvam a cultura industrial contemporânea para, então, desenvolver novos métodos para o engajamento nessa cultura.

A construção modular estabeleceu-se em muitos setores da indústria da construção nos últimos 20 anos. Os benefícios econômicos desse processo impulsionaram o sistema, e a construção modular tem sido amplamente utilizada no Japão desde o início da década de 70. A comercialização de habitações modulares no Japão baseia-se em um alto grau de escolha e personalização do usuário quanto ao layout e nos acessórios dos módulos, além de um processo rápido de projeto, fabricação, entrega e instalação (LAWSON; OGDEN; GOODIER, 2014). Para explorar conceitos e parâmetros que impulsionaram a indústria de pré-fabricação do Japão e outros países, a pesquisa se torna fundamental.

No final de 2019 a Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias (ABRAINIC)⁴ e a Deloitte⁵ apresentaram o estudo “Comportamento do consumidor de imóveis em 2040”. Trata-se de uma análise feita com base em dados oficiais que visa retratar o cenário da habitação no Brasil e desenhar estratégias para empresas do setor. A análise identifica a construção modular como tendência para o setor da construção civil e aponta a ampla utilização do sistema no hemisfério norte. O sistema é apresentado como uma opção para combate e diminuição do déficit habitacional em países em desenvolvimento, tendo como expectativa de crescimento desse tipo de construção no mundo em 6% até o ano de 2022.

Outro ponto de contextualização apontado pela pesquisa realizada pela ABRAINIC é a preocupação contemporânea quanto à ética ambiental e econômica da indústria da construção, demandando por edifícios eficientes, construídos sob uma ótica de racionalização de custos e recursos, gerando menos impacto. Como descrito por Timberlake (2010) no prefácio do livro “*Prefab Architecture*”, a montagem externa (*off-site*) oferece a promessa de desmontagem e reutilização ao invés da comum demolição – reestruturação. Sendo assim, podemos considerar

³ Prancheta nesse contexto se refere ao processo criativo anterior ao processo de produção.

⁴ Construída em 2013, a entidade tem como objetivo aprimorar o mercado da incorporação imobiliária no Brasil.

⁵ Empresa global que fornece serviços de auditoria, consultoria, assessoria financeira, *risk advisory*, consultoria tributária e serviços relacionados.

a desmontagem como um caminho para novas utilizações de materiais de construção. A indústria da construção deve tornar-se mais segura e aprimorar sua força de trabalho, a fim de permanecer economicamente competitiva e relevante. Um local de trabalho mais inclusivo, com medidas reais de segurança, e eliminando o fator atmosférico, também é uma medida sustentável em longo prazo. Logo, podemos considerar que o sistema de enfoque da pesquisa atende a essas preocupações, dado que o mesmo é desenvolvido sob a precisão de um ambiente controlado de fábrica e que a maioria dos componentes e subsistemas são projetados para rápida e fácil instalação no local, diminuindo conseqüentemente o tempo, custos e riscos relativos ao canteiro.

No contexto acadêmico, é nítida a ausência de estudos sobre a construção industrializada direcionada para o sistema M3D. De modo geral, a produção historiográfica referente à utilização de sistemas industrializados na construção tende abordar o tema de forma generalista, e dessa maneira o atual trabalho pretende adotar um recorte focado na investigação da produção de edificações que utilizam o sistema de módulo tridimensional.

1.3 METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO

Para realização deste trabalho, primeiramente foi feita a introdução sobre o tema baseado na revisão bibliográfica coletando informações detalhadas e sistemáticas a respeito. A abordagem do estado da arte teve como objetivo traçar um paralelo entre a industrialização da arquitetura e o papel do sistema de módulo tridimensional nesse contexto. Conceitos inerentes ao tema e aplicações do sistema na arquitetura, engenharia e construção foram aprofundados ao longo da pesquisa.

Como metodologia foi utilizada a sistematização de questões essenciais ao tema da pesquisa, de modo a compreender as camadas que envolvem o processo do sistema de módulo tridimensional e o impacto do papel do arquiteto nesse contexto. Também foi elaborado levantamento de informações sobre as empresas incluídas no recorte da pesquisa em território nacional, aliado a revisão bibliográfica.

Desta forma, os procedimentos da pesquisa foram divididos em **cinco etapas** descritas a seguir:

Primeira etapa: levantamento do estado da arte e genealogia

A revisão bibliográfica nesta pesquisa proporciona familiaridade e compreensão às abordagens relacionadas ao tema. A partir do levantamento bibliográfico, foi desenvolvida a fundamentação teórica, apresentando as referências que foram bases para a pesquisa. Após a documentação deste material, foram avaliadas e criticadas as referências selecionadas evidenciando temas como: racionalização e industrialização; aplicação do sistema de módulo tridimensional; modulação; produção enxuta e linha de montagem; transferência de tecnologia; flexibilidade e versatilidade; organização do trabalho; estratégias de projeto e o papel do arquiteto.

A pesquisa inicial também é um resgate histórico da industrialização da arquitetura. Interessou conhecer os principais fatos que motivaram mudanças expressivas nas técnicas e nas tecnologias de produção, sobretudo na casa pré-fabricada. Nessa fase, o desenvolvimento histórico do sistema industrializado e a pré-fabricação foram analisados. O objetivo principal foi resgatar as contribuições relevantes ao tema e explorar as transformações pelas quais o sistema sofreu. A metodologia adotada visou observar o curso dos fenômenos e experimentações relacionadas à pré-fabricação e das relações entre os diversos aspectos sócio culturais e políticos por meio da análise de sua evolução ao longo de uma linha do tempo. A construção dessa linha no tempo configura uma tentativa de ilustrar e trazer para o campo da arquitetura outras perspectivas da discussão da temática, repensando a relação entre o desenvolvimento do sistema tecnológico e a reorganização da profissão do arquiteto. Neste trabalho, a investigação de antecedentes surge da convicção do caráter do desenvolvimento contínuo – não necessariamente evolutivo – da industrialização da arquitetura.

Segunda etapa: estudo de caso (entrevistas e coleta de dados)

Num segundo momento a pesquisa é direcionada para referências práticas dos conceitos previamente abordados. Dessa forma, o estudo de caso contém um caráter exploratório e advém da investigação empírica que permite o estudo do fenômeno da industrialização e do módulo tridimensional dentro do seu contexto real. Nessa etapa a indústria que faz uso do sistema de módulo tridimensional em território nacional foi mapeada e foram analisados exemplos nacionais capazes de estimular a discussão e compreensão do sistema.

Este estudo permitiu investigar as organizações que oferecem produtos em sistemas pré-fabricados, tendo como objetivo conhecer e compreender o fenômeno do sistema de módulo tridimensional e a maneira em que ela se oferece. O estudo usa a pesquisa qualitativa, a fim de caracterizar as empresas, a aplicação do sistema construtivo e suas perspectivas quanto às problemáticas abordadas ao decorrer do trabalho.

A pesquisa qualitativa, o questionário (aplicado direto às pessoas cujo comportamento se deseja conhecer) e o estudo de caso, representam neste trabalho a busca por aprofundamento nas questões abordadas na etapa de problematização com a investigação de amostras representativas do universo pesquisado. O método de investigação adotado é o questionário, nas quais uma série de questões fechadas e abertas são estruturadas e apresentadas aos entrevistados. O questionário utilizado é apresentado no Apêndice A e foi conduzido de duas formas: pessoalmente e remotamente (vídeo-chamada).

Foram selecionadas duas empresas que atuam na fabricação de módulos tridimensionais para a aplicação do questionário e entrevista. A realização da entrevista pessoalmente proporcionou a oportunidade de observar parte do processo produtivo e dos produtos oferecidos pela empresa. Para aprimoramento da entrevista remota, foi fornecida pelo entrevistado uma série de fotos a respeito da fábrica e produto.

O desenvolvimento do questionário baseou-se na abordagem delimitada na etapa de problematização da pesquisa. A revisão sistemática da literatura proporcionou a identificação dos problemas apresentados e a busca de sua solução através da leitura dos textos, gerou um processo cíclico, que culminou no estabelecimento das perguntas e roteiro semi-estruturado apresentadas no questionário. Inicialmente foi abordada uma série de perguntas relacionadas à caracterização do entrevistado e empresa para que posteriormente a entrevista pudesse cobrir os tópicos referentes às quatro questões iniciais explanadas na etapa de problematização, que segue: (01) Transferência e adoção de processos de produção; (02) Canteiro e mão de obra; (03) Obsolescência e ciclo de vida das edificações; (04) Interações entre a disciplina arquitetônica e indústria.

Todos os dados recolhidos são baseados nas respostas ao questionário e nas discussões embasadas pela revisão bibliográfica. As informações foram reunidas para ampliação e abrangência da pesquisa, que, em vez de interpretar os dados objetivamente (sem nenhuma

reflexão), a revisão literária aliada aos dados coletados contribuiu para a investigação exploratória. Como a pesquisa envolveu a interação de indivíduos e agentes ligados às empresas investigadas foram mantidos o anonimato dos participantes e organizações.

A pesquisa não se limitou apenas às empresas que utilizam do sistema em aço, pois o foco do estudo é o sistema construtivo de módulo tridimensional e dessa forma outros materiais foram englobados e apresentados. A coleta de dados seguiu um roteiro básico de etapas e foram complementadas por informações alcançadas por meio de endereços eletrônicos das empresas e periódicos ou artigos que abordam o assunto. O critério de seleção dos casos está diretamente relacionado ao fato de evitar o estreitamento do universo investigado e, por conseguinte, a análise contemplou casos na fronteira do fenômeno que se pretendeu analisar. Casos de fronteira nesse trabalho podem ser entendidos por cenários de aplicação do sistema de módulo tridimensional em situações além do uso residencial (habitacional) e além da materialidade das estruturas metálicas (inicialmente esse era uma abordagem requerida pelo programa de pós-graduação); esses casos de fronteira podem ser interessantes, pois podem trazer à tona facetas que não foram inicialmente pensadas e podem oferecer dados para comparação (MILES; HUBERMAN, 1994).

As principais questões que auxiliaram a determinação dos critérios para seleção dos casos foram, segundo Miles e Huberman (1994): a amostra escolhida é relevante para o quadro referencial e para as questões de pesquisa? O fenômeno no qual você está interessado pode ser identificado na amostra? Os casos escolhidos permitem comparação e algum grau de generalização? As descrições e explanações que podem ser obtidas a partir dos casos estudados guardam consonância com a vida real? Os casos selecionados são considerados viáveis, no sentido de acesso aos dados, custo envolvido, tempo para coleta de dados?

Terceira etapa: abordagem analítica dos dados

A técnica que facilita a síntese e compreensão dos dados proposta por Miles e Huberman (1994), envolve três atividades: analisar os dados, apresentar os dados e, finalmente, verificar as proposições e delinear a conclusão. O objetivo desta etapa é apresentar os dados obtidos através da aplicação do questionário e refletir sobre temas abordados na etapa de problematização, que são diretamente relacionados às empresas e com quais finalidades o sistema de módulo tridimensional está sendo aplicado; tentando perceber qual a contribuição

do sistema para as disciplinas de arquitetura e engenharia. Os diversos casos foram analisados e comparados, buscando similaridades e diferenças e identificando padrões.

Quarta etapa: análise crítica

Na quarta fase, objetiva-se uma reflexão crítica em torno dos temas abordados na etapa de problematização relacionado com os dados obtidos nas demais etapas que permitam demonstrar a validade de ideias apresentadas, bem como confrontar os resultados com as hipóteses formalizadas na fase exploratória. De um modo geral, o estudo é apresentado de forma qualitativa, por considerar sua especificidade na compreensão dos fenômenos no contexto social e técnico, visto que os dados coletados são tanto objetivos – sistema de módulo tridimensional, tecnologia construtiva, organização das fábricas, obsolescência das edificações – quanto subjetivos – relações de trabalho e transferência.

Quinta etapa: conclusão:

A quinta e última fase deste trabalho corresponde às conclusões retiradas do estudo realizado e aos possíveis desenvolvimentos futuros nesta área.

1.4 PROBLEMATIZAÇÃO E ABORDAGENS

A partir do levantamento bibliográfico e ao decorrer do desenvolvimento do trabalho foi perceptível a recorrência de temas e matrizes de análises relativas ao sistema de módulo tridimensional que auxiliaram a delimitação da problematização deste trabalho. Com o objetivo de discutir temas emergentes, foram apontados quatro tópicos recorrentes e de maior relevância, que foram eleitos como centrais para essa investigação.

Dessa forma, a problematização central da dissertação se desdobra em quatro matrizes:

- (1) o problema da transferência e adoção de processos de produção e inovações;
- (2) o problema organizacional nos canteiros de obra e sua relação com a mão de obra;
- (3) o problema da obsolescência e o ciclo de vida das edificações;
- (4) o problema da interação entre a disciplina arquitetônica e a indústria de pré-fabricação;

1.4.1 Transferência e adoção de processos de produção e inovações tecnológicas

A produção industrial de forma geral tem a capacidade de fornecer grandes quantidades de produto, com baixo custo e alta qualidade. Países em desenvolvimento estão se industrializando continuamente e é comum a adoção de tecnologias de países desenvolvidos. Para que a construção se industrialize é necessário que exista demanda suficiente para que se justifiquem todos os investimentos envolvidos, além de uma forte relação entre o fornecedor da tecnologia e o receptor. A transferência de tecnologia não trata da transmissão e adoção de teorias, ferramentas ou produtos, mas sim de modelos de processo e sistemas.

Vantagens e desvantagens da adoção da pré-fabricação por países em desenvolvimento é abordada por Narayanamurthy (2009). Nesse contexto, o autor demonstra preocupação quanto aos dilemas éticos relacionados à transferência de tecnologia e à forma como a economia, governo e cultura poderão ser afetados. Múltiplos riscos são associados a esse processo e pressupõe-se que os países receptores da transferência de tecnologia possuam a infraestrutura necessária para que o procedimento ocorra com eficácia. Porém, verifica-se que há transferência de um país industrializado para um país em desenvolvimento e nem sempre o receptor da tecnologia está preparado para assimilação e utilização total da tecnologia.

Em “Notas para uma Tecnologia Apropriada à Construção na América Latina”, Pelli (1989) contribui para o que denomina elaboração de uma tecnologia adequada à evolução de nossas sociedades. Conforme o autor, nossas sociedades carecem de base infra-estrutural para sustentar as tecnologias importadas visto que as sociedades de origem desenvolvem tanto a tecnologia quanto a capacidade de sustentá-la (infra-estrutura, recursos humanos, sistema científico, tecnologias subsidiárias) dentro de seus objetivos.

Pelli (1989) destaca como a denominada “tecnologia formal” dos países hegemônicos é intransferível aos países periféricos. A tecnologia formal trata da estrutura de inter-relações entre agentes, operações, instrumentos e materiais que organizam as atividades de transformação dentro da indústria convencional da construção e se torna intransferível na medida em que consideramos que essa estrutura de inter-relações engloba as formas de inserção desses feitos de transformação dentro de um sistema social, econômico e cultural.

Outro fator significativo a considerar na realização da transferência de tecnologia são as práticas de sistemas proprietários e patentes. Essas duas práticas não cooperam para o desenvolvimento de sistemas de construção em massa: a arquitetura e a construção têm uma dimensão evolutiva e através de pesquisas, protótipos e análises desenvolve-se para atender às demandas contemporâneas. Arquitetos e designers do século XX buscaram o protagonismo na pré-fabricação e menosprezaram os benefícios da cultura de colaboração. Por consequência, um dos ensinamentos retirados desse período é de que o desenvolvimento de sistemas proprietários – de fonte única – é oneroso e acaba por se tornar um fracasso econômico, mesmo quando a qualidade do design, detalhe e produção é primorosa. O licenciamento como mecanismo de obtenção de uma nova tecnologia pode ser utilizado entre as organizações para definir o grau de exclusividade na sua utilização da tecnologia.

Todo esse quadro suscita-nos uma série de questões: **Quais foram as condições de transferência? Que adaptações sofreram? Que impedimentos?**

1.4.2 Canteiro e a mão de obra

A indústria da construção civil e o canteiro de obras são reconhecidos por apresentar um alto índice de acidentes de trabalho⁶. Os acidentes de trabalho podem ser associados a: negligências e displicências operacionais, falta de medidas reais de segurança e condições precárias e inseguras do ambiente de trabalho. Riscos que afetam o bem-estar do trabalhador podem ser relativos ao processo operacional ou ao local de trabalho (riscos ambientais).

A transferência de grande parte do trabalho do canteiro para a fábrica – proporcionada pela pré-fabricação – torna o local de trabalho mais inclusivo e organizado, com medidas de segurança e com condições ambientais controladas; reduzindo riscos trabalhistas. Além de expor os trabalhadores a condições adversas, a construção no local de implantação exige que o trabalhador percorra longos e variados percursos de acordo com a implantação de cada projeto. Dessa forma, a permuta canteiro para fábrica permite que os trabalhadores possam sistematizar seu cotidiano, estabelecendo cronogramas regulares.

⁶ Em 2017, o Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho (AEAT) apontou que ocorreram 549.405 acidentes de trabalho em todo o país, sendo 30.025 na construção civil, equivalente a 5,46% de todos os casos.

No Brasil, as Normas Regulamentadoras – NRs – regulamentam e fornecem orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados à segurança e saúde do trabalhador. A NR 18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção – é tida como a norma mais especificamente ligada à melhoria das condições de trabalho nos canteiros de obras e expõe diretrizes ambientais quanto à relação aos níveis de ruído, poeira, qualidade do ar, temperatura e outros. Assim sendo, a transferência da mão de obra para a fábrica nos gera uma questão: a pré-fabricação e o ambiente fabril podem proporcionar melhores ambientes e condições de trabalho?

Outra dimensão dos aspectos relacionados ao canteiro é abordada por Sérgio Ferro (2006). Para ele, a construção civil tornou-se um espaço privilegiado apto a receber a abundante mão de obra pouco qualificada e barata, estimulando a manutenção de formas de produção pouco mecanizada e baseada no emprego de um grande contingente de trabalhadores realizando muitas tarefas braçais. Assim, o setor da construção civil no Brasil ser um elemento na necessidade de produzir mais-valia para o sistema de superexploração da força de trabalho, tornando um complicador na adoção de sistemas pré-fabricados que necessariamente envolvem menos trabalhadores e mão de obra mais qualificada.

A questão da mão-de-obra na produção industrializada da construção não diz respeito apenas ao canteiro – à finalização da obra em seu local de instalação. Existe um outro ambiente de produção pelo qual também se tem interesse: a fábrica (ou a indústria, a oficina e seus correlatos). Partindo do pressuposto que a pré-fabricação tem a ver com projeto mas também com desenvolvimento de uma tecnologia – e que esta é desenvolvida, não projetada – o ambiente de produção se torna fundamental.

É necessário entender os processos pelos quais as coisas são construídas, e neste ponto, a pré-fabricação demanda uma cultura de colaboração – embora os arquitetos sejam apegados à ideia de autoria. Este ambiente de colaboração merece ser avaliado também do ponto de vista dos operários: **é possível superar a alienante divisão do trabalho neste ambiente? Um maior compartilhamento de saberes pode proporcionar avanços na descompartimentação das atividades?** A ideia de integração pode reforçar o trabalho orientado por responsabilidades distribuídas, com benefícios gerais e não promovendo visões individuais ou estéticas.

1.4.3 Obsolescência e o ciclo de vida das edificações

A natureza dinâmica do comércio e cultura e o simples desgaste submetem qualquer edifício a reparos, reformas e possíveis demolições. O modelo de desenvolvimento construtivo contemporâneo e a obsolescência programada e não programada exige que (em geral) as edificações sejam demolidas a cada 50 anos, tornando essa prática prejudicial ao meio ambiente e economicamente inviável. A baixa reversibilidade proporcionada pelas técnicas construtivas acarreta na demolição da edificação, gerando alto grau de resíduos – descartados e necessários para uma nova edificação – e afastando o sistema dos princípios da sustentabilidade ambiental aplicada à construção civil. É necessário compreender que, independente do sistema construtivo e materiais aplicados, uma edificação torna-se antiga, tendo que ser atualizada ao longo do tempo. Logo, a ampliação do nível de industrialização da construção, a implementação de técnicas com maior grau de flexibilidade e a utilização de componentes renováveis, podem ampliar a vida útil das edificações.

Maciel (2015) apresenta problemáticas referentes à obsolescência e seu impacto na produção arquitetônica bem como aponta alternativas para sua equalização. A ideia de reciclagem e reversibilidade explorada por Maciel vai ao encontro das estratégias de montagem e desmontagem do processo de módulo tridimensional: os elementos são produzidos e montados numa fábrica e posteriormente transferidos para o local de implantação e ao final de sua vida útil, esses mesmos elementos podem ser desmontados e realocados para uma nova construção, ampliando o ciclo de vida de seus materiais. A implementação desse sistema de maior grau de flexibilidade corrobora a conversão do edifício em organismo de crescimento, mudança, decadência e recriação.

Uma hipótese nos faz refletir sobre a Teoria dos Suportes (1962), de Habraken. A teoria tem como fundamento a diferenciação de elementos estruturais e infraestruturais cuja estratégia de construção é fornecer uma estrutura de apoio determinado das quais unidades volumétricas indeterminadas podem ser inseridas e removidas ao longo do tempo. A construção aberta, que explora os benefícios e características dos elementos de recheio como unidades destacáveis e

recicladas pode ser equiparada ao sistema *plug-and-play*⁷, que por sua vez se beneficia das possibilidades de subdivisão e agrupamento dos módulos tridimensionais.

Estes questionamentos conduzem ao seguinte problema: o uso do módulo tridimensional pode oferecer um equilíbrio entre os impactos da produção e o ciclo de vida de uma edificação?

1.4.4 As interações entre a disciplina arquitetônica e a indústria de pré-fabricação

Rupnik (2017) desenvolve um importante trabalho mapeando o sistema de entrega de imóveis industrializados nos Estados Unidos por meio da: (1) sua distribuição geográfica; (2) relação com a manufatura de habitações; (3) através das interações entre a disciplina arquitetônica e a indústria modular.

Através deste mapeamento, Rupnik identifica que a maioria dos casos que se beneficia do sistema de entrega das habitações industrializadas, a interação entre o fabricante e o arquiteto é limitada, pois o construtor⁸ é frequentemente posicionado entre eles. A interação direta entre fábrica e arquiteto é um elemento chave para a manutenção da capacidade inovadora de uma empresa. Em contraste com esses casos, as experimentações da empresa *Resolution: 4 Architecture (Res:4)*⁹ são tidas como em estudo de caso relevante pois detém um relacionamento próximo com os fabricantes modulares. A abordagem evolutiva de projeto e a assimilação das normas, convenções e limitações do sistema modular, fornece sinergia entre a indústria e a disciplina arquitetônica. A compreensão dos padrões industriais por parte dos arquitetos permite que eles introduzam novos detalhes e métodos que poderiam coexistir dentro do fluxo de produção. Essa prática está diretamente associada ao que Le Corbusier defendia nos seus artigos do século XX: que os arquitetos deveriam aprender a enxergar a cultura industrial para, então, desenvolver projetos e métodos específicos para o engajamento dessa cultura. O estudo de caso de Res:4 mostrou que o impacto disruptivo da prática

⁷ Tecnologia originalmente criada em 1993 para sistemas de informática com a finalidade de fazer com que o computador reconheça e configure automaticamente qualquer dispositivo que seja instalado, facilitando a expansão segura. Na AEC o termo recebeu a conotação de arquitetura expansiva.

⁸ Agente ou empresa da construção civil responsável pela execução física do edifício.

⁹ Resolution 4: architecture é uma empresa americana de arquitetura fundada em 1990, por arquitetos, e dedica-se a oferecer uma opção de projetos e soluções modulares para o mercado habitacional unifamiliar.

arquitetônica pode forçar os fabricantes a evoluírem e a proporcionar novos e melhores métodos de pré-fabricação e produção.

A hipótese do distanciamento dos profissionais da arquitetura do ambiente de produção, aliado à falta de interação entre todos os agentes envolvidos na produção, acarreta perpetuação de um meio involutivo. A disciplina arquitetônica deve estar próxima à indústria, de modo interativo e integrado às condições de produção, para que assim possa proporcionar soluções coerentes com a capacitação tecnológica das empresas. A falta de experiência pode impedir que as equipes de projeto sintam-se confortáveis com a construção modular. Uma análise da indústria e seu estado envolve o conhecimento das condições quanto à participação do arquiteto como agente tecnológico.

Essas particularidades levam a uma questão: **qual é o papel do arquiteto inserido na cultura da industrialização?**

2 A CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA

2.1 CONCEITOS

Ao dissertar sobre a temática é essencial para compreensão dos conceitos básicos que o fundamentam. O módulo tridimensional está diretamente associado aos conceitos de pré-fabricação e industrialização no seu âmbito abrangente, todavia, para evitar equívoco de interpretação entre os termos empregados neste trabalho, neste subcapítulo é estabelecida uma noção preliminar dos conceitos inerentes ao tema. As definições e terminologias adotadas pelas principais entidades de referência serão expostas a seguir.

Os conceitos aqui abordados estão intimamente ligados com a história e política de cada país. Assim sendo, as terminologias são distintas em cada país ou continente, até porque, a evolução histórica da construção civil originou, também, termos distintos.

2.1.1 Industrialização

A industrialização, em princípio, pode ser caracterizada como um processo de organização e integração da atividade produtiva através dos diversos agentes que nela atuam. Como define Sabbatini (1989 p 58 apud Foster, 1973):

Industrialização é um processo organizacional caracterizado por: continuidade do fluxo de produção; padronização; integração dos diferentes estágios do processo global de produção; alto nível de organização do trabalho; mecanização em substituição ao trabalho manual sempre que possível; pesquisa e experimentação organizada integradas à produção.

É possível associar a industrialização a três procedimentos – embora esses não sejam uma condição essencial para a industrialização (BLACHÈRE, 1977): (1) **Mecanização**: utiliza da máquina em substituição ao trabalho humano ou animal e assim consegue um elevado grau de eficiência e precisão. (2) **Automação**: pode ser definida como um desenvolvimento posterior à mecanização onde um sistema em que os processos operacionais em fábricas são controlados e executados por meio de dispositivos mecânicos ou eletrônicos, substituindo o trabalho humano. Vale ressaltar que a automação não é equivalente a mecanização, ela representa mais que a simples troca do esforço humano ou animal por uma máquina. (3) **Racionalização**: ação de tornar racional. Essa ação logo implica ordenar. Dessa forma os processos produtivos são projetados e ordenados de forma racional de modo a primar pela produtividade, eficiência e eficácia.

A industrialização da construção é, segundo Rosa (2006), aplicar nela, os mesmos métodos, critérios e lógica que são usados nas montagens dos produtos das indústrias de bens de capital ou de consumo, tal como a história os consagrou: a produção em série.

Seguindo a lógica taylorista-fordista, a industrialização da construção propunha um aumento do domínio do capital sobre o processo produtivo, fracionando o trabalho, distanciando parte do esforço do canteiro para um galpão industrial e empregando máquinas. Esse processo evolutivo objetiva ampliar a produtividade e aprimorar a atividade construtiva, reduzindo gastos e desperdícios transplantando a lógica da indústria seriada para a construção civil.

Nesse contexto do início do século XX, a produção em larga escala veio a ser o principal paradigma, sendo caracterizada pela massificação da produção e consumo, bem como pela homogeneização dos produtos. Já no final do século XX, o modelo de produção foi aperfeiçoado e introduzido à diversificação de produtos na linha de montagem aliado a estratégia de customização em massa. Essa estratégia está relacionada com a capacidade de fornecer produtos ou serviços em grande escala a custos moderados por meio de processos flexíveis no intuito de satisfazer às necessidades de cada consumidor.

Em resumo, a diferenciação entre um produto industrial e um artesanal se dá pela tecnologia utilizada para sua concepção e não ao lugar de produção. A produção em série é uma condição necessária para o emprego de uma tecnologia industrializada – embora seja possível fabricar em série artesanalmente – uma vez que é a melhor forma de se tornar financeiramente vantajoso o trabalho das máquinas. Para Blachère (1977) a essência da industrialização é a produção de um produto de forma mecanizada, ou seja, sem mão de obra artesanal, com a utilização de trabalhadores especializados o que não necessariamente implica em trabalhadores qualificados.

2.1.2 Pré-fabricação

A grafia da palavra pré-fabricação é composta por um prefixo que subentende o seu significado: “fabricado antes”. Delimitando seu significado para a construção civil, a pré-fabricação é um processo de manufatura, fora do local de implantação, de peças e elementos standardizados da construção, aptas para serem utilizadas mediante ações de montagens. Sua lógica advém da **racionalização da mão de obra e material**. Assim, a pré-fabricação

antecipa o maior número de operações de tal forma que a atividade de montagem e reorganização dos elementos standardizados substitui a necessidade de um número elevado de mão de obra no canteiro, onde cada operário teria uma especialidade e função determinada.

É necessário salientar que o conceito de pré-fabricação é diretamente associado ao **resultado prévio de uma fabricação, não ao seu nível de industrialização**. Dessa forma, o processo construtivo pode ser diversificado, com diferentes graus de mecanização podendo até mesmo ser executado artesanalmente numa pequena fabriqueta ou atelier.

O processo de pré-fabricação fornece uma série de vantagens relativas ao uso de ferramentas precisas que eliminam a imprecisão humana e ao ambiente controlado que independe de um clima atmosférico favorável. O significado da pré-fabricação é a busca pela racionalização construtiva. Sabbatini (1989, p 67) apresentou em sua tese a racionalização da construção como “ferramenta” da industrialização e define:

Racionalização construtiva é um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases.

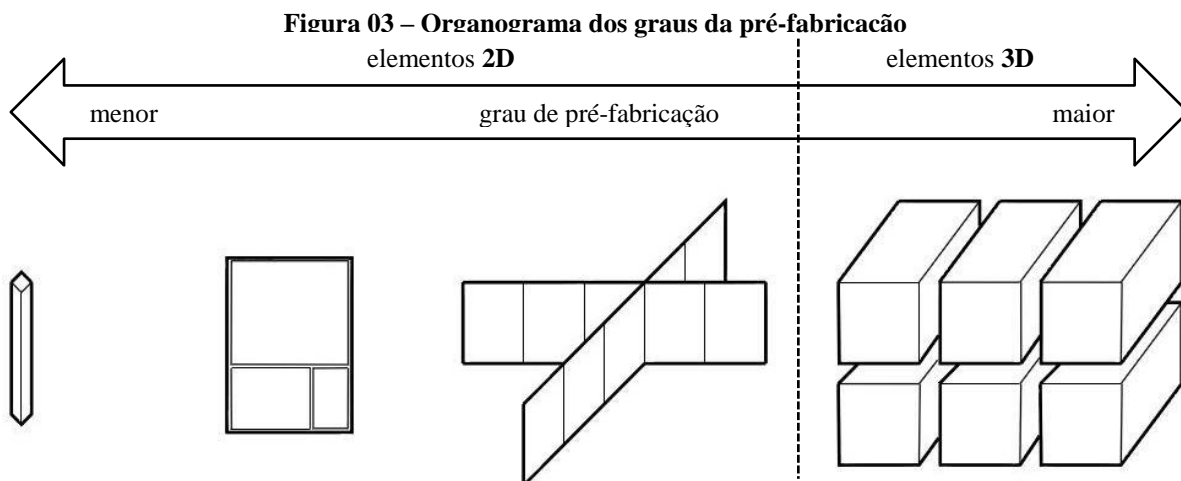
Com base nas definições apresentadas acerca da industrialização e pré-fabricação, é possível traçar um paralelo: a **pré-fabricação pode ser concebida em vários níveis e assim independe da industrialização**; já a afirmativa contrária não é verdadeira, posto que a industrialização depende da pré-fabricação para a sedimentação dos processos.

Praticamente todos os edifícios contemporâneos integram a pré-fabricação em sua construção de alguma forma. Para aumentar a velocidade e qualidade da construção, o processo de pré-fabricação ocorre em uma instalação especializada na qual vários componentes e sistemas são unidos no local de implantação para formar uma porção ou grande parte de uma edificação. O tipo de componentes pré-fabricados varia de acordo com o tamanho e a complexidade (incluindo a quantidade de trabalhos de acabamento realizados na fábrica e o número de operações de construção envolvidas em um único componente) e com base na quantidade de trabalho necessária para a montagem no local.

Em geral, é desejável, do ponto de vista da eficiência, utilizar a pré-fabricação e a combinação de elementos, sejam esses componentes, painéis e módulos para que a construção e montagem

no local sejam ágeis. Três categorias básicas de sistemas pré-fabricados podem ser identificadas e essas representam dois extremos: (1) Elementos **2D** ou “**não volumétricos**” ou **painelizados**; (2) Elementos **3D** ou **unidades volumétricas**; (3) **Híbrido** das duas primeiras categorias (RICHARD, 2017)

A pré-fabricação pode ser classificada pelo grau de conclusão desses elementos antes da montagem no local. Pode-se traduzir o grau de pré-fabricação pela relação entre o volume de obra pré-fabricada e o volume de obra realizada no local de instalação da edificação. Geralmente, os benefícios da pré-fabricação podem ser percebidos à medida que os projetos passam a ter graus cada vez maiores de pré-fabricação, restando um trabalho limitado para as imprevisibilidades do canteiro de obra.



Fonte: Garrison e Tweedie (2008)

Da esquerda para a direita: materiais processados, componentes, painéis e módulos tridimensionais. (SCHOENBORN, 2012)

(1) **Materiais Processados** na construção civil é o nome genérico que designa diversos produtos que dependem de processos de fabricação, como os perfis de aço ou madeira;

(2) **Componentes** são formados a partir de materiais com um grau de pré-fabricação reduzida ou média e chegam ao canteiro limitado pelas dimensões finais do produto. Num ambiente de obra se tornam numerosos para compor uma construção e são associados através de juntas e conexões (e.g. janelas, portas).

(3) **Painéis** são elementos bidimensionais (e.g. paredes, pisos, telhados). Podem incluir

associações de diversos componentes, serviços (e.g. elétrico, hidráulico) e acabamentos internos e/ou externos. O conjunto é estabilizado pela combinação de elementos verticais e horizontais ou pela união entre os próprios painéis.

(4) Módulos tridimensionais consistem num alto grau de pré-fabricação, permitindo que parte considerável da construção seja produzida num ambiente fabril. O conceito desse sistema será explorado em toda extensão dessa pesquisa.

O sistema de pré-fabricação na construção civil pode ser organizado em três ciclos distintos, conforme o modo de produção: ciclo **aberto, fechado e flexibilizado**. Num sistema de pré-fabricação de ciclo fechado, uma única organização ou grupo de empresas coligadas reúne e define todas as etapas, processos e materiais construtivos até o último detalhe. Como benefício desse sistema pode-se destacar a redução dos custos de fabricação e a ausência de incompatibilidade entre peças, devido ao fato de toda a edificação ser produzida por uma única organização. Partes que compõem o produto são fabricadas por uma empresa, não sendo possível a substituição de uma peça sem as mesmas especificações. Devido às limitações¹⁰ desse sistema, durante muitos anos a construção pré-fabricada foi reputada como monótona e de flexibilidade zero.

Por outro lado, o sistema de ciclo aberto não define todos componentes construtivos, proporcionando um leque de possibilidades e intervenções por diversos outros fabricantes e profissionais, desde que sejam respeitadas as regras de compatibilidade estabelecidas pela indústria. É construído por séries flexíveis e os elementos produzidos podem ser combinados entre si de modos variados, gerando os mais diversos edifícios e satisfazendo uma larga escada de exigências funcionais e estéticas. Dessa forma, permite que os arquitetos influenciem na produção de maneira mais direta quebrando a monotonia do sistema fechado. Um exemplo cotidiano desse sistema são os computadores desktops baseados na arquitetura IBM PC¹¹, dado à capacidade da intercambialidade de componentes de diversos fabricantes.

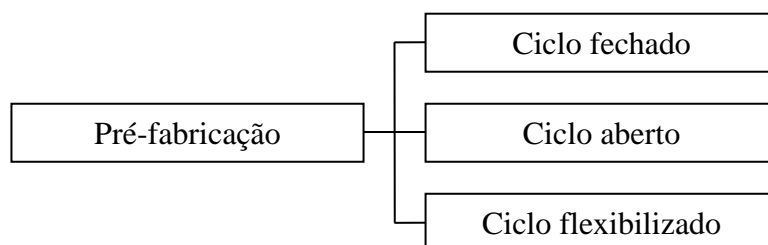
Já o sistema pré-fabricado de ciclo flexibilizado surge nas fábricas da montadora de automóvel Toyota após a Segunda Guerra Mundial, e flexibiliza não apenas os componentes

¹⁰ As limitações e desvantagens serão identificadas na etapa de conceituação do termo “módulo tridimensional”.

¹¹ IBM PC corresponde à sigla designada para o “Computador Pessoal” criado pela IBM em 1981 tendo como maior característica sua arquitetura aberta, dando-lhe assim a possibilidade de receber novos componentes, ainda que originários de outros fabricantes.

(como no sistema de ciclo aberto), mas todo o sistema, incluindo a etapa de projeto o que possibilita a adequação ao desejo do consumidor e de qualquer tipologia arquitetônica.

Figura 04 – Organograma dos ciclos da pré-fabricação



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de COSTA¹² (2013).

Na literatura, em particular a de língua inglesa, podemos encontrar termos como *prefabrication construction*, *offsite construction*, *modular construction*, *industrialized construction* e similares com o significado de construção pré-fabricada.

2.1.3 Módulo

O termo módulo foi adotado por muitas disciplinas (e.g. programação de computadores, música, filosofia, medicina, matemática, design) e é usado de variadas formas dependendo dos contextos e períodos históricos, cada um gerando um próprio significado ao vocábulo. Segundo a norma ABNT NBR 15873:2010, na Coordenação Modular¹³, o termo módulo básico significa precisamente a unidade de medida fundamental da coordenação modular, que corresponde pela letra M que por sua vez refere-se a medida de **1M = 100mm**.

O termo pode ter outros significados consolidados pela história e pelo uso como a ideia de grandeza base que **não se limita à medida** e serve de referência para definir e coordenar dimensões dos componentes da construção. No continente europeu e especialmente nos Estados Unidos, o termo “construção modular” é utilizado conferindo a palavra “módulo” uma conotação de dimensão padronizada, elemento construtivo ou até mesmo de um volume tridimensional. Anderson (2006) critica a forma como tornamos os termos “modular” e “pré-

¹² O organograma de Costa dividia o sistema de pré-fabricação em apenas dois subsistemas (ciclo aberto e fechado). A partir da leitura de Fonyat, 2013 e por compreender a existência de outro subsistema (ciclo flexibilizado), este foi inserido no presente trabalho.

¹³ O conceito de coordenação modular será explanado no próximo item.

fabricado” intercambiáveis em nosso vocabulário gerando uma confusão quanto a sua viabilidade e aplicabilidade de diferentes sistemas de pré-fabricação disponíveis.

A utilização do módulo não é um fenômeno recente. Desde a Grécia antiga, o termo estava historicamente ligado ao uso de unidades de medida padronizadas, que regulavam as dimensões gerais e as proporções da construção que era a expressão da beleza e harmonia. Um elemento geometricamente definido (no caso, a coluna) atuava como um módulo, subordinando um conjunto de regras dimensionais da obra arquitetônica (GREVEN; BALDAUF, 2007).

A civilização romana teve um papel fundamental no desenvolvimento e na difusão do conhecimento sobre processos de construção sistematizados. Esta sabedoria ia desde o planejamento das cidades que obedeciam à malha reticulada modular embasada no *passus* romano (múltiplo do *pes*, uma unidade de medida antropométrica), às definições de simetria e sistemas modulares de construções por Vitruvius.

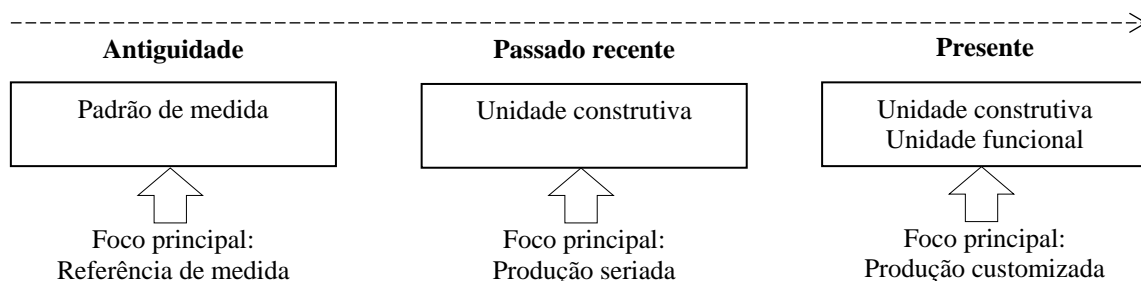
Na arquitetura japonesa, a trama baseada na medida *ken* regia a estrutura e a sequência aditiva dos espaços. O tatame (típico piso feito de tecido de palha entrelaçada) deu a modulação um caráter prático-funcional, devido ao fato desse ser utilizado em todos os locais internos das habitações japonesas, o que levou a subordinação de todo o projeto desta medida-base.

É importante destacar que muitos estudos significativos foram realizados ao longo da história para encontrar um sistema de medição harmonioso e antropométrico. Le Corbusier, em meados do século XX, estuda um sistema de proporcionalidade capaz de se adequar às necessidades da produção industrial e fundamenta o *Le Modulor*. O módulo criado pelo arquiteto manifesta o sentido de “medida geratriz de um projeto” e representa um estudo quanto à estética e função. Segundo o Prof. Teodoro Rosso os gregos criaram o módulo – forma, Le Corbusier criou o módulo – função, ou “modulor”; e os japoneses, o tatame que é um módulo – objeto. (ROSA, 2006, p.64 apud ROSSO)

Na Antiguidade, o módulo foi uma unidade de medida utilizada como referência para técnicas construtivas e com o passar dos anos ganhou novos significados e atualmente esse conceito extrapola seu limite físico e está relacionado às características de flexibilidade de processos e possibilidades de atender um número maior de consumidores. Atualmente, o conceito de

módulo se expandiu e se associou ao de modularização e customização. A síntese da evolução do conceito de módulo pode ser exemplificada na Figura 05.

Figura 05 – Organograma dos ciclos da pré-fabricação



Fonte: Pelegrini (2005)

No contexto da manufatura, o termo modular está diretamente associado à maneira pela qual o produto é fisicamente dividido e dessa forma refere-se ao uso de unidades independentes e intercambiáveis para a criação de um produto. No âmbito da coordenação modular, um módulo é uma dimensão que se repete e por isso é possível reunir componentes muito variados e mesmo assim formar um conjunto racional e integrado.

Miller e Elgard (1998, p. 16) sugerem definições para os termos relacionados à modularidade e, sobretudo, sobre o termo módulo, independente da aplicação, do domínio técnico e da medida de 100 mm. Por incorporar diversos conceitos, o presente trabalho considera a seguinte definição: **um módulo é uma unidade essencial e autônoma em relação ao produto do qual faz parte. O módulo possui, em relação à definição do sistema, interfaces e interações padronizadas que permitem a composição de produtos por combinação.**

2.1.4 Coordenação Modular

Para o grupo de pesquisa MOM¹⁴, o equívoco mais comum é a ideia de que coordenação modular seria o mesmo que a repetição de determinado elemento construtivo. Diversos profissionais entendem a expressão como “repetição e composição de elementos iguais”,

¹⁴ MOM é um grupo de pesquisa na cidade de Belo Horizonte, sediado pelo Departamento de Projetos (PRJ) e pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (NPGAU) da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (EA-UFMG).

"racionalização de componentes predefinidos" e "projeto com partes pré-fabricadas". Porém, uma construção pode ter repetição de elementos sem ser coordenada modularmente (como é comum na construção civil brasileira) e, inversamente, pode ser coordenada modularmente sem ter elementos construtivos repetidos. De fato, a coordenação modular torna possível unir elementos muito variados, sem perdas e retrabalho. De acordo com a ABNT NBR 15873:2010, a coordenação modular é fundamentada na repetição de uma medida básica (o módulo de 100 mm), não na repetição de um objeto ou espaço, visando à compatibilidade dimensional entre os elementos e os componentes da construção.

A coordenação modular visa promover a compatibilidade dimensional entre elementos construtivos (definidos nos projetos das edificações) e componentes construtivos (definidos pelos respectivos fabricantes), bem como busca estabelecer uma lógica racional de concepção projetual entre as partes para a formação de um conjunto modular, a ser materializado na edificação. Esse conceito de coordenação visa aumentar a intercambialidade de componentes tanto na construção inicial quanto em reformas e melhorias ao longo da vida útil projetada da edificação, o que torna possível a recomposição de partes de um edifício que podem ser adicionados ou removidos de acordo com as necessidades dinâmicas e econômicas do usuário.

A utilização de componentes e elementos que obedecem à coordenação modular proporciona maior produtividade e qualidade à construção, na medida em que garante maior agilidade de produção e confiabilidade ao projeto. A precisão é uma questão sem a qual a coordenação não pode ocorrer e para tal, é preciso que o projeto trabalhe com combinações modulares adaptando-se e/ou seguindo as restrições impostas pelo sistema. É necessário salientar que a coordenação modular pode ser usada em qualquer construção e não é exclusiva da pré-fabricação. Além da diminuição de custos, possibilita o atendimento de critérios de sustentabilidade, como a redução de consumo de recursos e geração de resíduos.

2.1.5 Construção Modular

A princípio, poderíamos entender o termo “Construção Modular” como a adição dos significados das palavras: construção que é o ato ou efeito de construir, que por sua vez, corresponde à ação de reunir as diferentes partes de um edifício; unido ao entendimento previamente abordado nessa pesquisa da adoção do conceito de Coordenação Modular. Este conceito identifica projetos que utilizam o módulo como uma medida padrão, adotada dentro

de uma malha modular que direciona o projeto, dentro do qual toda e qualquer dimensão é pré-definida.

No entanto, internacionalmente, o termo “Construção Modular” é controverso, uma vez que é utilizado para expressar uma construção que utiliza de componentes e elementos que obedecem à coordenação modular e “não volumétricos”, como pode ser utilizado para identificar construções e estruturas “volumétricas”, projetadas e pré-fabricadas num ambiente fabril e que serão transportadas, acopladas ou montadas em uma estrutura auxiliar/complementar no local definido para implantação. Esse último conceito se assemelha ao que pode ser descrito como Construção Modular Tridimensional (conceito que será explorado no item posterior), e dessa forma pode levar a erros de interpretação quando usada de forma generalizada. Porém, o uso contemporâneo do termo de língua inglesa *Modular Construction* nos obriga a aceitar as variadas definições. Apesar disso, o trabalho trata de definir os conceitos de formas distintas a seguir.

Dados sobre as principais tendências e inovações do setor de design e construção foram disponibilizados no relatório de 2020 divulgado pela *Dodge Data & Analytics*¹⁵ intitulado: *SmartMarker – Prefabrication and Modular Construction 2020*. Nesse denso relatório, os conceitos da “pré-fabricação” e “construção modular” foram similares quando tratados como tipos de construção fora do canteiro, e distinguidos pela noção da construção modular ser um processo baseado na fábrica, produzindo componentes ou grandes volumes (módulos) que serão transportadas para o local de implantação.

Essa compreensão também é apresentada no relatório *Design for Modular Construction: An Introduction for Architects*¹⁶ de Wilson (2019) que identifica os elementos modulares da construção pré-fabricada como¹⁷: **(01)** construções não volumétricas ou bidimensionais/2D; **(02)** unidades volumétricas ou tridimensionais/3D; **(03)** Híbrido – uso conjunto de elementos bidimensionais e tridimensionais.

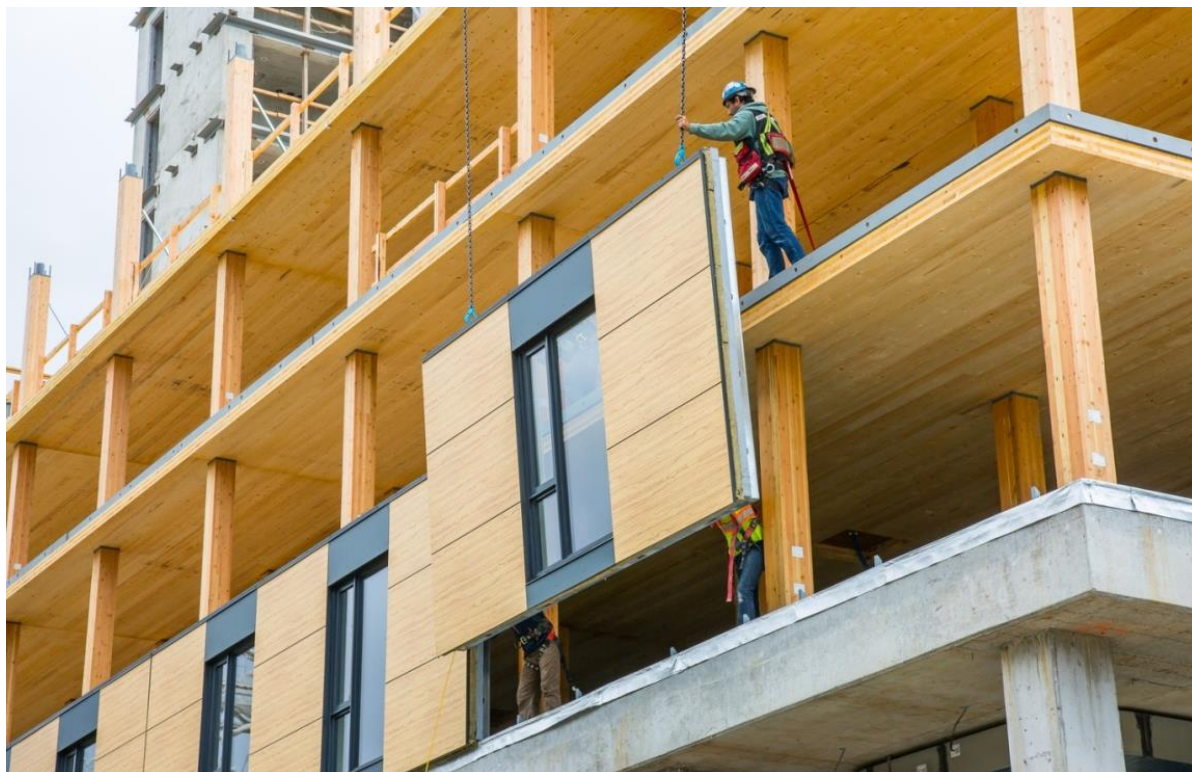
¹⁵ Dodge Data & Analytics é uma empresa Norte Americana, fornecedora de soluções analíticas e integração de fluxos de trabalho para a indústria da construção. Agentes do mercado da construção utilizam o serviço da empresa para identificar e buscar oportunidades de crescimento e melhora do desempenho dos negócios.

¹⁶ Guia concebido pela AIA (Instituto Americano de Arquitetos) sobre a abordagem modular para arquitetos. Inclui valores e oportunidades do design modular, cuidados com os quais os projetistas devem se preocupar e estudos de caso que exemplificam sucessos e obstáculos.

¹⁷ A caracterização se assemelha a divisão previamente discutida de Richard (2017) quanto aos sistemas construtivos industrializados. Apesar de não considerar o uso híbrido como um elemento e sim como uma combinação, o trabalho insere este último para ilustrar a possibilidade de uso conjunto.

Construção modular não volumétrica ou Bidimensional (Figura 06): envolve a pré-fabricação de elementos de construção (geralmente chamados de subconjuntos). Exemplos comuns incluem: elementos estruturais como vigas e pilares; seções de fachada e revestimentos; painéis de parede e divisórias; treliças de telhado.

Figura 06 – Exemplo de construção modular não volumétrica: painel pré-fabricado acabado sendo fixado ao esqueleto estrutural do edifício Brock Commons Tallwood House em Vancouver / Canadá.



Fonte: Acton Ostry Architects / Pollux Chung

Construção modular volumétrica ou tridimensional (Figura 07): envolve a pré-fabricação de unidades tridimensionais (conceito que será explorado no próximo item). Projetos modulares podem ser compostos por uma combinação de componentes volumétricos e não volumétricos, podem utilizar uma combinação de construção fora e dentro do local de implantação, dependendo dos requisitos específicos do projeto, programa e / ou terreno. Por exemplo, os componentes necessários para formar grandes aberturas ou vãos, que podem ser difíceis de fabricar em instalações externas, geralmente são construídos no local. Embora os elementos não volumétricos possam ser transportados de forma mais compacta que as unidades volumétricas, reduzindo potencialmente os custos de transporte, eles exigem trabalhos adicionais de montagem e vedação no local que elevam a duração da obra e cujo custo pode compensar qualquer economia de transporte obtida.

Figura 07 – Exemplo de construção modular volumétrica: módulo pré-fabricado é instalado no 17º andar em umas das torres do projeto Clement Canopy em Singapura / Malásia.



Fonte: Bouygues Construction / Arnaud Fevrier

Construção híbrida: corresponde a combinação da utilização de módulos 3D e de painéis 2D. O processo de construção pode ser otimizado com o uso conjunto dos sistemas aumentando a produtividade e maximizando a flexibilidade. Partes complexas da edificação como banheiros, cozinhas e casas de máquinas podem se beneficiar da construção 3D onde o ambiente é fabricado em sua totalidade em uma fábrica e transportado para uma obra, já o restante da edificação poderá ser executado utilizando componentes e painéis 2D que representam uma diminuição nos gastos de transporte.

Bertram *et al.* (2019) aborda a variedade de sistemas, complexidades e escalas na construção modular. A variedade parte de elementos mais simples que são unidos usando conexões e interfaces padronizadas (em grande parte elementos estruturais) e mais adiante estão os painéis bidimensionais que podem ser compostos por uma série de elementos pré-fabricados (e.g. conjunto de janelas, portas, sistema elétrico e hidráulico), e, num estágio avançado são abordados os elementos mais complexos como unidades volumétricas tridimensionais. Cada elemento abarca vantagens e desvantagens que serão adequados para diferentes segmentos do setor imobiliário e poderão ser utilizados de forma combinada (híbrida).

Musa *et al.* (2014) analisam na literatura global as várias definições do termo construção

modular e destacam que, apesar das diversos conceitos, fundamentos essenciais para o termo são recorrentes, tais como: unidades modulares; ambiente controlado de fábrica; construção externa ou *construção off-site*¹⁸, logística, construção no canteiro e coordenação.

2.1.6 Módulo Tridimensional

Módulo Tridimensional (M3D) ou Sistema Volumétrico, como foi visto previamente no item anterior, é o termo usado para descrever unidades que são executadas parcialmente fora do canteiro de obra e que formam uma edificação composta por um módulo ou pelo conjunto de módulos conectados entre si ou que são inseridos em uma estrutura pré-existente. Cada módulo possui geometria compatível para transporte entre fábrica e local de implantação e geralmente são compostos por um chassi estrutural, equipado de fechamentos horizontais e verticais, instalações complementares (e.g. hidráulica, elétrica), revestimentos, esquadrias, estruturas de fachada e até mesmo mobiliário instalado.

Como foi apresentado anteriormente, o termo “construção modular” também é amplamente utilizado para caracterizar a construção M3D de maneira genérica, desconsiderando sua dualidade de significados (construção modular 2D e 3D) e podendo gerar alguma confusão. Apesar do termo “modular” poder levar ao erro de interpretação, a associação do termo pela comunidade internacional ao uso de módulos tridimensionais nos obriga a aceitar a definição.

Todavia, a fim de enfatizar a diferença conceitual entre Módulo enquanto unidade de medida e enquanto um amplo conjunto de sistemas, optou-se por incluir o termo Tridimensional (que nos remete a unidade 3D e volumétrica) sempre que nos referimos apenas ao sistema de enfoque, resultando: Módulo Tridimensional ou Módulo 3D. Esse conceito também é explorado pelo recente relatório da *McKinsey & Company de 2019 – Modular construction: From projects to products*, que aprofunda os conceitos de sistemas de produção e construção modular conforme aplicação no mercado imobiliário. O relatório identifica que termos como *offsite construction* (construção externa), pré-fabricação e construção modular são usados indistintamente e tratam sobre uma variedade de abordagens e sistemas diferentes. Dessa forma, o relatório descreve a construção modular como um amplo conjunto de abordagens e

¹⁸ Construção *off-site* é um termo usualmente utilizado para identificar construções pré-fabricadas. No glossário da pesquisa realizada por SMITH (2017, p. 264) construção *off-site* significa “planejamento, projeto, fabricação e montagem de elementos construtivos em um local que não seja o local final de instalação para apoiar a construção rápida e eficiente de uma estrutura permanente”.

sistemas tendo como principais sistemas os painéis bidimensionais (2D) e as unidades de módulos tridimensionais (3D).

Esse termo é também adotado por autores de língua espanhola e portuguesa, como Ordóñez (1979), Castelo (2008), Fernandes (2009), Matos (2012), Castro (2013), Pereira (2013), Correia (2017).

Nos anos 60 diversos arquitetos desenvolveram propostas de pequenas habitações temporárias, utilizando novos materiais e que poderiam ser montadas e desmontadas. Essas edificações ficaram conhecidas como *tiny houses* (Figura 08) que ainda hoje são exploradas sob uma ótica de vida simples e minimalista e frequentemente associadas à arquitetura modular tridimensional. No entanto, não devemos associar a construção modular tridimensional apenas a esse estigma vindo do movimento que defende o minimalismo das construções e das pequenas casas sessentistas, que embora ainda existentes, não correspondem à associação de toda gama de opções construtivas que envolvem o conceito.

Figura 08 – A *tinyhouse* brasileira MINIMOD



Fonte: Mapa Arquitetos / Leonardo Finotti

Outra confusão habitual é a associação do sistema à construção em contêineres, que por sua vez são baseados na ideia da utilização dos contêineres marítimos ISO (projetados para transportar mercadorias) na construção civil como unidades modulares. Feitos de alumínio ou aço, as dimensões e propriedades estruturais dos contêineres, embora restritivas, permitem a conversão desses módulos para diversos propósitos e se tornaram uma opção de uso para a

construção contemporânea. Para a instalação e usufruto dessas estruturas, certos aspectos devem ser levados em consideração. Os revestimentos usados para tornar os contêineres duráveis e a própria carga/mercado que esse equipamento transportou durante sua vida útil podem conter produtos químicos nocivos ao uso. Além disso, as restrições dimensionais do módulo podem contribuir para espaços inadequados, sendo necessária a combinação de vários módulos para criar espaços confortáveis. Cuidados especiais quanto ao isolamento térmico e acústico deverão ser realizados, principalmente se forem implantados em locais com temperaturas extremas.

Uma construção modular 3D é em suma uma construção padronizada, projetada para facilitar a montagem e concebida por um processo de fabricação definido pelo uso da pré-fabricação e pré-montagem para compor componentes volumétricos. O Instituto de Construção Modular (MBI) classifica os edifícios modulares duas categorias:

(1) Construção Modular Permanente (*Permanent Modular Construction* - PMC) fornece um único ou uma série de componentes que serão fixados permanentemente no local de implantação. Os módulos podem ser integrados a estruturas pré-existentes ou podem formar uma edificação independente. A economia do tempo acumulada e o paralelismo de ações simultâneas de trabalho permitem aos investidores um retorno financeiro mais ágil (com uma construção mais rápida) e com gastos menores relacionados a deslocamento de equipes e incidentes relativos ao canteiro de obra.

(2) Edifícios realocáveis (*Relocatable building*), como o próprio nome indica, não são fixos e mantêm sua mobilidade. Sua estrutura é pré-fabricada, construída numa fábrica e pode ser composta por um chassi integrado com rodas, engates e eixos destacáveis. Esse tipo de construção é bastante característica da década de 50 e 60 na América do Norte e remete a uma derivação do trailer de viagem.

Módulos únicos podem configurar uma edificação inteira ou podem ser combinados a outros módulos, formando um edifício maior. Conforme Lawson (2014), as construções em módulos tridimensionais têm até 70% de conclusão na indústria dentro de um ambiente controlado e correspondem a unidades dotadas de pisos, paredes, tetos, canalizações hidrossanitárias e sistemas elétricos já instalados. Essas construções correspondem ao mais alto nível de industrialização na arquitetura, engenharia e construção.

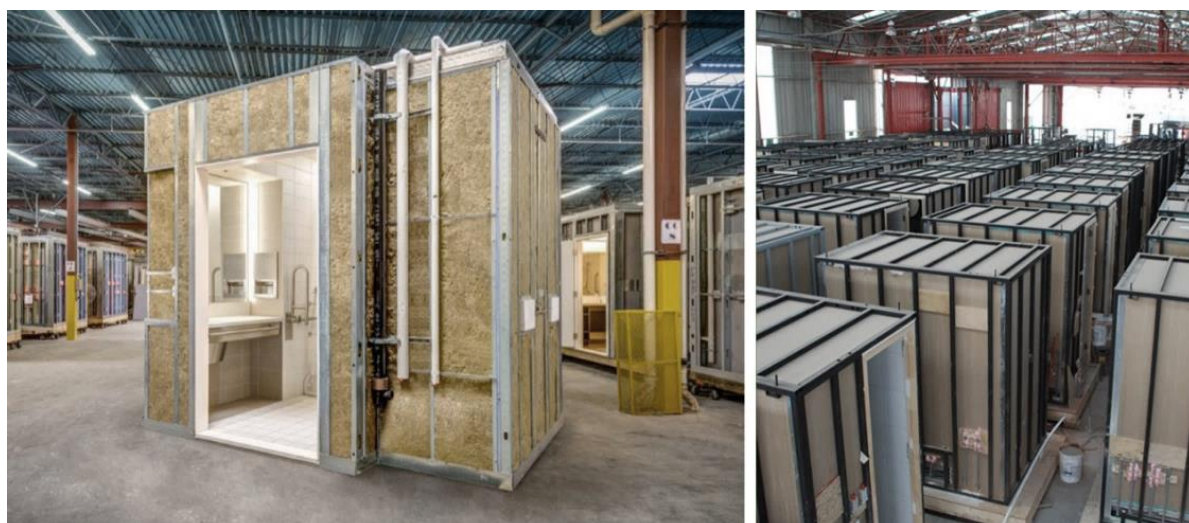
Figura 09 – Módulo tridimensional acabado sendo instalado durante rigoroso inverno



Fonte: Boklok (2019)

Já o termo “pod”, na literatura, refere-se a módulos totalmente acabados de fábrica de fins específicos e predeterminados que podem ser utilizados como infraestrutura e serviços de um objeto construído. Tipos de pods incluem banheiros, cozinhas, sacadas e cômodos específicos. Geralmente esse tipo de sistema é aplicado a redes hoteleiras, edifícios públicos, estádios, aeroportos, hospitais e escolas e podem ser acoplados a uma edificação ou estrutura pré-existente ou podem funcionar de forma autônoma.

Figura 10 – Pods sanitários na linha de montagem da fábrica



Fonte: Modular Building Institute (2017)

Os “módulos intersticiais”¹⁹ por sua vez, são espaços não habitáveis intermediários localizados entre os andares, incluindo componentes de telhado acabados ou porções técnicas de sistemas mecânicos, elétricos e/ou hidráulicos do edifício. Compartimentos destinados à instalação e manutenção de maquinários de serviço, que atendem a uma edificação, podem ser pré-fabricados com toda precisão e cuidado que um ambiente de fábrica propõe e posteriormente transportado para implantação em uma edificação. Na literatura também encontramos esse sistema denominado como “espaço vazio”.

Figura 11 – Módulos intersticiais sendo içados e alocados no canteiro



Fonte: Terrible (2016)

Módulos podem ser fabricados como componentes estruturais ou não estruturais. Componentes estruturais podem ser empilhados verticalmente formando um edifício de múltiplos andares, já as unidades não estruturais – como os *pods* – não compreendem nenhuma parte estrutural do edifício e são tipicamente construídos usando quadros de aço leve, inseridos dentro de uma superestrutura já existente. Cada módulo conta com um chassi estrutural, fechamentos para parede, piso e cobertura, instalações elétricas, hidráulicas, entre

¹⁹ SCHOENBORN (2012) adota o termo “*interstitial modules*” para caracterizar os espaços não habitáveis e dessa forma a tradução do autor foi inserida no presente trabalho para tratar sobre esse subsistema.

outras instalações complementares. Os materiais estruturais utilizados para a fabricação dos módulos são variados – incluindo aço, concreto e madeira – e a disponibilidade do material na região, fatores relacionados à estrutura e projetos específicos podem determinar qual material será adaptado ao empreendimento.

O grau de industrialização das edificações é distinto e podem compreender vários níveis de pré-fabricação. Essa classificação é exemplificada com a tabela comparativa elaborada por Lawson, Ogden e Goodier (2014):

Tabela 01 – Níveis de pré-fabricação (%) fora do local (*off-site*)

Tipo de Tecnologia (parâmetro)	Descrição	Exemplos	Proporção manufatura <i>off-site</i> (%)
Alguns componentes industrializados	Fabricação de componentes utilizados em parte do processo produtivo	Ferragens para telhados; Lajes pré-fabricadas; Painéis de revestimento de compósitos;	10 – 25
Sistema paneilizado (2D)	Componentes pré-fabricados 2D de paredes e frames estruturais	Estrutura mista; <i>Wood frame; Light Steel Framing; Structuraliy insulated panels;</i>	15 - 25
Sistema modular misto	Componentes pré-fabricados 3D (módulos) combinado com outros sistemas	Banheiros (pod) pré-fabricados; Ambientes modulares; Instalações pré-fabricadas;	30 - 50
Sistema completamente modular	Componentes modulares e acabamentos feitos em fábrica antes do transporte para obra	Edifício completamente modular; Módulo 3D;	60 - 70

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (LAWSON, OGDEN e GOODIER. 2014 p. 4)

Segundo o relatório da AIA (2019), de um modo geral, ao implementar a abordagem modular tridimensional, até 95% do edifício poderá ser fabricado fora do local de implantação. O nível de acabamento dessas construções dependerá de vários fatores, incluindo o tipo de construção, as restrições do local, a localização do projeto e da mão de obra para a fase de implantação. O grau ideal em que os componentes de um edifício modular serão pré-fabricados - e o nível em que os componentes serão finalizados - varia de projeto para projeto, mas o objetivo geral da construção modular é minimizar a quantidade de trabalho que ocorre na instalação do canteiro de obras. Quanto mais trabalho puder ser concluído fora do local, num ambiente controlado de uma instalação fabril, maior será a eficiência obtida e menor o

risco de fatores como danos relacionados ao clima e erros devido à falta de coordenação. Além disso, quanto menos trabalho for realizado no canteiro e mais rápido for a conclusão de uma obra, menor será o impacto em seu entorno. Os efeitos colaterais das atividades nos canteiros, que duram meses ou anos, motivam reclamações contra as construtoras que são, quase sempre, as que envolvem barulho, sujeira e trânsito, e podem gerar uma série de problemas ao andamento de um empreendimento.

Os módulos tridimensionais podem ser divididos em várias outras categorias quando analisados por seu nível de pré-fabricação e conclusão, estrutura, peso, mobilidade e formas de agrupamento. Richard (2017) e Lawson (2014) listam uma série de vantagens e limitações relacionadas ao uso do módulo tridimensional. Esses fatores estão diretamente ligados a parâmetros de custo, tempo e qualidade. Como vantagens são listadas:

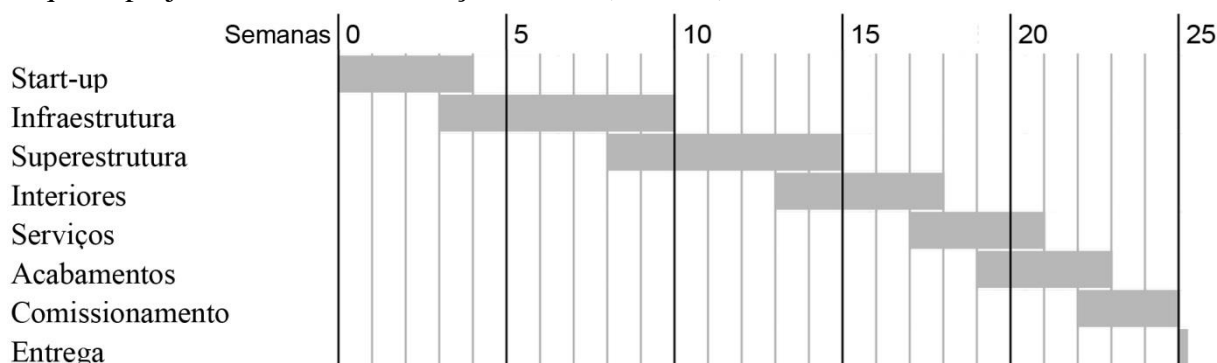
- Paralelismo das atividades envolvidas numa construção que, ao contrário de uma construção convencional, permite que trabalhos normalmente sequenciados sejam executados simultaneamente. Conferindo ganho de tempo ao cronograma da obra e proporciona um retorno antecipado do investimento;
- Previsibilidade e respeito ao cronograma graças ao ambiente de fábrica controlado, que torna todo processo de construção menos vulnerável a atrasos relacionados às condições climáticas desfavoráveis do canteiro de obra. Esses fatores também são considerados na previsibilidade de custo de um projeto;
- Segurança do trabalho e produtividade, posto que a maioria do desenvolvimento da construção é feita sob um ambiente controlado e não estão expostos aos riscos de condições meteorológicas ou outros perigos de canteiro de obra. Segundo o relatório da *McKinsey & Company de 2019 – Modular construction: From projects to products*, o ambiente operacional padronizado, automatizado e controlado de uma fábrica pode dobrar a produtividade do que pode ser alcançado com as construções tradicionais, eliminando uma grande quantidade de tempo de inatividade no local;
- Eficiência construtiva por conta da facilidade do acesso dos trabalhadores e materiais aos locais de montagem. Pelo fato das atividades serem desenvolvidas no chão de fábrica, trabalhos de movimentação de carga são menos impactados por ventos fortes e intempéries relacionadas a obras em grande altura;
- Menor uso de material e menos desperdício. Além de redução do desperdício de material relacionado ao controle e exatidão do uso de bens materiais (baseado nos

conceitos de compra de material *just-in-time*), na fábrica os materiais podem ser separados e reciclados ao invés de descartados;

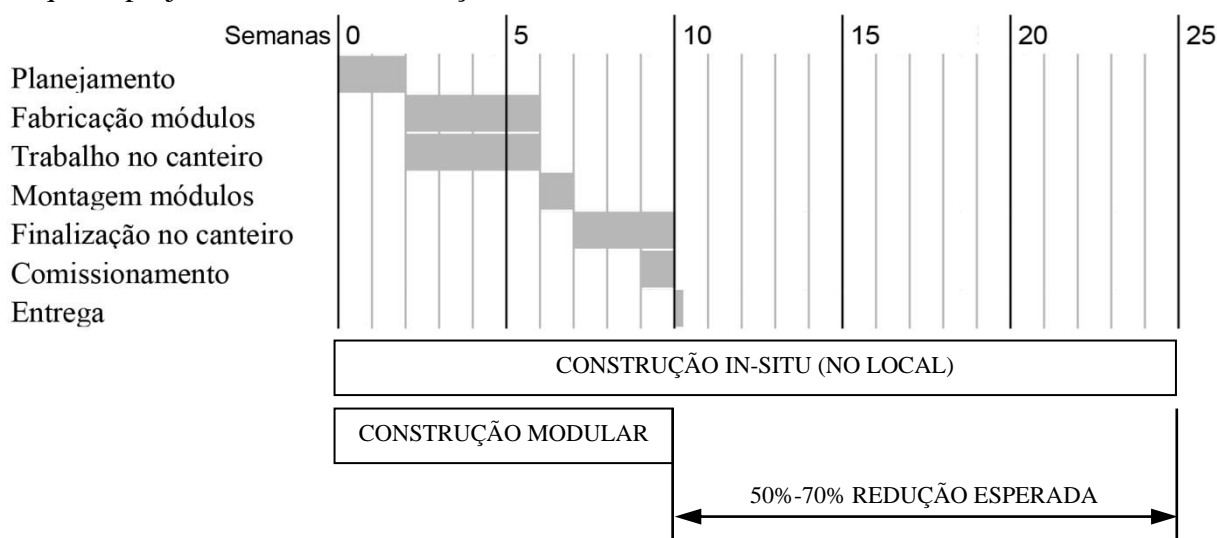
- Impacto reduzido na vizinhança durante a obra. Perturbações relacionais ao tráfego de caminhões, ruídos do canteiro de obra e armazenamento de material são consideravelmente reduzidas na medida em que grande parte da obra é feita em fábrica e poucas ações são voltadas ao canteiro;
- Capacidade de desmontar o edifício e manter parte do valor do ativo do empreendimento se os módulos forem reutilizados em outro local. Para que os recursos de projeto de desmontagem sejam efetivos, eles devem ser claros e compreendidos por quaisquer partes responsáveis no futuro;

Tabela 02 – Gráfico Gantt de comparação de entre cronogramas e períodos de construção para uma construção modular e in-situ (no local).

Pequeno projeto utilizando construção **in-situ (no local)**



Pequeno projeto utilizando construção **modular**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (GARRISON. 2008 p. 23)

Quanto às limitações podem ser citadas:

- Alto investimento inicial de capital. A pré-fabricação exige grandes depósitos para assegurar o trabalho e iniciar o processo de fabricação, ou seja, maiores investimentos serão feitos logo na fase inicial de construção. Outros ciclos de cobrança como tarefas executadas em paralelo podem gerar esforços orçamentários em um mesmo período;
- Disciplina rigorosa de planejamento que envolve uma integração significativa das fases de projeto, fabricação e construção. As equipes de projeto não apenas projetam os vários elementos do edifício, mas também planejam o processo de como esses elementos serão fabricados, transportados e montados no local;
- Custos de transporte significativos – mas não proibitivos. Cada módulo possui geometria e tamanho compatível para transporte entre fábrica e canteiro por diferentes modais (e.g. rodoviário, ferroviário, naval). O tamanho recomendado do módulo a ser projetado deve ser compatível com um transporte eficiente, atendendo as restrições de tamanho e peso de cada modal a ser utilizado. O Planejamento do transporte impacta na solução de projeto do módulo;
- Parte das atividades da construção, ainda que em pouca quantidade, obrigatoriamente serão executadas no canteiro de obra e estarão sujeitos à imprevisibilidade e outros fatores pertinentes à construção convencional, como: fundação, movimentação de terra, içamento e montagem dos módulos;

Os aspectos citados acima precisam ser estudados e aprofundados para melhoria do processo de construção e suas vantagens ou limitações devem ser analisadas caso a caso num sentido crítico ao seu uso para, enfim, sua adoção. Entre as principais vantagens do uso do sistema podemos citar o cronograma que está inter-relacionado com o custo de uma obra. De uma forma geral, economizar tempo nas atividades de construção equivale à redução do custo do empreendimento. As vantagens aqui listadas do uso do sistema superam suas limitações ao tratarmos de projetos que privilegiam o tempo de execução para o rápido retorno, por exemplo. Todavia, as dificuldades relacionadas à coordenação de equipe e disciplinas de projeto rigorosas permanecem como impedimentos para que o sistema seja usado de forma mais ampla. O alto investimento inicial também se torna um empecilho para o uso do sistema. Outras questões relacionadas ao trabalho na fábrica, adoção de tecnologias, ciclo de vida das edificações e o papel do arquiteto serão exploradas durante a pesquisa e irão ampliar essa discussão sobre limitações e vantagens.

2.2 CONTEXTO HISTÓRICO DO SISTEMA DE MÓDULO TRIDIMENSIONAL

2.2.1 Antecedentes Remotos

A arquitetura pré-fabricada possui antecedentes de culturas autóctones onde é possível identificar conceitos de racionalização, flexibilidade e adaptabilidade em projetos desenvolvidos na pré-história, antes mesmo da ciência e do conceito de pré-fabricação e da profissão arquitetônica. Devido à economia baseada na migração e na conquista territorial, a construção de assentamentos por tribos nômades significou também uma hierarquização social, onde a arquitetura se tornou reflexo das relações comunitárias. As sistematizações dos processos construtivos nos assentamentos nômades proporcionaram o alcance de parâmetros como à flexibilidade e agilidade de montagem e desmontagem. Esses modelos representaram o surgimento dos primeiros protótipos de edifícios pré-fabricados. Devido à falta de documentação mínima, essas obras não serão analisadas, delimitando esse trabalho ao levantamento histórico dos sistemas documentados da arquitetura dita erudita.

Figura 12: Arquitetura transportável vietnamita.



Fonte: Architecture Without Architects: A Short Introduction to Non-Pedigreed Architecture. Unive

Desta forma, a história da pré-fabricação no ocidente começa com a colonização global nos séculos XVII a XIX, que se beneficiou do modelo da pré-fabricação para a criação de assentamentos, como podemos identificar em 1624 nos primeiros exemplos desse tipo de

construção. Estruturas de diversas habitações concebidas na Grã-Bretanha com painéis de madeira pré-fabricados são enviadas e montadas nas colônias das vilas dos pescadores na cidade de Cape Anne, na costa leste da América do Norte, que atualmente corresponde a cidade em Massachusetts (SMITH, 2010).

2.2.2 Século XIX

Apesar dos vários exemplos da pré-fabricação datados antes do século XIX, foi a partir desse século que várias empresas e construtores enxergaram o potencial econômico do sistema construtivo e passaram a comercializar seus edifícios pré-fabricados. O início deste século também está associado aos avanços de técnicas do uso do aço e da madeira.

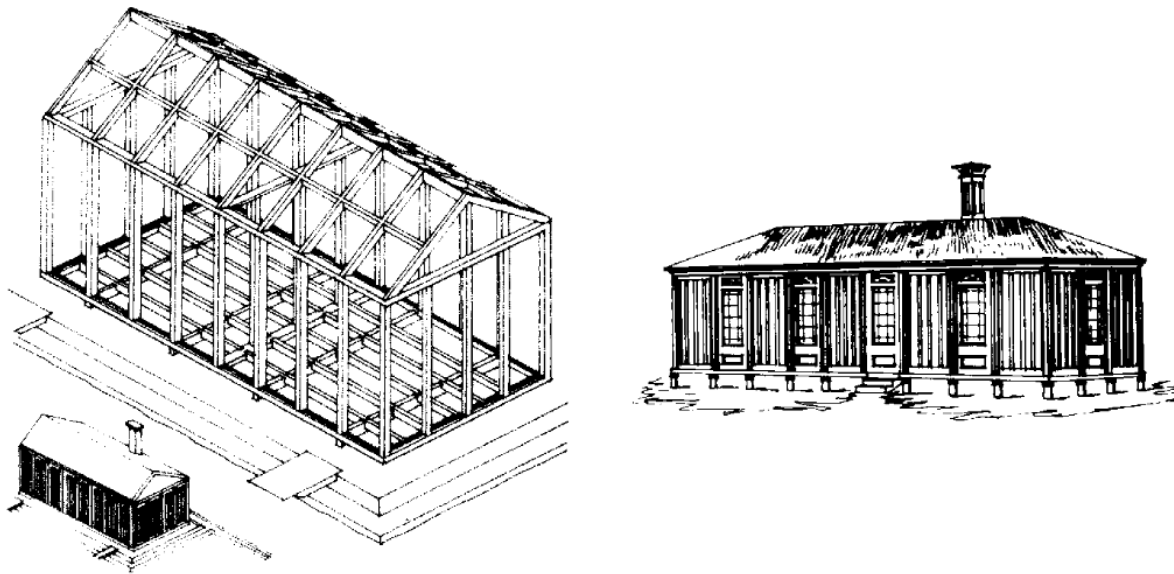
O ferro corrugado surge em meados de 1800 e fornece um material de construção rápida, acessível economicamente e estruturalmente eficiente para utilização em telhados e vedações verticais. Em 1832, o potencial do potencial do ferro corrugado para edifícios portáteis destinados à exportação foi explorado e em meados do século XIX foi empregado na Corrida do Ouro dos Estados Unidos. A folha de ferro ondulado podia ser depositada em várias camadas durante o transporte e cortada em painéis menores que podiam ser facilmente manuseados por uma pessoa e fixados no local da obra.

Em 1833, um chalé portátil, projetado pelo carpinteiro e construtor H. John Manning para seu filho que imigrava da Grã-Bretanha para a colônia australiana, ganha destaque e mais tarde ficou conhecida como *Manning Portable Colonial Cottage*. O sistema fora projetado para ser facilmente enviado e montado, contribuindo para a criação de assentamentos no período colonial ao longo do século XIX. Supõe-se que as práticas relacionadas ao uso britânico na construção de madeira foram a origem do sistema *balloon frame*²⁰ nos Estados Unidos. O sistema *balloon frame* leva esse nome devido à aparência “etérea” da estrutura de madeira leve, constitui-se numa revolução na construção e no uso da madeira graças ao progresso nas técnicas de serraria que nesse período passaram a dispor de um nível de precisão nos tamanhos das seções das madeiras. Augustine Taylor é frequentemente creditado com a invenção do *ballon frame* devido sua implantação na construção da Igreja de Santa Maria, em 1833, em Fort Dearborn, perto de Chicago. O sistema tradicional de pilar e viga requer

²⁰ O sistema *balloon frame* deu origem ao atual sistema plataforma que corresponde à utilização de numerosas tiras finas de dimensões uniformes fixadas em distâncias modulares e unidas por pregos.

madeiras pesadas e de grande seção, aliado à considerável habilidade de carpintaria no tratamento da madeira. Com o sistema *balloon* eram requeridas apenas habilidades elementares para fixar as peças leves de madeiras de dimensões padronizadas com pregos. Este sistema versátil e simples tornou-se a maneira de se fazer casas na América do Norte.

Figura 13: Manning Portable Colonial Cottage



Fonte: Herbert, 1978

A Primeira Exposição Universal de 1851, na Inglaterra, foi um marco importante na história da arquitetura. O Crystal Palace, como foi chamada a sede da exposição projetada pelo arquiteto autodidata e naturalista Joseph Praxton, foi construído rapidamente graças ao uso inovador de sistemas pré-fabricados metálicos e aos princípios aplicados de modulação e padronização, tendo em vista a economia de custos e a eficácia na montagem e desmontagem do enorme edifício.

No final do século XIX diversas empresas americanas se beneficiaram do sistema de madeira pré-cortada e painéis leves, e nesse período surge o sistema de vendas por correio através de catálogos. A primeira empresa a oferecer uma linha de casas pré-fabricadas e permanecer no negócio, foi a Hodgson Company, cujo catálogo data de 1894. A maioria destes edifícios era essencialmente um conjunto partes, e eram amplamente conhecidos como "casas portáteis". Este foi o início do boom dos produtores pré-fabricados e de kits de construção norte-americanas (VACAREZZA *et al.* 2012)

2.2.3 Primeira metade do século XX

Embora os primeiros traços da pré-fabricação sejam oriundos do início do século XVII, foi a partir do século XX que a ideia teve maior expressão, graças à influência da revolução industrial e à necessidade global de reconstruir as cidades durante e após as Grandes Guerras.

O programa habitacional do pós-guerra no Reino Unido colaborou com o surgimento das cabanas Nissen, em 1917, criada pelo capitão engenheiro canadiano Peter Norman Nissen. Baseava-se numa estrutura pré-fabricada semi cilíndrica de aço corrugado. A partir do conceito original de Nissen foi desenvolvida sua equivalência norte-americana durante a Segunda Guerra Mundial, a *Quonset hut* de 1944. Os dois exemplos forneceram abrigo necessário durante e depois dos períodos de guerra.

Figura 14: Tropas britânicas erguendo cabanas de Nissen



Fonte: Imperial War Museum

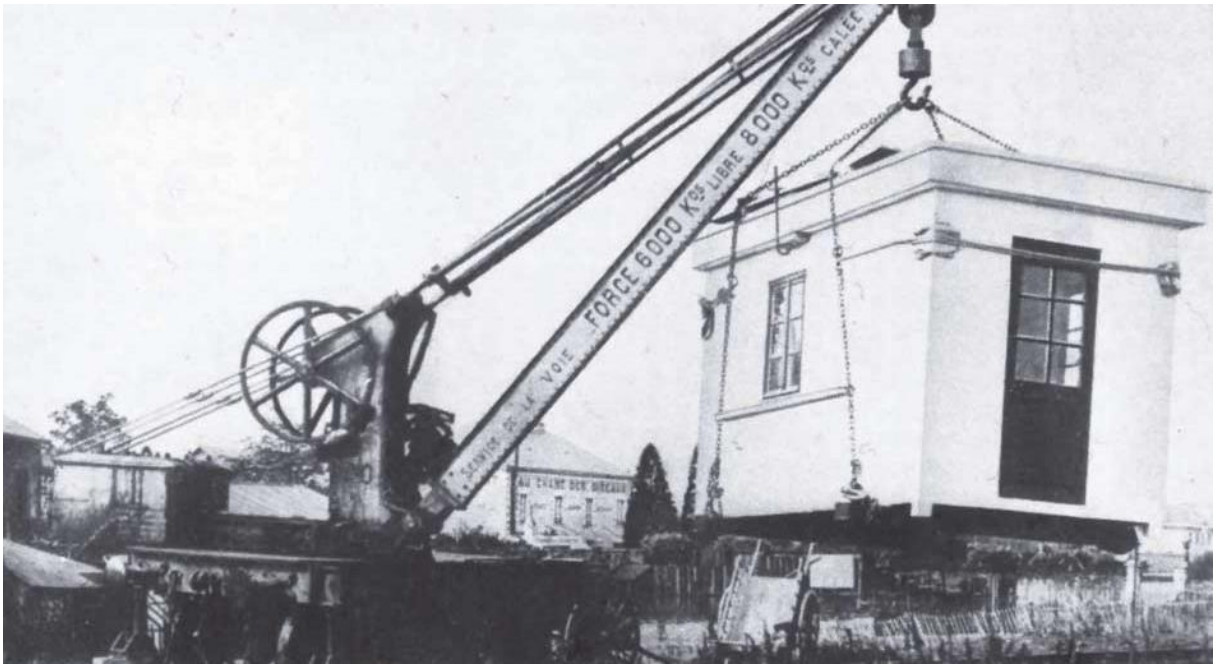
A expansão territorial dos Estados Unidos e a conclusão das estradas de ferro americanas proporcionam a prática das “casas de catálogo” e as “casas portáteis” encomendadas por correio. Uma grande fornecedora das casas de catálogo foi a *Aladdin Company*, fundada em 1906 como *North American Construction Company*, por dois irmãos. A empresa operou durante anos apenas como operador de venda por correspondência devido ao fato da empresa

não dispor de madeiras ou estoque fora da sua área de influência imediata. Em 1916 a empresa passa a se chamar *Aladdin Company*, após o início de uma sociedade empresarial com uma grande madeira e daí a companhia passa a emitir sua própria linha de edifícios por catálogo. Neste mesmo período, em 1910, a *Sears Roebuck* teve um grande sucesso e foi talvez um dos melhores exemplos de vendas de casas por catálogo nos Estados Unidos graças a sua capacidade de oferecer uma variedade de opções de habitações e financiamento. A *Sears* aproveitou as ideias da *Aladdin* e criou um forte modelo de negócios apoiado pelo capital de varejo nacional e experiência em remessa de pedidos pelo correio (SMITH, 2010). Tanto a *Sears* quanto a *Aladdin* tiveram seu auge no início do século, porém, chegaram ao seu declínio com a grande crise de 1929.

Ao contrário do estilo e materiais adotados pelas empresas *Aladdin* e *Sears*, que de certa forma imitavam a estética das casas tradicionais americanas, a *General Houses*, criada por Howar T. Fisher em 1932, tinha a intenção de refletir a maneira como as casas eram produzidas por meio da pré-fabricação. A maior conquista tecnológica de Fisher foi o desenvolvimento de um sistema de parede de painel-sanduiche de metal que usava tecnologias similares da indústria de aviões desenvolvidas durante a guerra. As inovações da *General Houses* forneceram um novo capítulo no pensamento pré-fabricado: uma casa pode ser feita na fábrica e externamente montada a partir de componentes fornecidos por diferentes empresas, da mesma forma que um automóvel da época era produzido.

Apesar do sucesso no início do século das casas portáteis vendidas por catálogos, os exemplos de construções que utilizavam o módulo tridimensional como sistema ainda eram raros e embrionários. Em 1896, François Hennebique desenvolveu o que seria o primeiro experimento nesse campo: uma cabine de concreto para implantação nas ferrovias francesas. A França também foi o palco do impulso à pré-fabricação e no início do século XX com o final da guerra, quando passou a utilizar o parque industrial (agora em ociosidade) para suprir a carência pela construção de novas habitações. Destaca-se o protótipo *Maison Voisin* apresentado por Gabriel Voisin em 1919. Voisin forneceu aviões durante a Primeira Guerra Mundial e quando esta acabou diversificou seus negócios utilizando sua fábrica de automóveis para construir casas modulares e pré-fabricadas, sendo um dos pioneiros no segmento. Apesar de ter sido um fracasso comercial devido à forte oposição dos sindicatos de construção franceses, os protótipos mostraram todas as características da atual arquitetura modular tridimensional. (VACAREZZA *et al.* 2012)

Figura 15: Módulos de concreto pré-fabricados. Projeto de F. Hennebique



Fonte: Huberti, 1964, p. 121

Figura 16: Protótipo final da Maison Voisin



Fonte: Vacarezza et al, 2012, p. 3

Na década de 1920, Le Corbusier iniciou suas pesquisas sobre a célula residencial a ser produzida em massa. Em um artigo para a revista “*L'Esprit Nouveau No. 2*”, de 1920, o arquiteto suíço introduz o conceito revolucionário da “máquina de morar” e argumenta sobre a produção industrial de moradias. Com base nessas teorias, ele concebe o projeto

denominado *Maison Citrohan*, protótipo de uma tipologia habitacional resultado da integração entre o conceito de habitação mínima e dos automóveis.

Diversos experimentos e protótipos foram concebidos nesse período. O arquiteto Buckminster Fuller foi uma das figuras célebres no desenvolvimento de habitações pré-fabricadas transportáveis. No ano de 1928, Fuller desenvolve seu projeto *Dymaxion House* que consistia em uma planta hexagonal e materiais leves para facilidade de transporte. O conceito desse primeiro protótipo é desenvolvido em outra obra icônica do autor, a *Wichita House*, de 1944-1946, que nunca foi colocada em produção industrial, devido à preocupação detalhista do autor com o projeto e pela carência de meios financeiros. Em 1942, uma colaboração entre Gropius e Konrad Wachsmann dá origem ao projeto *Packaged House System*. O sistema patenteado consistia em uma estrutura modular tridimensional em madeira na qual os elementos eram ligados por meio de ganchos. Outros grandes nomes como Le Corbusier, Frank Lloyd Wright, George Keck, Jean Prouvé, Charles e Ray Eames, habitam a cronologia da arquitetura e do edifício pré-fabricado.

Figura 17: Protótipo Dymaxion / Wichita que usa estrutura e revestimento de alumínio



Fonte: Smith, 2010, p. 33

Na primeira metade do século já é possível constatar o fascínio dos profissionais na área da arquitetura e construção quanto à produção de moradias pré-fabricadas enquanto princípio de instrumento no equacionamento da moradia. Suas preocupações projetuais baseavam-se na

redução do custo, além de uma melhoria da qualidade e agilidade de execução das construções através da industrialização, tentando substituir sempre que fosse possível a imprevisibilidade da mão de obra artesanal. Porém, as casas pré-fabricadas que a história da arquitetura convencional escolheu para canonizar e celebrar, principalmente porque foram projetadas por arquitetos renomados e autores de grandes projetos, não passaram de protótipos arquitetônicos que, além de únicos, nunca foram produzidos em massa.

2.2.4 Segunda metade do século XX

Em 1946, o governo federal dos EUA aprovou o Ato de Habitação de Emergência para Veteranos (*Veterans Emergency Housing Act - VEHA*), emitindo a ordem de produção de 850 mil casas pré-fabricadas em menos de dois anos, o que provocou inúmeros esforços no projeto de habitação pós-guerra. *Levitt & Sons* foi uma empresa de desenvolvimento imobiliário fundada por Abraham Levitt e mais tarde gerida por seu filho William Levitt. William usa dos princípios de produção e linha de montagem semelhante à indústria automobilística e organizou sua linha de montagem em 27 etapas com trabalhadores treinados para executar cada etapa. Uma casa podia ser construída em até um dia, o que permitiu a produção rápida e econômica de casas semelhantes ou idênticas. Em 1947 o primeiro – nome dado aos conjuntos habitacionais suburbanos – é desenvolvido em Nova York e em 1952 o segundo projeto é inaugurado na Pensilvânia.

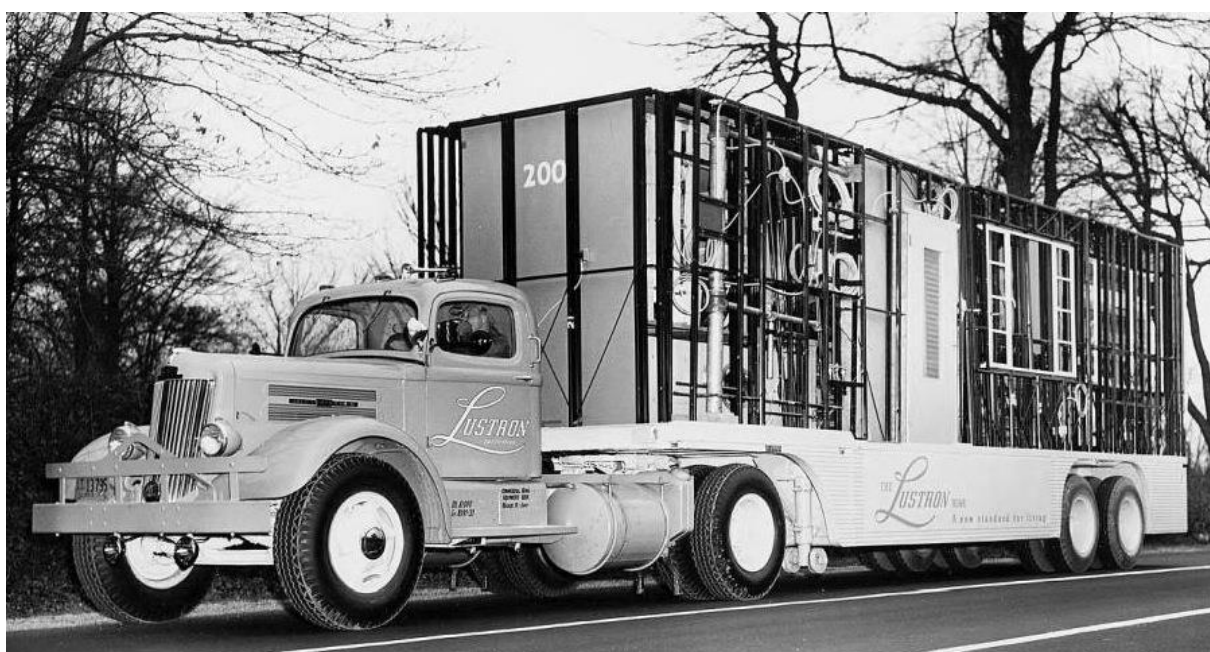
Figura 18: Trabalhadores posando ao lado de materiais e móveis necessários para a construção de uma casa em Levittown, em junho de 1948 Nova York



Fonte: Universidade de Illinois / Chicago

A *Lustron Corporation* foi outra empresa que aproveitou dos créditos cedidos pelo governo e em 1947 a empresa é fundada por Carl Strandlund tendo como base uma antiga fábrica de aviões americana que ficara vaga e em desuso depois da guerra. A partir de 1948, as casas *Lustron*, que eram compreendidas por um kit de peças de elementos inteiramente feitos em aço, entraram no mercado imobiliário. Depois de 2.500 unidades terem sido construídas, a empresa fechou em 1950. Além do método de produção ser problemático, tanto a estética fria e falta de isolamento térmico conduziram a empresa ao declínio.

Figura 19: Kit *Lustron* sendo transportado por caminhão



Fonte: nmodernist.org

Durante os anos 20 aos 50 as casas móveis americanas ou *trailers* eram amplamente utilizadas de forma habitacional. Como habitação temporária, as *caravans*²¹ cedo se destacaram como uma das melhores opções. Porém, quando é referida como habitação permanente é necessário frisar que existem limitações bem delineadas. Normalmente o espaço é exíguo e o modo como é aproveitado ainda pior, utilizando, em muitos casos, adições externas como forma de aumentar o espaço utilizável (Gonçalves, 2009). Em 1954 o modelo “*mobile home*”, que foi sucessor dos trailers, era amplamente utilizado em território americano. Este modelo era produzido em fábrica e ainda mantinha suas rodas, tornando-as capazes de se autotransportar, mas na maioria dos casos nunca eram movidas. Em 1968, as casas móveis respondiam por um

²¹ *Caravan* é um tipo de veículo de reboque fechado ou habitação sobre rodas não acoplada à carroceria do veículo, que inclui nele um mobiliário básico em seu interior para habitação.

quarto de todas as moradias unifamiliares nos Estados Unidos. (Smith, 2010)

Em 1979, o código H.U.D. (Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos EUA) finalmente separaria o "*Mobile Home*" do "*Modular Home*", mudando seu nome de "*Mobile*" para "*Manufactured Homes*".

Outro programa que contribuiu para o avanço da pré-fabricação nos Estados Unidos foi o programa pós-guerra *Tennessee Valley Authority* (TVA) criado em 1933 para proporcionar o crescimento e desenvolvimento econômico para o Vale do Tennessee, afetado pela Grande Depressão de 29. A criação da hidrelétrica de Roosevelt em 1944, incentivada pelo programa, acarretou na criação de assentamentos e vilas de trabalhadores que, por sua vez, beneficiaram-se da pré-fabricação para criação de habitações.

Ainda que nenhum projeto tenha sido efetivamente construído, as criações do grupo de arquitetos ingleses *Archigram* eram altamente industrializadas e provocaram discussões e teorias sobre o futuro da arquitetura. Ao final dos anos 1960 nota-se uma influência do grupo sobre as correntes arquitetônicas subsequentes.

O arquiteto Moshie Safdie projetou para a exposição *World Expo* de 1967, 158 casas que foram construídas a partir de 354 unidades modulares. Havia 18 tipos de módulos em concreto pré-moldado que foram empilhados um sobre o outro, formando vazios, jardins e decks ao ar livre. O trabalho no local de implantação exigia grandes guindastes e trabalho intensivo para unir os módulos, o que tornou o empreendimento economicamente inviável e falho.

Paul Rudolph, arquiteto norte-americano, afirmou que as escolhas materiais de Safdie eram o problema devido à dificuldade de fabricação e montagem dos módulos. Rudolph realizou um projeto habitacional modular em um empreendimento denominado *Oriental Masonic Gardens* em Connecticut, EUA, em 1971. O projeto utilizou a base da casa móvel como premissa e sofria de grande monotonia devido às escolhas de materiais de revestimento e dimensões repetidas em massa. (SMITH, 2010)

Figura 20: Construção Habitat 76 de Moshie Safdie



Fonte: Morah, Nkem. (2019). Humanising Mega-scale Habitat 67.

A construção industrializada em direção a construção que utiliza do módulo tridimensional é influenciada de modo diferente nos distintos países. Dessa forma, a pré-fabricação japonesa surge como resposta à crise habitacional da Segunda Guerra Mundial e encontra fortes raízes na história e cultura do país. Em 1945, no final da guerra, as cidades estavam em ruínas e a economia se encontrava instável, além disso, a escassez de materiais, fornecedores e mão de obra agravava ainda mais o quadro da construção civil.

A *Daiwa House* foi fundada nos primeiros anos pós-guerra e começou a produzir habitações pré-fabricadas em 1955, a *PanaHome* surge em 1959, *Sekisui House* em 1960, e em 1962 a *Misawa Homes* entra no mercado. Os fabricantes de casas industrializadas no Japão utilizaram

de alguma forma as tecnologias e processos de outras indústrias, que não a da construção, para produção de moradias em cadeias automatizadas e robóticas.

Figura 21: Linha de produção *Skisui Heim*

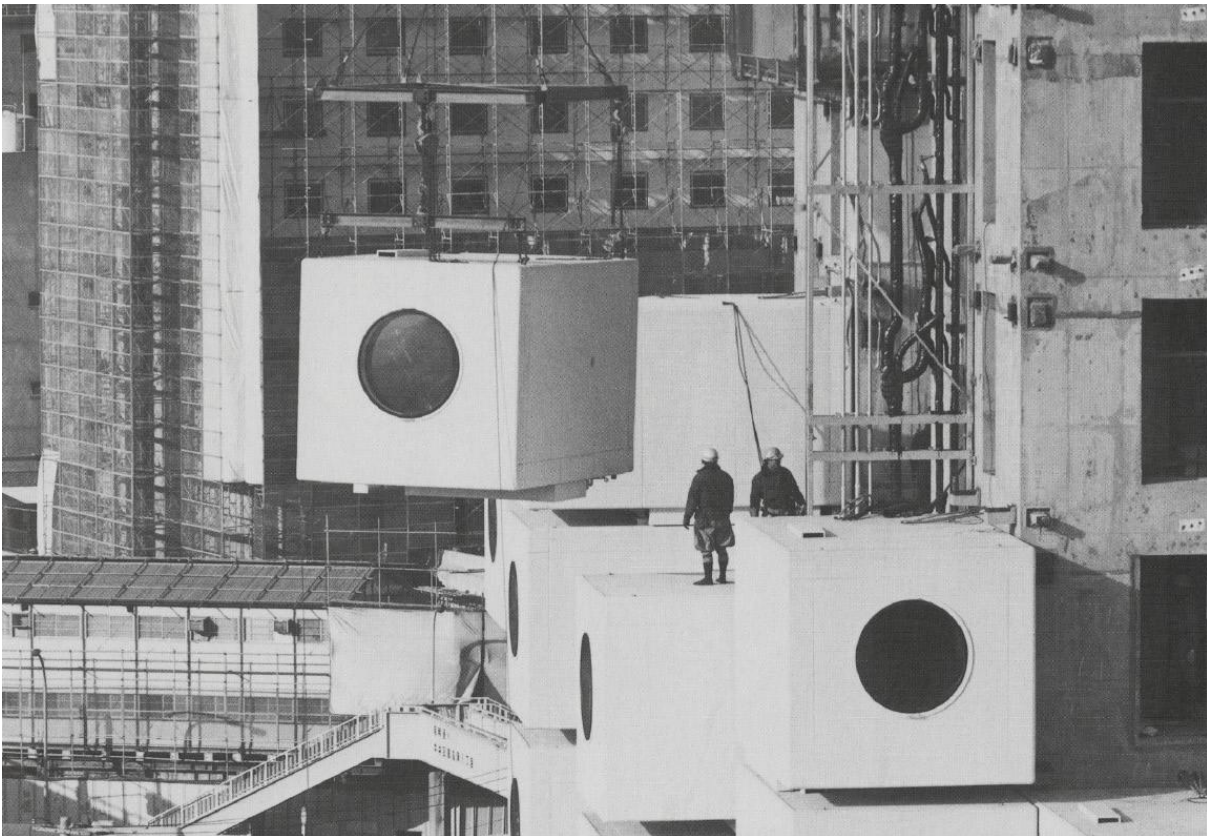


Fonte: Sekisui Chemical CO. Ltd

O governo japonês tem importante papel na história da pré-fabricação, pois promoveu melhorias e incentivos na indústria criando ministérios e associações com a finalidade de desenvolver e disseminar a construção industrializada. O subsídio e incentivo às empresas, aliado ao impulso do consumo, incentivado pelo governo com as taxas de empréstimos, elevaram a aquisição de moradias fabricadas a uma escala expressiva. As vendas cresceram dez vezes em três anos, de 5.000 unidades em 1962 para 50.530 em 1965. Isso não parou com essa expansão inicial e surpreendente; em 1970, 137.300 casas pré-fabricadas foram vendidas no Japão – quase um décimo das habitações iniciadas naquele ano. Em 1972 surge uma entidade corporativa separada da *Sekisui House, a Heim Manufacturing Co.* (atualmente *Tokyo Sekisui Heim*) e inicia a produção de unidades de habitação. A fabricante de automóveis *Toyota Motors* entra no mercado imobiliário em 1975 e baseia sua produção em estratégias adotadas da indústria automotiva.

Um exemplo do Metabolismo Japonês²² é o projeto *Nakagin Capsule Tower*, de Kurokawa (1972), foi originalmente projetado como um hotel para trabalhadores noturnos incapazes de ir para casa depois do trabalho e baseia-se no uso de módulos (cápsulas) que poderiam ser extraídas e conectadas quando precisassem ser atualizadas ou substituídas. As cápsulas foram completamente fabricadas em uma indústria e, ironicamente, a distribuição original nunca foi alterada.

Figura 22: Nakagin Capsule Tower por Kisho Kurokawa, Tokyo, 1968.



Fonte: Scale Modular Apartment Building

A indústria sueca de habitação industrializada teve um grande desenvolvimento desde meados da década de 1960. Um objetivo nacional de construir um milhão de casas em uma década havia sido estabelecido e, para atingir esse objetivo, a indústria nacional de construção de moradias foi reorientada em torno da produção industrial. A casa pré-fabricada *Kubeflex* é um exemplo de um protótipo de casa de verão desenvolvido por Arne Jacobsen em cooperação

²² Movimento arquitetônico da década de 60 que defendia a construção de estruturas pré-fabricadas de montagem rápida que seriam presas a estruturas fixas consoante as necessidades verificadas, podendo assim cada indivíduo criar a sua própria habitação de acordo com o seu gosto e capacidades económicas, reproduzindo de certo modo a estrutura de uma árvore que podia estender em todas as direções. Era uma analogia à vida urbana, um reflexo da sociedade moderna sempre em constante movimento e metamorfose, a cidade era um organismo vivo. (MARTINS, 2013)

com Hom Typehuse entre 1969-1970 na Dinamarca. Foi formada por unidades modulares agrupáveis que podem ser adicionadas em todas as quatro direções.

Figura 23: Casa levada por Arne Jacobsen para o terreno na praia de Vordingborg - Dinamarca



Fonte: David Martínez. (2013). Kubeflex Distribuciones agregativas Arne Jacobsen 1969

Fundada em 1943, a empresa sueca *Ikea* é líder mundial de comércio de mobiliário doméstico. Sua trajetória na construção civil iniciou-se em 1996, num estudo de desenvolvimento habitacional que evoluiu para 1997 com a realização do sistema batizado de “*Boklok*”, um sistema em pré-fabricado de madeira para habitações, em colaboração com a empresa de construção sueca *Skanska*²³. O projeto nasceu em resposta à necessidade de aquisição de residências na Suécia a um preço acessível já que o mercado não oferecia residências com funcionalidade de design e um custo competitivo, como eram os produtos ofertados pela *Ikea*. A junção dessas duas empresas leva um conceito estratégico e se fortalece na aplicação do *know how* de cada empresa. A posição da *Skanska* no setor de construção deu credibilidade e segurança para os futuros compradores. Já o marketing, design aplicado e a

²³ A construtora *Skanska* foi fundada em 1887 e ao longo de todos os anos desempenhou um papel importante na construção de necessidades privadas e públicas, como estradas, apartamentos e usinas elétricas, especialmente na Suécia.

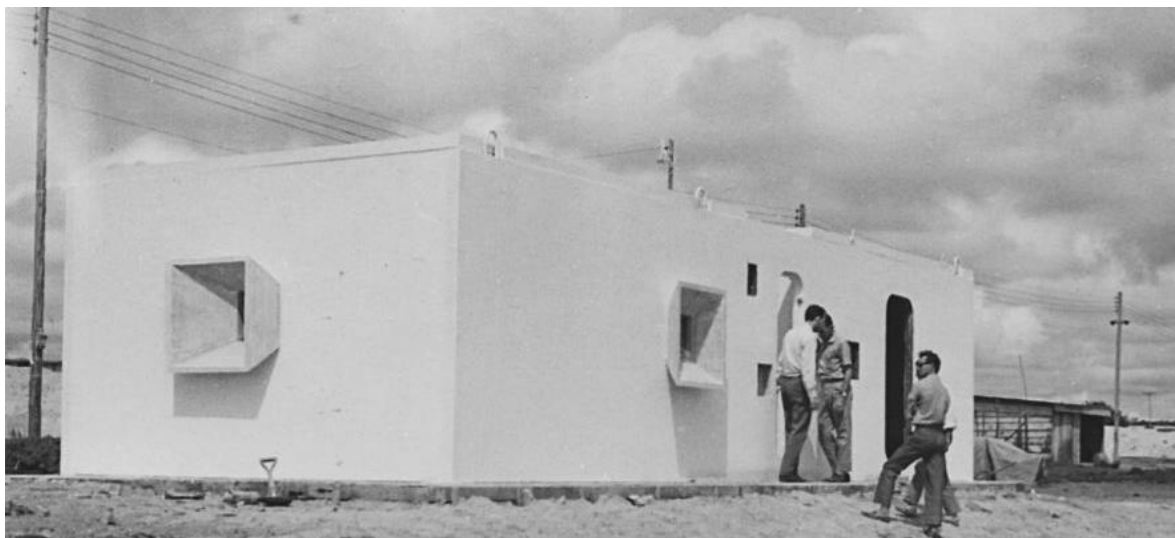
aproximação com o cliente tornou a marca ainda mais forte. A colaboração de duas importantes empresas suecas levou a um conceito de habitação pré-fabricada que consegue fornecer uma moradia de pequena escala e com qualidade e com preços competitivos. O processo de fabricação corresponde a 80% da construção e se torna possível graças às condições controladas de um ambiente fabril visto a dificuldade de construção externa nos países nórdicos.

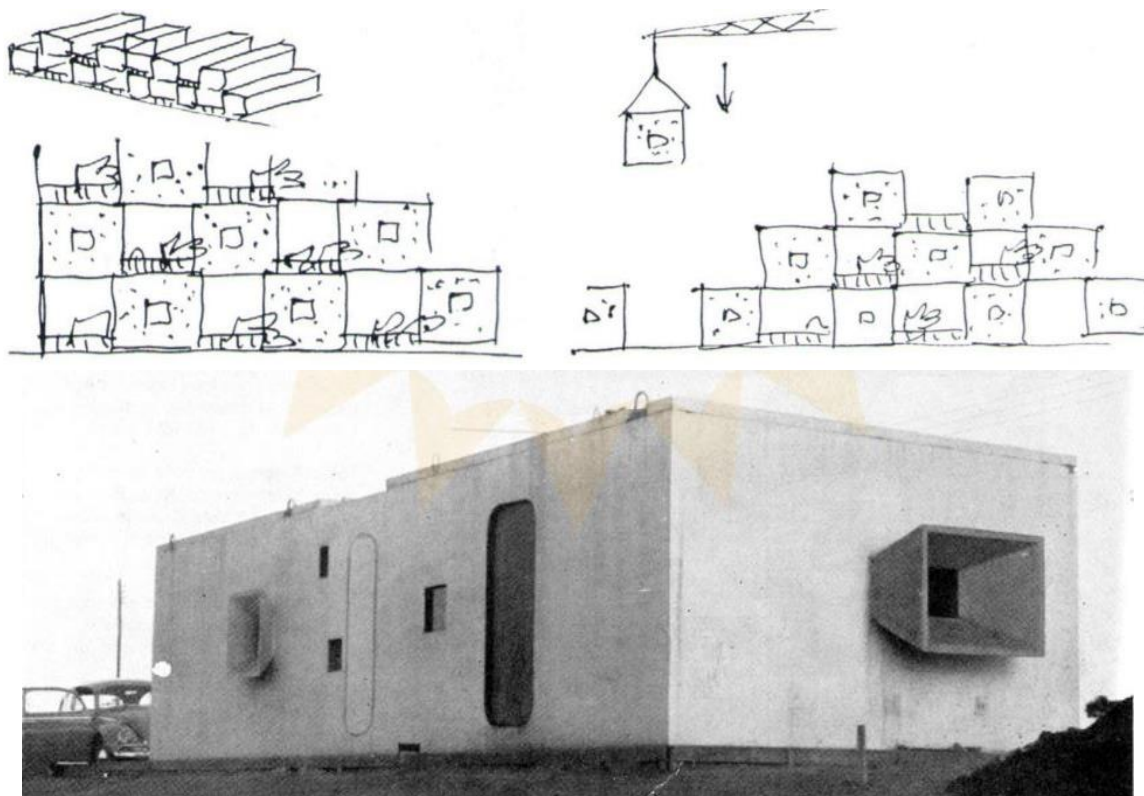
O objetivo da *Boklok* é desenvolver casas funcionais com um apelo estético escandinavo a um preço razoável. O negócio é 100% gerenciado pela *Skanska* e atua como uma unidade especial dentro da empresa. Já a gestão é dividida entre as duas empresas. A indústria *Boklok* segue também os mesmos conceitos de construção enxuta das suas concorrentes japonesas.

2.2.5 O início do M3D no Brasil

No início do século XIX, a Revolução Industrial, que eclodiu na Europa no século anterior, começava a repercutir no Brasil e conduzia o pensamento dos arquitetos, engenheiros e construtores para a racionalização industrial. Conforme Vilela (2018) foi na década de 1960, em Brasília, mais especificamente na UnB (Universidade de Brasília), que a pré-fabricação / pré-moldagem teve seu início no Brasil. Com o objetivo de enfrentar, em grande escala o problema habitacional da capital federal, o arquiteto Oscar Niemeyer lidera uma série de projetos tendo como assessor técnico João Filgueiras Lima (Lelé) e em 1962 projetam uma unidade empilhável de habitação, utilizando do sistema de módulo tridimensional.

Figura 24: Protótipo para habitação, Oscar Niemeyer, 1962. Esquema de montagem.





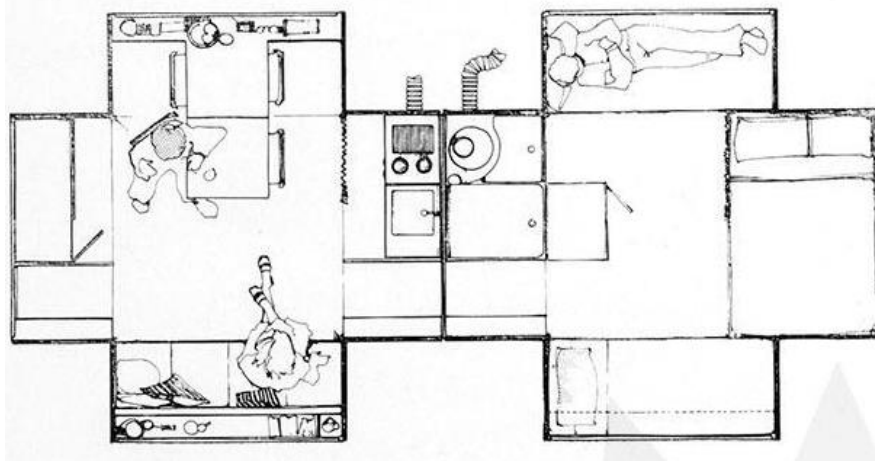
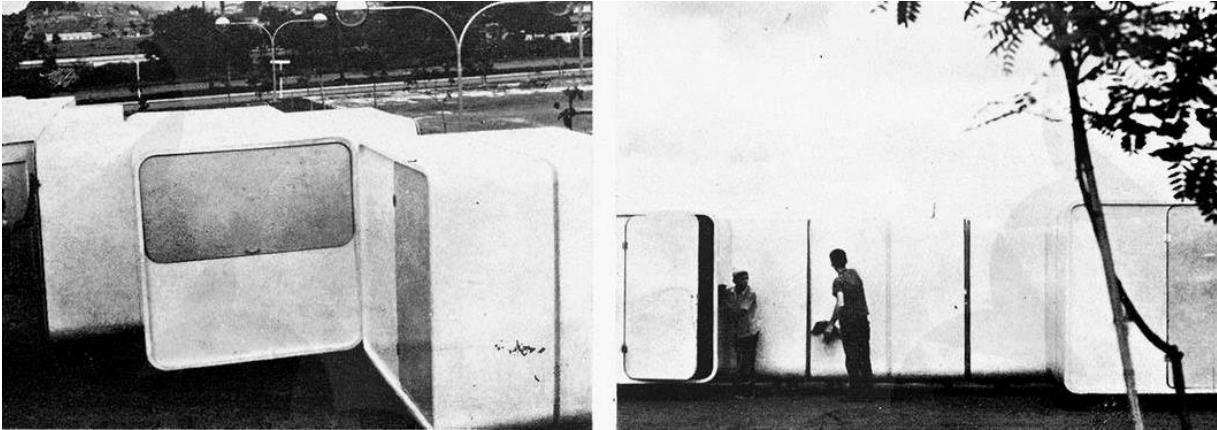
Fonte: Acrópole nº 369/370 (1970), p. 29

O módulo de concreto poderia distribuir-se horizontalmente, formando habitações individuais, ou como estrutura coletiva, através da sobreposição dos módulos em até quatro pavimentos. A realização do conjunto estava atrelada à construção de uma usina de pré-moldados, nunca executada o que tornou a conclusão do projeto inviável. O peso excessivo da unidade de 45 m² e 42 toneladas também demandava um complexo plano de transporte, que por sua vez contribuiu para inviabilização da produção em massa naquele momento. O fracasso do projeto levou o arquiteto Lelé a entender a equação crucial a ser resolvida como pré-requisito para um sistema pré-fabricado viável, baseado na equação de dois termos: peso do componente/transporte. Outro fator crucial para o fracasso das experiências com a pré-fabricação realizados pelos arquitetos da UNB foi a interrupção dos projetos pela ditadura militar. Em 1964 a universidade foi invadida pelas tropas da Polícia Militar seguido de um pedido de demissão em massa de 223 professores no ano seguinte.

Em 1971, o escritório de arquitetura Cauduro/Martino desenvolve uma proposta de sistema componível que permite a montagem de diversos módulos executados em fibra de vidro (*fiberglass*) capazes de diversas combinações e adições. O projeto tinha como base o raciocínio seriado e o sistema poderia ser empregado em variados usos como equipamentos

públicos e habitações. Os módulos possuíam área mínima disponível de 11 m² em um único elemento de quatro aberturas. (CAUDURO/MARTINO ARQUITETOS, 1971, p. 34)

Figura 25: Aplicação dos módulos de Cauduro/Martino para habitação.



Fonte: Acrópole nº 390 (1971), p. 35

Conforme Azul (2018) nos anos 60 a arquitetura civil brasileira estava sendo discutida e influenciada por fortes questões políticas e ideológicas. Devido à economia de material e aumento da produtividade, alguns profissionais incentivam o uso da pré-fabricação. Por outro lado, outros acreditam que as técnicas de construção manual deveriam continuar a ser amplamente utilizadas para absorver mão de obra não qualificada nos canteiros de obras.

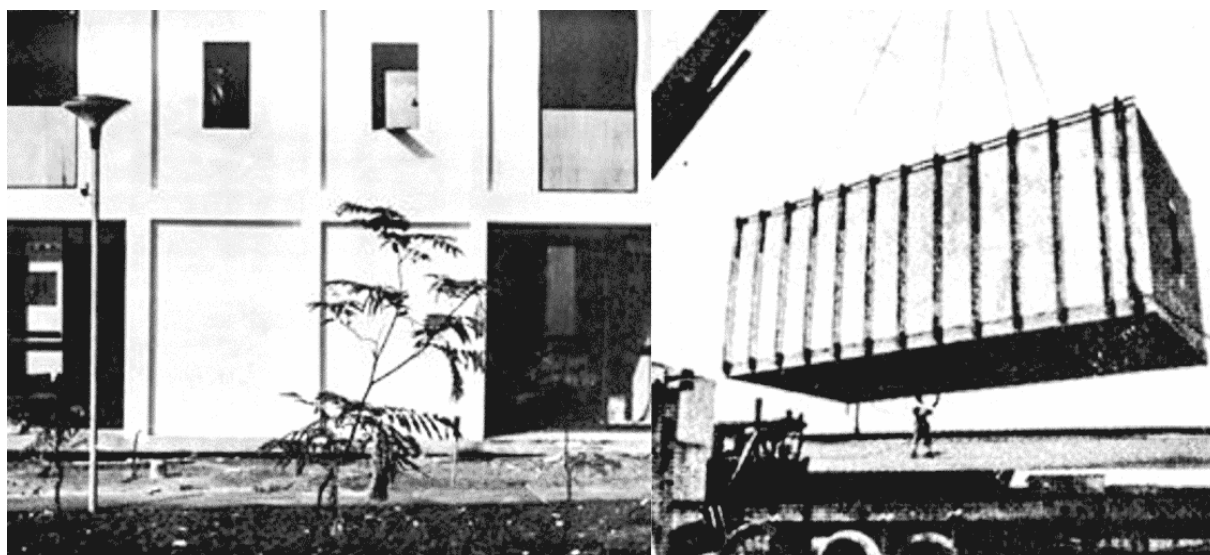
Em 1966, foi criado o Banco Nacional de Habitação (BNH) com a finalidade de financiar e produzir empreendimentos imobiliários e neste período, o BNH com o objetivo de promover emprego em abundância nos canteiros e o uso intensivo de mão de obra, adotou uma política de não industrialização dos processos de construção e desestimulou a pré-fabricação. A partir da segunda metade dos anos 70, a empresa pública brasileira muda sua postura a respeito da

manutenção da construção convencional, passando então a estimular a introdução de novas tecnologias. De acordo com Koury (2005), a maior experimentação orientada pelo sistema de política do BNH foi no campo de sistemas construtivos alternativos que pudessem baratear o custo de produção, onde foram priorizadas as experiências em pré-fabricados leves, que não necessitam de grandes investimentos em equipamentos de montagem e transporte.

No final da década (1978), o uso dos módulos tridimensionais é identificado nos canteiros experimentais da Narandiba, na Bahia. Um dos sistemas pré-fabricados utilizados nos canteiros da construtora Alfredo Mathias baseava-se em módulos (cápsulas) constituídos de piso, parede, teto e com todas as instalações já incorporadas (e.g. instalação elétrica, hidráulica, sanitária, bancadas, aparelhos sanitários, divisões).

A construtora utilizou-se do *know-how* do sistema construtivo desenvolvido em Porto Rico, em que a estrutura da cápsula baseia-se no efeito de pórtico logrado pela rigidez das ligações entre paredes, piso e teto. Cada cápsula tem 2,5 m de largura e 7 m de comprimento e 2,5 m de pé-direito, pesando aproximadamente 7 toneladas.

Figura 26: Modelo com dois pavimentos e vista do protótipo sendo transportado no canteiro experimental de Narandiba / Bahia. Obra executada pela construtora Alfredo Mathias.



Fonte: THABA / CEPED. 1978

2.2.6 Considerações Parciais

Ainda que a utilização desse sistema construtivo em território nacional não seja relativamente

nova, os célebres protótipos tiveram um impacto mínimo na construção contemporânea. Até onde foi possível investigar dentro dos limites dessa dissertação, a literatura científica nacional carece de um registro mais sistemático das experiências do uso do M3D no Brasil. Os projetos destinados ao campus da UnB e a produção do BNH possuem fortes semelhanças com a produção arquitetônica internacional, mostrando afinidades teóricas e projetuais da época, e são uns dos principais exemplos desta forma de construção e técnica pré-fabricada durante este período no Brasil. Contudo, as experiências internacionais aqui relatadas oferecem possibilidades de compreensão das questões relacionadas à pré-fabricação da construção.

No contexto mundial, a história da pré-fabricação na arquitetura e do uso do sistema M3D é repleta de fracassos e poucos sucessos. Grandes nomes da arquitetura falharam em oferecer produtos ou soluções que fossem competitivas e viáveis quando inseridas a um processo de produção industrial. Como falha é possível citar o uso de sistemas exclusivos e patenteados que não favorecem a evolução do sistema construtivo e que coloca em discussão o conceito de autoria nos projetos onde a pré-fabricação só pode prosperar em uma cultura de colaboração.

Cada país possui seu próprio contexto histórico, lógicas de mercado, regulamentações e materiais específicos para exploração. Dessa forma, o sucesso das empresas é otimizado em torno dessas características e se torna necessário entender o contexto nacional para que então nossa tecnologia seja adaptada e instruída a melhores resultados.

Outra falha ocorreu devido ao afastamento dos arquitetos da indústria. Ao longo da história, arquitetos se desafiaram a projetar para construção industrial, sem o conhecimento da tecnologia construtiva e produção, criando uma relação não integrada entre arquiteto e indústria. A arquitetura, em diversos casos explorados pela revisão histórica presente no trabalho, parte de uma visão individual ou estética do edifício sem considerar as soluções de toda uma cadeia produtiva.

De acordo com Smith (2010), o plano de negócios e a situação de implantação do sistema são essenciais ao sucesso do M3D e à pré-fabricação. Qualquer tecnologia ou produto é suscetível às falhas relacionadas ao plano de negócios, contexto histórico ou político, e economia em que será implantado. Dessa forma, cada contexto deve ser analisado para sua futura instalação.

3 MAPEANDO A INDÚSTRIA M3D NO BRASIL

Neste capítulo é apresentada uma investigação relativa ao uso do sistema de módulo tridimensional no Brasil, buscando mapear as empresas que oferecem produtos baseados neste sistema. Esta aproximação ao universo das empresas atuantes tem o objetivo de reconhecer a prática já existente desse modelo produtivo e avaliá-la quantitativa e qualitativamente segundo os parâmetros apresentados inicialmente na etapa de problematização.

Dessa maneira, este capítulo pretende apresentar as características das empresas que se relacionam com o M3D, empregando as informações geradas em tópicos:

- (1) levantamento das empresas;
- (2) localização geográfica;
- (3) data de fundação;
- (4) materiais e métodos.

3.1 LEVANTAMENTO DAS EMPRESAS

Fundamentado inicialmente na leitura do recente (2020) mapeamento brasileiro de *Construtechs e Propstechs* (startups de base tecnológica que desenvolvem soluções e que atendam problemas da cadeia de valor do mercado da construção civil) realizado pela empresa de investimentos em inovações no setor de construção e mercado imobiliário *Terracta Ventures*, e auxiliado pela leitura de diversos trabalhos acadêmicos e matérias midiáticas acerca de temas inerentes ao objeto de pesquisa, foi elaborada uma lista de empresas que representam este setor. A este conjunto de empresas acrescentaram-se outras com base na pesquisa na *Web* através de ferramentas de motor de busca *Google* e empresas indicadas em conversas com profissionais do ramo.

Foram selecionadas unicamente as empresas com atividades no setor da pré-fabricação que utilizam o sistema de módulo tridimensional como opção construtiva. Para ampliar ainda mais o recorte da pesquisa, não foram incluídas: empresas que utilizam apenas o sistema construtivo de *pods* – banheiros fabricados externamente ao canteiro de obra e posteriormente acoplados a uma estrutura; e empresas que utilizam somente containers como forma de sistema modular tridimensional.

A falta de esclarecimento por parte das empresas e a pouca informação contida nos *websites* corporativos tornaram-se um problema. A comunicação inicial nem sempre se deu por

funcionários com conhecimento técnico e sim por pessoas com inclinação para o atendimento comercial que, conseqüentemente, em contatos telefônicos deixam as informações sobre os sistemas construtivos e técnicas utilizadas na construção pouco claras.

A definição do sistema construtivo de módulo tridimensional também se tornou um contratempo no decorrer da pesquisa. Neste ponto, determinadas empresas consideraram-se “fabricantes modulares” o que engloba diversos sistemas e subsistemas. Estabeleceu-se então, uma pesquisa por contato telefônico, pelos sites e redes sociais – que se tornou uma forma efetiva de tomar contato com a produção das empresas – pois interessava compreender em qual modelo da construção modular elas se encaixavam, e também, limitar a listagem apenas àquelas que fazem o uso do M3D.

Outro problema encontrado ao longo da pesquisa foi à existência de diversas empresas embrionárias, em fase de constituição ou até mesmo lançadas como ideias utópicas, cujos projetos contidos no portfólio são projetos não construídos ou até mesmo projetos de outras empresas internacionais. A fim de não excluir as empresas fundadas recentemente e que estão em processo de crescimento, o mapeamento levou em consideração as informações fornecidas pelas empresas.

Como consequência desta seleção inicial foi obtida uma lista com 39 empresas. No entanto, nos últimos anos, 04 destas empresas, ou seja, 10,25% cessaram as funções ou encontram-se em processo de encerramento. A tabela 03 faz referências às empresas atualmente ativas e inativas. Para isso, recorreu-se ao site²⁴ da Receita Federal²⁵ que comprova a inscrição e situação cadastral das empresas. Vale ressaltar que algumas empresas mantiveram sua situação ativa, porém explorando outros negócios que não o M3D.

Esta seleção não pode de forma alguma ser suficiente como um mapeamento completo dessa nova metodologia industrial dada à inexistência de dados formais do setor e de organizações e/ou associações voltadas especialmente para esse recorte estudado.

24 Emissão de Comprovante de Inscrição e de Situação Cadastral:

https://servicos.receita.fazenda.gov.br/Servicos/cnpjreva/Cnpjreva_Solicitacao.asp?cnpj=37335678000135

25A Receita Federal, ou Secretaria Especial da Receita Federal do Brasil, é um órgão que tem como responsabilidade a administração dos tributos federais e o controle aduaneiro, além de atuar no combate à evasão fiscal, contrabando, descaminho, contrafação e tráfico de drogas, armas e animais.

Tabela 03 – Empresas nacionais ativas e inativas que oferecem o M3D

Lista de Empresas	Estado	Cidade	Ativas	Inativas
ACS Construção Modular	PE	Cabo de Santo Agostinho		x
Agisa Containners	PR	São José dos Pinhais	x	
Aratau Modular	SP	São Paulo	x	
ARN Tecnologia	MG	Mário Campos	x	
Brasil ao Cubo	SC	Tubarão	x	
CMC Módulos Construtivos	SP	Mirassol	x	
Crosslam / CG Sistemas	SP	Suzano	x	
Crupe do Brasil	ES	Serra	x	
Cubicon / Inovatec	SP	São Paulo	x	
DBN Sistemas Construtivos	RS / BA	Ivoti / Pojuca	x	
Eurobras	SP	Santo André	x	
GoClic	SC	Garopaba	x	
Grupo Cesar	GO	Aparecida de Goiânia	x	
Grupo Vendap	SP	Guarulhos	x	
Haas - Hometeka	MG	Belo Horizonte		x
Haus On	RS	Porto Alegre	x	
Hom Casas	RS	Pelotas	x	
IMECON	RS	Novo Hamburgo	x	
Lafaete	MG	Belo Horizonte	x	
Logo é logo	RS	Caxias do Sul		x
Master Módulos	MG	Nova Lima	x	
Mehta	DF	Brasília	x	
Melborne Modular	RS	Ivoti	x	
Minimod MAPA arquitetos*	RS	Porto Alegre	x	
Modularis	SP	Itupeva	x	
Módulo Sequência	SP	São Paulo	x	
Mondial Modulares	RN	São José de Mipibu	x	
Mora Modular	SP	Vargem Grande		x
MRGB Construção Modular	PR	Alm. Tamandaré	x	
NHJ do Brasil	RJ	Rio de Janeiro	x	
Ópera / SCA	RS	Bento Gonçalves	x	
Opus Modulares	MG	Nova Lima	x	
Polibox Construção Modular	SC	Guaramirim	x	
Quick House	RS	Canoas	x	
Sysbuilding / Syshaus	SP	Araçariçuama	x	
Taec Módulos	SP	Pirajuí	x	
Umbria Construção Modular	PR	Campinas	x	
Visia	RS	Ivoti	x	
Zenhouse	RS	Marau	x	

Fonte: do autor, 2020

3.2 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Através do mapeamento geográfico do cenário existente da produção de M3D, percebe-se que das 39 empresas levantadas, mais de 87% estão localizadas nas regiões sudeste e sul do Brasil. Em termos regionais, a indústria situada no sul e sudeste se desenvolveu em melhor e maior quantidade. A concentração de empresas nessas regiões vem da hipótese de que a industrialização brasileira e a expansão das empresas se iniciaram nessas áreas devido à proximidade dos centros urbanos e dos maiores mercados consumidores, impulsionados pela infraestrutura de comércio e transportes modais. Na região sul, além das políticas públicas de investimento industrial dos governos federal e estadual formuladas nas décadas de 1960 e 1970, a consolidação dos mercados regionais e a integração com mercados mais distantes promoveram o desenvolvimento da indústria de forma geral, não só a da construção civil.

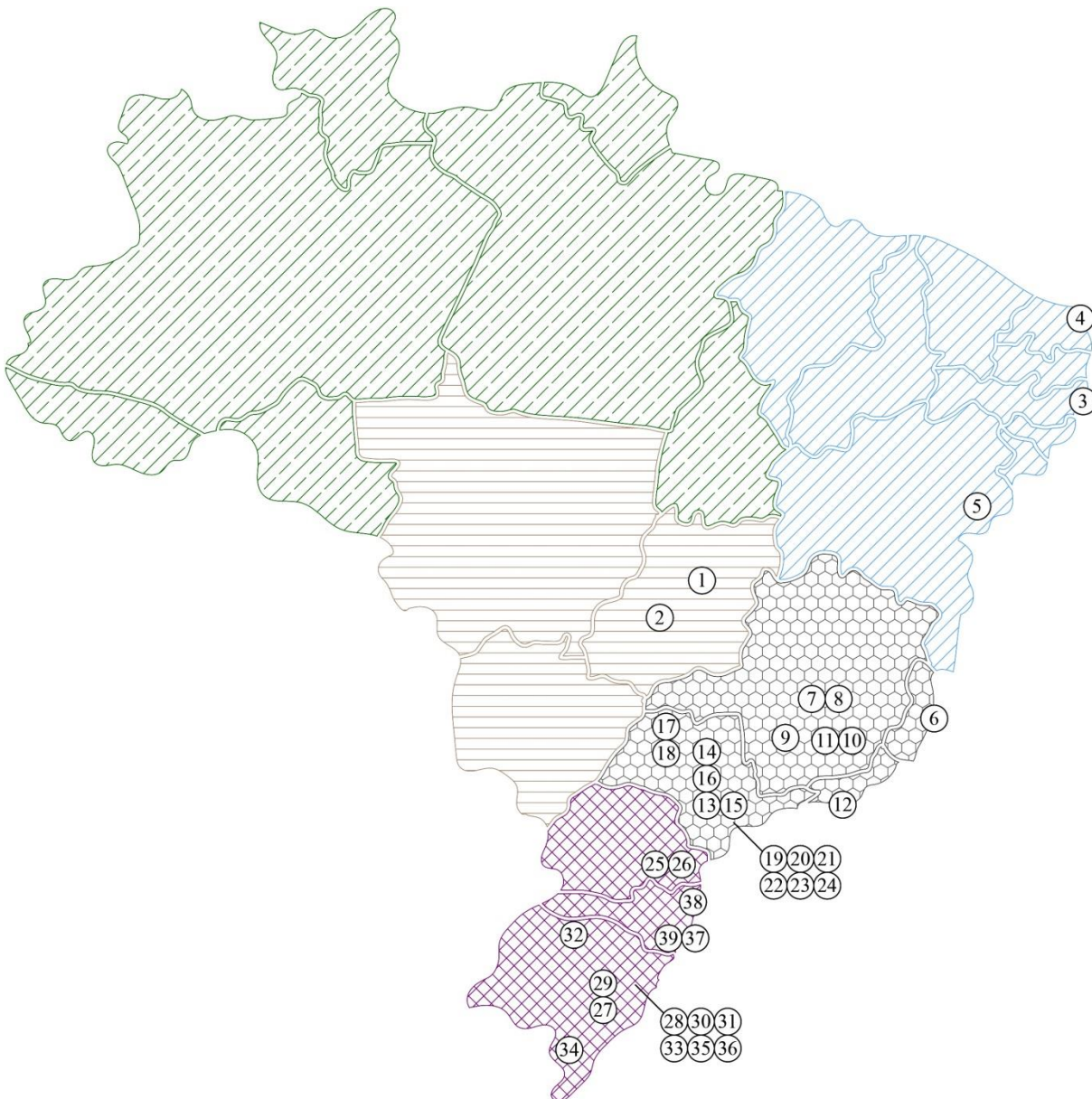
Apesar de existir em grande número na região sudeste, em especial no estado de São Paulo, as mais frutíferas experiências da indústria estão localizadas no sul do Brasil, especialmente nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. De acordo com o levantamento da pesquisa, São Paulo é a região com mais empresas sediadas (12 empresas), 30,76% do setor nacional, enquanto o estado do Rio Grande do Sul é o segundo, sediando 10 empresas, 24,64% do valor total. Embora o estado de SP possua grande quantidade de empresas, é necessário levantar o fato da existência de diversas empresas em estágio inicial de constituição ou embrionárias. Outro dado importante é em relação à experiência quanto ao uso do sistema investigado, que é declarado recente pelas diversas empresas apesar da data de fundação das mesmas.

Por outro lado, vemos um descompasso nas regiões Norte, onde não foi identificada nenhuma instituição que faça o uso da tecnologia, e Nordeste, onde a pesquisa identificou apenas 03 empresas no estado da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte. No Centro-Oeste, por sua vez, apurou-se a existência de 02 empresas, uma no estado de Goiás e outra no Distrito Federal. Dos 21 estados brasileiros, apenas 11 têm pelo menos uma empresa no segmento de construção por M3D, demonstrando a distribuição desequilibrada do mercado no país.

A logística de transportes é um desafio para a construção modular no Brasil por ser um país com dimensões continentais e pelo fato do transporte rodoviário ainda ser o meio responsável pela maior parte do fluxo de bens. Conseqüentemente, algumas organizações contam com filiais estratégicas para estabelecer maior área de influência e fornecimento.

A Figura 27 exibe a distribuição espacial das empresas levantadas pelo estudo de acordo com os limites das regiões nacionais diferenciadas por cor e preenchimento. As cores utilizadas no mapa e a numeração das empresas fazem referência aos dados da Tabela 04 para que as informações possam ser visualizadas tanto por meio da representação de mapeamento gráfico quanto pela tabela que define sua distribuição espacial por estado e cidade.

Figura 27: Localização geográfica das empresas levantadas



Fonte: do autor

Tabela 04 – Empresas nacionais que oferecem o M3D e sua distribuição espacial

N	Lista de Empresas	Região	Estado	Cidade
1	Mehta	Centro - Oeste	DF	Brasília
2	Grupo Cesar	Centro - Oeste	GO	Aparecida de Goiânia
3	ACS Construção Modular	Nordeste	PE	Cabo de Santo Agostinho
4	Mondial Modulares	Nordeste	RN	São José de Mipibu
5	DBN Sistemas Construtivos	Nordeste / Sul	RS / BA	Ivoti / Pojuca
6	Crupe do Brasil	Sudeste	ES	Serra
7	Haas - Hometeka	Sudeste	MG	Belo Horizonte
8	Lafaete	Sudeste	MG	Belo Horizonte
9	ARN Tecnologia	Sudeste	MG	Mário Campos
10	Master Módulos	Sudeste	MG	Nova Lima
11	Opus Modulares	Sudeste	MG	Nova Lima
12	NHJ do Brasil	Sudeste	RJ	Rio de Janeiro
13	Sysbuilding / Syshaus	Sudeste	SP	Araçariguama
14	Umbria Construção Modular	Sudeste	SP	Campinas
15	Grupo Vendap	Sudeste	SP	Guarulhos
16	Modularis	Sudeste	SP	Itupeva
17	CMC Módulos Construtivos	Sudeste	SP	Mirassol
18	Taec Módulos	Sudeste	SP	Pirajuí
19	Eurobras	Sudeste	SP	Santo André
20	Aratau Modular	Sudeste	SP	São Paulo
21	Cubicon / Inovatec	Sudeste	SP	São Paulo
22	Módulo Sequência	Sudeste	SP	São Paulo
23	Crosslam / CG Sistemas	Sudeste	SP	Suzano
24	Mora Modular	Sudeste	SP	Vargem Grande
25	MRGB Construção Modular	Sul	PR	Alm. Tamandaré
26	Agisa Containers	Sul	PR	São José dos Pinhais
27	Ópera / SCA	Sul	RS	Bento Gonçalves
28	Quick House	Sul	RS	Canoas
29	Logo é logo	Sul	RS	Caxias do Sul
30	Melborne Modular	Sul	RS	Ivoti
31	Visia	Sul	RS	Ivoti
32	Zenhouse	Sul	RS	Marau
33	IMECON	Sul	RS	Novo Hamburgo
34	Hom Casas	Sul	RS	Pelotas
35	Haus On	Sul	RS	Porto Alegre
36	Minimod MAPA arquitetos*	Sul	RS	Porto Alegre
37	GoClic	Sul	SC	Garopaba
38	Polibox Construção Modular	Sul	SC	Guaramirim
39	Brasil ao Cubo	Sul	SC	Tubarão

Fonte: do autor, 2020

3.3 DATA DE FUNDAÇÃO DAS EMPRESAS

Pela hipótese da tecnologia de M3D ser recente em território nacional, elaborou-se uma tabela cronológica a partir da data de fundação de cada empresa. Nesta tabela foram inseridas as datas de fundação das empresas uma vez que não foi possível determinar a data em que as empresas adotaram o M3D como sistema produtivo – tendo ciência que algumas empresas migraram suas formas de produção para esse novo sistema.

Pelos dados coletados é possível identificar que grande maioria das empresas, correspondente a 31 empresas (total de 79,48%) tiveram sua data de fundação nas últimas décadas. Embora a data de fundação do restante das empresas conste ser anterior ao ano 2000, é necessário salientar que a fundação da empresa não representa respectivamente a utilização do M3D como sistema construtivo, considerando a migração da atividade construtiva ao longo de ciclo de vida das empresas. A última década contou com a fundação de 16 empresas, demonstrando o interesse atual do setor no sistema construtivo.

O atual entusiasmo demonstra que as empresas não estão alheias à questão da industrialização da produção e buscam novas formas de produzir bens para a construção civil. Vários fabricantes de edificações modulares começaram suas operações como fabricantes de contêineres customizados ou fabricantes de materiais para galpões industriais. Com a expertise no uso de determinado material, aliado a uma planta de fábrica estruturada e grande o bastante para receber novas formas de produção, as empresas utilizam as mesmas instalações e muitos dos mesmos métodos. **A fusão e reestruturação societária de algumas empresas também condiciona a data recente de fundação, que busca na transição do modelo, novas formas de produção.** Outras, porém adicionam o sistema construtivo como forma de produção sem que seja necessário a reestruturação da empresa, e dessa forma temos datas de fundação que antecedem os anos 2000.

Quanto às empresas em que não foi possível a coleta das informações relacionadas à data de fundação ou CNPJ, seja por falta dessa informação, seja por falta de respaldo por parte das mesmas, foi considerado na tabela “NO”, para expressar “Não Obtido”. Vale a ressalva que outras empresas podem surgir no seguimento até o término deste trabalho e por esse motivo não estão aqui incluídas.

Tabela 04 – Empresas nacionais que oferecem o M3D organizadas por data de fundação

Lista de Empresas	Estado	Cidade	Ano
Ópera / SCA	RS	Bento Gonçalves	1967
Eurobras	SP	Santo André	1980
Grupo Cesar	GO	Aparecida de Goiânia	1981
Quick House	RS	Canoas	1984
Hom Casas	RS	Pelotas	1986
NHJ do Brasil	RJ	Rio de Janeiro	1997
Polibox Construção Modular	SC	Guaramirim	1998
Cubicon / Inovatec	SP	São Paulo	2000
Mehta	DF	Brasília	2003
Lafaete	MG	Belo Horizonte	2005
Agisa Containers	PR	São José dos Pinhais	2007
Mondial Modulares	RN	São José de Mipibu	2007
CMC Módulos Construtivos	SP	Mirassol	2008
Sysbuilding / Syshaus	SP	Araçariçuama	2009
Modularis	SP	Itupeva	2010
Crosslam / CG Sistemas	SP	Suzano	2011
Crupe do Brasil	ES	Serra	2011
Grupo Vendap	SP	Guarulhos	2011
Haas - Hometeka	MG	Belo Horizonte	2011
IMECON	RS	Novo Hamburgo	2011
Master Módulos	MG	Nova Lima	2012
Minimod MAPA arquitetos*	RS	Porto Alegre	2013
ACS Construção Modular	PE	Cabo de Santo Agostinho	2014
Haus On	RS	Porto Alegre	2014
ARN Tecnologia	MG	Mário Campos	2015
GoClic	SC	Garopaba	2015
Módulo Sequência	SP	São Paulo	2015
Zenhouse	RS	Marau	2015
Brasil ao Cubo	SC	Tubarão	2016
MRGB Construção Modular	PR	Alm. Tamandaré	2016
Opus Modulares	MG	Nova Lima	2017
Mora Modular	SP	Vargem Grande	2018
Umbria Construção Modular	SP	Campinas	2018
DBN Sistemas Construtivos	RS / BA	Ivoti / Pojuca	2019
Aratau Modular	SP	São Paulo	2020
Visia	RS	Ivoti	2020
Logo é logo	RS	Caxias do Sul	NO
Melborne Modular	RS	Ivoti	NO
Taec Módulos	SP	Pirajuí	NO

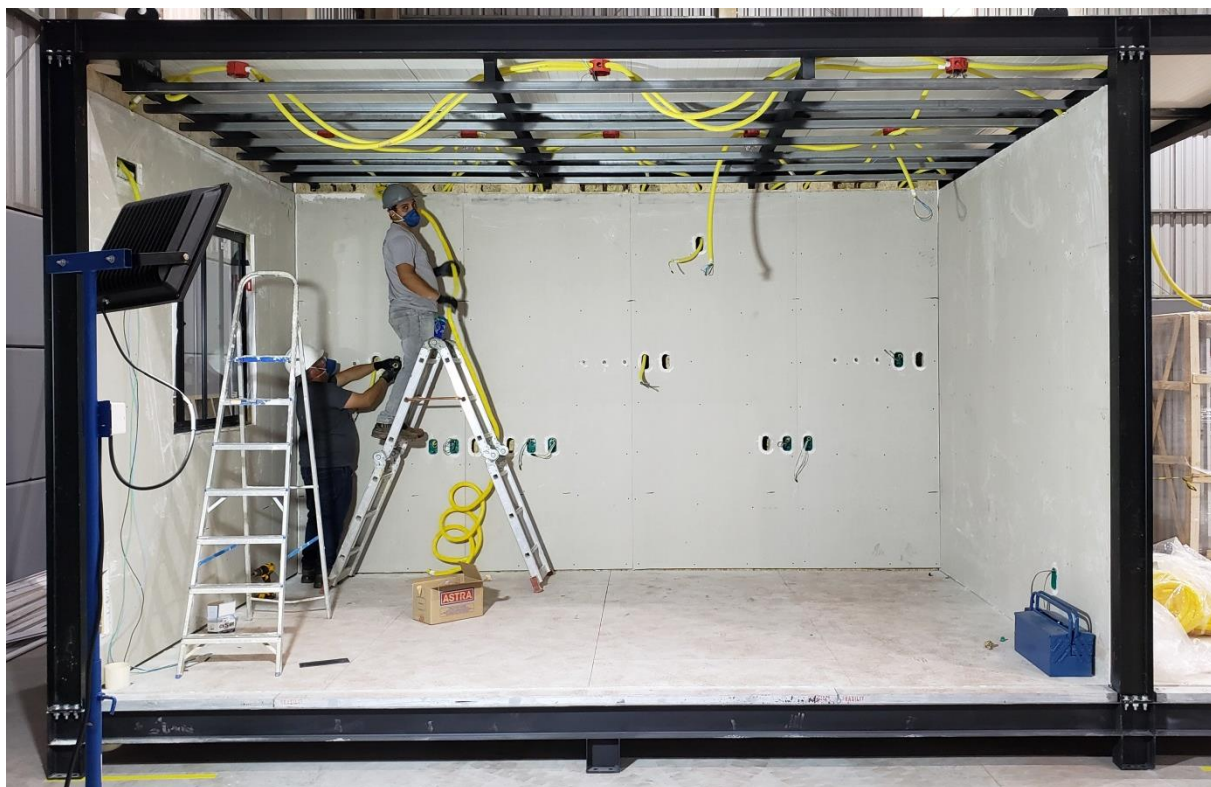
Fonte: do autor, 2020

3.4 MATERIAIS E MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO

Os módulos estruturados em aço consistem no material construtivo com maior oferta de disponibilização tipológica, alcançando 92,3% das empresas pesquisadas. Os módulos geralmente são sustentados por uma estrutura metálica denominada “chassi”, que corresponde à utilização de “esqueleto estrutural” de pilares de canto para transferência das cargas verticais, aliado às vigas de borda que se estendem entre os pilares. Dessa forma, os módulos são projetados com as faces abertas capazes de receber painéis de fechamento (parede, piso ou teto) acoplados internamente à estrutura e revestidos externamente; em seguida, são montados e transportados.

Os materiais dos painéis podem variar quanto ao revestimento e até mesmo quanto a sua estrutura, chapas de madeira estrutural (*wood frame*) e chapas em EPS são algumas dessas opções. Em alguns casos as cargas verticais podem ser distribuídas pelas paredes/painéis externos do módulo (sem a utilização de um chassi estrutural). Esses painéis, por sua vez, são formados por conjunto de perfis em *steel frame*.

Figura 28: Montagem de módulo metálico



Fonte: tecverde

O estudo mapeou apenas 02 empresas, correspondendo a 5,12% do total, que utilizam o concreto como material estrutural dos módulos. Identificou-se o uso do concreto GRC para produção de módulos em diversas empresas. Conforme Vicenzi (2015) o GRC (*Glassfibre Reinforced Concrete*) é material cimentício reforçado com fibras de vidro e tem como principal característica a possibilidade de fabricação de componentes mais esbeltos e leves, dado a incorporação de fibras de vidro à matriz cimentícia. Porém, não foi identificado o uso desse composto para fins estruturais e sim como uma forma mista onde a estrutura é feita em aço (pilares e vigas) e o concreto é utilizado de forma agregada a uma série de outros materiais em painéis tipo sanduíche. Dessa forma essas empresas não foram consideradas no estudo, restando apenas duas. A primeira empresa investigada (ARN) oferece o módulo 3D como parte de uma gama de produtos executados a partir do concreto, tais como: reservatórios pré-moldados, canaletas, aduelas, vigas, lajes e pilares. Os módulos em concreto são pré-fabricados de forma monolítica onde paredes e lajes são concretadas simultaneamente. A segunda empresa (MRGB) produz módulos com medidas padronizadas, os painéis (lajes e paredes) que formam os módulos possuem 80 mm de espessura e já saem de fábrica contendo as aberturas de janelas e portas e toda infraestrutura necessária para esgotamento e elétrica. A produção dos módulos em fábrica garante uma consistência e homogeneidade do uso do material (o que não seria possível na obra) e garantem qualidade e durabilidade do concreto.

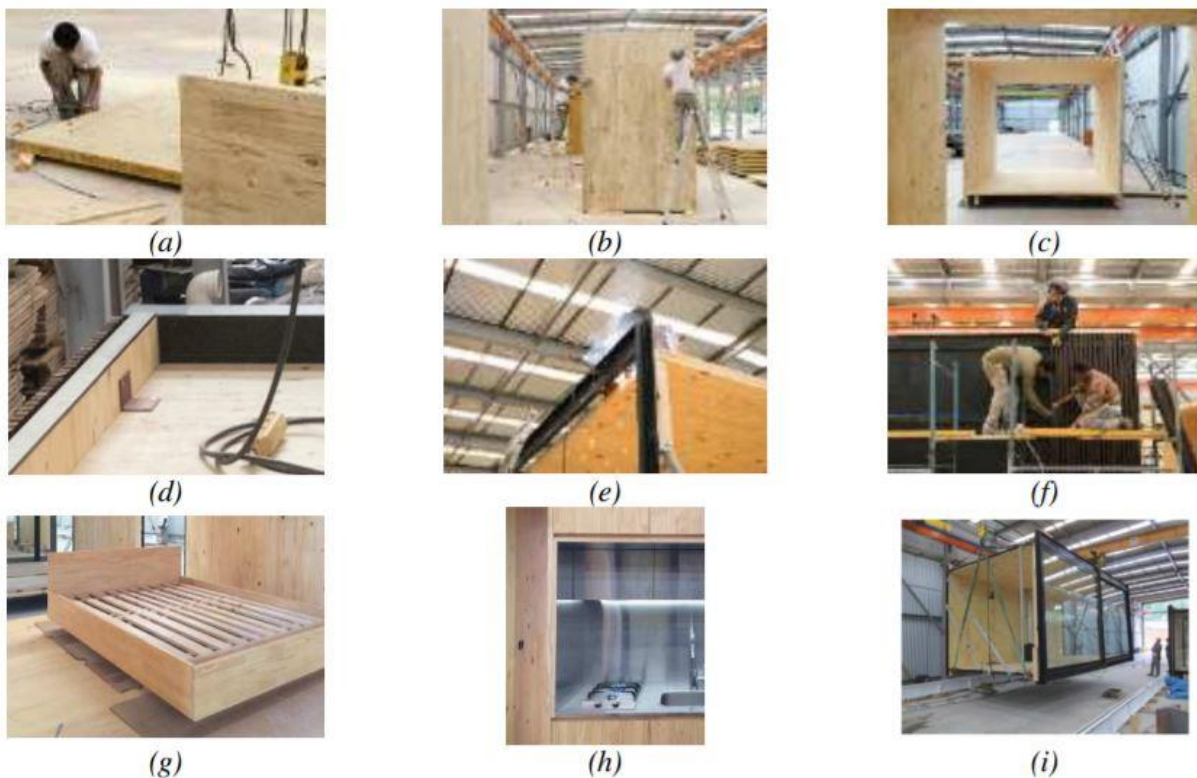
Figura 29: Produção de módulos de concreto



Fonte: ARN Pré-Moldados (2016)

Apenas uma empresa que utiliza a madeira como material estrutural foi identificada no levantamento (Crosslam). A fábrica atua no segmento de madeira engenheirada²⁶, na produção e montagem de painéis, vigas, pilares e módulos acabados em madeira, utilizando a tecnologia de Madeira Laminada Cruzada (CLT - *Cross Laminated Timber*) e Madeira Laminada Colada (MLC - Glulam). A produção dos módulos 3D, conforme estudo realizado por Gratone (2019) é realizada seguindo as etapas de: produção dos painéis; conexão dos painéis para formação do módulo; instalação dos componentes de vedação; instalações elétricas e acabamentos. A montagem é realizada na fábrica utilizando ferramentas simples e para junção dos painéis, para formação do módulo, são utilizadas cantoneiras metálicas. Ao final da montagem dos módulos básicos, o conjunto que forma a edificação é unido de acordo com o projeto, para avaliação de possíveis defeitos e posteriormente separado para transporte ao local de implantação. Conforme a pesquisa, para execução de um projeto de área de 42 m² até a sua entrega final é calculado o prazo de 03 meses.

Figura 30: Montagem dos módulos em fábrica. (a) (b) montagem dos painéis; (c) módulos pré-montados; (d) detalhe da cantoneira utilizada para fixação dos painéis; (e) instalação das esquadrias; (f) instalação do revestimento externo; (g) e (h) detalhe do mobiliário montado em fábrica; e (i) módulos prontos.



Fonte: Gratone (2019)

²⁶ Tradução livre do termo *engineered wood* que inclui uma gama de produtos derivados da madeira que são produzidos e processados industrialmente para otimizar seu desempenho.

4 ESTUDO DE CASO

Neste momento da pesquisa, buscou-se identificar exemplos significativos de empresas da área de construção civil que oferecem o sistema de M3D como sistema construtivo. Os critérios para seleção de casos obedeceram a uma série de parâmetros que serão listados: estarem ativas junto a Receita Federal e devidamente cadastradas; serem relevantes para o quadro referencial; permitirem a investigação das hipóteses analisadas. A seleção também foi condicionada pelo acesso às informações e pela possibilidade de conversa por meio de aplicação de questionário (ver Apêndice A), sendo selecionadas as empresas que se mostraram aptas a essa aproximação. Por conseguinte, foram selecionadas duas empresas para entrevista e aprofundamento.

Os temas apontados como recorrentes na ampla revisão bibliográfica não somente delimitaram a etapa de problematização como também conduziram as matrizes que seriam abordadas para a formulação do questionário. Para a realização do estudo de caso foi necessário a sistematização das etapas descritas: definição do questionário (respeitando a limitação imposta pelas abordagens enunciadas na etapa de problematização); coleta de informações oferecidas na própria base de dados da empresa (website) e em publicações em revistas e jornais, a fim de entender sua relevância e atuação; a definição das empresas selecionadas para entrevista; realização das entrevistas e aplicação de questionário; apresentação de forma reduzida das respostas concebidas; análise de forma crítica das respostas. Smith (2018) elabora um relatório a fim de determinar o caminho estratégico de como aumentar a aceitação da construção modular na América do Norte. Parte das etapas de desenvolvimento deste relatório consiste na aplicação de questionários e análise de cenários como base para gestão e planejamento estratégico. O questionário utilizado por Smith serve de referência para formatação de algumas perguntas presentes neste trabalho. O conjunto de perguntas presentes no questionário (Apêndice A), elaborado para a presente dissertação, foi dividido em cinco partes que serão resumidas a seguir:

(1) A primeira parte do questionário é destinada à caracterização do entrevistado e empresa. Além do estudo descritivo, a parte inicial do questionário procura entender a opinião, pontos de vista e preferências dos entrevistados acerca do assunto.

(2) Da segunda à quinta parte do questionário são apresentadas questões abertas associadas aos temas definidos na etapa de problematização deste trabalho. Dessa forma, a segunda parte do questionário trata do problema da transferência e adoção de processos de produção e

inovações, contendo perguntas sobre: a adoção de processos ou sistemas internacionais; assimilação da tecnologia adotada; patentes e sistemas exclusivos; desenvolvimento de pesquisas e parcerias com centros de desenvolvimento.

(3) Já a terceira parte trata do problema organizacional nos canteiros de obra e sua relação com a mão de obra. As perguntas neste momento são referentes à: organização da fábrica e a possíveis mudanças do desenho da planta para melhorias de produção; especialização de mão de obra e subcontratações (terceirizações); relação entre mão de obra e trabalho realizado na fábrica e canteiro.

(4) Num quarto momento, o questionário explora o problema da obsolescência e o ciclo de vida das edificações. Logo, as perguntas buscam identificar se o sistema construtivo é capaz de proporcionar um ciclo de vida prolongado e se a flexibilidade do produto é explorada para garantir certo grau de incerteza em relação à adaptação do usuário.

(5) Por fim, em sua quinta fase, o questionário aborda o problema da interação entre a disciplina arquitetônica e a indústria de pré-fabricação. A percepção do envolvimento do arquiteto nesse sistema é investigada e as perguntas buscaram caracterizar o trabalho do arquiteto neste ciclo. Além das respostas às perguntas estruturadas no questionário, outros assuntos e comentários surgiram ao longo das entrevistas e contribuíram para a formatação e discussão de outros pontos de menor importância.

O questionário é composto por questões fechadas e abertas e foi conduzido de duas maneiras distintas e em dois momentos. A primeira entrevista foi realizada pessoalmente graças à possibilidade de visita à obra de implantação de unidade anexa (composta por módulos) de uma grande empresa dedicada à produção de bebidas localizada na região metropolitana de Belo Horizonte. Os módulos deste anexo foram produzidos em fábrica e transportados por cerca de 1.500 km até seu local de implantação e durante esse último processo foi possibilitado a observação direta de uma etapa e a entrevista com um membro da equipe responsável pela montagem/construção. Já a segunda entrevista (com outra empresa selecionada) foi realizada remotamente (vídeo-chamada). Para enriquecimento da conversa remota, o entrevistado forneceu algumas imagens e fotos a respeito dos módulos oferecidos pela empresa. As empresas e pessoas envolvidas não serão identificadas nesta pesquisa. Todavia, as empresas serão caracterizadas de forma resumida a seguir:

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS ESTUDADAS

4.1.1 Empresa I

Localizada no estado de Santa Catarina, na região Sul do Brasil, a Empresa I tem sua origem como segmento de uma empresa familiar de estruturas metálicas. Inicialmente, a empresa familiar atuava na fabricação de estruturas metálicas para confecção de galpões e pavilhões metálicos. Com a crescente concorrência no mercado de construção civil, a empresa buscou investigar novas formas de utilização do aço e passou a fornecer sistemas em *Light Steel Frame* e viga e pilar em aço. Entretanto, essa nova abordagem fez com que a empresa tivesse prejuízos financeiros devido à falta de conhecimento específico na área e a pouca prática dos engenheiros responsáveis pela adoção do sistema. De acordo com o entrevistado, o fundador da Empresa I percebeu que para o sistema construtivo que a empresa buscava priorizar não havia controle de mão de obra e, sobretudo, percebeu as dificuldades impostas por uma construção no local quanto ao controle de qualidade e prazos devido à imprevisibilidade de um canteiro de obras.

Partindo dessas experiências frustradas, a empresa I é fundada em 2013 como consequência do interesse de seu fundador na tecnologia modular. O fundador da empresa teve o primeiro contato com o sistema construtivo durante a participação de um programa de iniciação científica no período de graduação em engenharia civil e assim resolveu investir na produção dos módulos. Protótipos de módulos são realizados e a empresa passa por um período de adaptação e validação do produto, para que, em 2016, o primeiro módulo tridimensional saísse da fábrica e marcasse a conversão do segmento da empresa.

As atividades são realizadas num ambiente controlado de fábrica e o processo de produção é estático: os trabalhadores mudam para o local onde os módulos estão posicionados. A produção se organiza a partir de um layout básico onde o parque fabril é dividido em dois (este layout pode ser modificado conforme a escala do projeto): produção do chassi estrutural e finalização. Apesar da tecnologia construtiva ser favorecida pelo uso de sistema de M3D, a fabricação e seu respectivo processo dentro do parque da empresa ainda é pouco mecanizada ou robotizada. O trabalho artesanal ainda é amplamente utilizado para confecção e acabamento dos módulos.

No ano de 2019, a empresa se firma no cenário da construção civil ao entregar a maior construção modular metálica da América Latina, em uma obra em Jaguariúna - SP. O faturamento da empresa aumentou significativamente, passando de R\$ 1,90 milhões em 2017, para R\$ 5,95 milhões em 2018, na qual até julho de 2019 já foi faturado R\$ 12,1 milhões, sendo previsto para o ano de 2019 um faturamento de R\$ 18 milhões (dados fornecidos pela empresa). Em 2020, a empresa siderúrgica Gerdau anuncia o investimento na participação de um terço na empresa, pelo valor de R\$ 60 milhões. O investimento representa um avanço em sua tese de inovação para o futuro da construção, no qual a companhia propõe contribuir com a redução de uma lacuna relevante de produtividade na indústria da construção por meio da adoção de novos sistemas e tecnologias.

A companhia, no momento da realização do questionário, conta com 204 funcionários contratados e chega a 600 se incluirmos nesse número os funcionários terceirizados.

Figura 31: Montagem de módulos na fábrica da Empresa I



Fonte: Empresa I

Figura 32: Transporte de módulos na fábrica da Empresa I



Fonte: Empresa I

Figura 33: Instalação de módulos para projeto residencial da Empresa I



Fonte: Empresa I

4.1.2 Empresa II

Localizada no interior do estado de São Paulo, região Sudeste, a empresa fundada na década de 2000 corresponde a uma unidade de um grupo empresarial maior com mais de 50 anos de atuação no segmento da construção civil. Especializada em soluções construtivas de espaços modulares, dispõe de uma linha de produtos para atender os setores da construção civil, petróleo, gás, recursos naturais e eventos. Atua no segmento de módulos tridimensionais em *Light Steel Frame*, módulos customizados em container marítimo e fornece projetos e materiais em *Light Steel Frame* para construções variadas (e.g. telhados, galpões, sombreadores, estruturas).

Inicialmente, a empresa tinha como principal linha a construção modular utilizando o container marítimo como base estrutural, porém, nos últimos anos a empresa passou por um longo processo de adaptações e pesquisas para produção de módulos tridimensionais. No ano de 2019, a empresa construiu o primeiro protótipo de casa modular com o apoio para desenvolvimento de equipes de universidades nacionais e internacionais para aprimoramento do produto e linha de produção (layout e mecanização da fábrica). Ainda em fase de testes e validações, o protótipo da edificação que faz uso do sistema de M3D constitui-se de aproximadamente 150 m² que são divididos em dois pavimentos. A edificação protótipo utiliza o sistema painelizado como sistema construtivo na maioria de sua composição e faz o uso do sistema de M3D apenas para a fabricação das áreas molhadas (banheiros, serviço e cozinha). A Figura 34 corresponde às fotografias enviadas pelo entrevistado, expondo as características físicas dos M3D produzido pela empresa.

O parque fabril da empresa é organizado em 13.600 m² e está localizado no interior do estado de São Paulo, é composto por máquinas e equipamentos para produção de perfis e estruturas em aço. A empresa busca desenvolver um novo arranjo da linha de produção da fábrica, para que seja possível fabricar os módulos, enquanto, de modo simultâneo, parte da fábrica funcione ao atendimento às demais demandas já existentes.

O grupo empresarial em que a empresa faz parte investiu cerca de R\$ 8 milhões para compra de maquinário e contratação de novos funcionários. Parte do montante também será investida no desenvolvimento da empresa e na infraestrutura fabril.

Figura 34: Vista de uma unidade de módulo tridimensional e etapa de montagem (estrutura)



Fonte: Empresa II

Figura 35: Trecho da execução do protótipo residencial utilizando os módulos para as “áreas molhadas”



Fonte: Empresa II

4.2 TRANSFERÊNCIA E ADOÇÃO DE PROCESSOS

4.2.1 Empresa I

Como resposta ao questionário, a empresa negou a adoção ou compra de processos ou sistema de indústrias internacionais patenteados. A empresa (como descrito na etapa anterior) inicia suas atividades na área da construção civil com a fabricação de galpões e pavilhões metálicos e, a partir dessa noção inicial e de experiências frustradas relacionadas à tecnologia de sistemas pré-fabricados, vê no M3D uma forma de contornar problemas identificados nos demais sistemas. A transferência de tecnologia neste caso deu-se pela apropriação das tecnologias pesquisadas pelo engenheiro fundador da empresa em seu período de graduação.

Para a viabilização da realização do novo método de produção e organização da mão de obra, foi mencionada pelo entrevistado a vontade inicial da empresa na contratação de funcionários multidisciplinares que executariam variadas funções. Entretanto, é apontado que a logística imaginada não funcionou conforme o esperado e então a empresa parte para a contratação terceirizada de diversos trabalhos a serem executados dentro do parque fabril, apostando na qualificação e prática da mão de obra subcontratada.

Ao ser questionado a respeito do diferencial da empresa em relação a outras atuantes no mercado, o entrevistado apontou o *know how* (ou “saber fazer”) da empresa como ponto crucial de distinção. Por ser uma das empresas precursoras no segmento de M3D no mercado nacional, a empresa e funcionários possuem um conjunto de conhecimentos técnicos e práticos (acumulados durante todo percurso) que os colocam em uma posição vantajosa.

O processo de fabricação da empresa é caracterizado pela produção estática. Dessa forma os trabalhadores mudam para o local onde os módulos estão posicionados ao invés do produto passar pelas estações de forma automatizada através de uma esteira ou algo semelhante.

O entrevistado indicou resposta negativa a respeito de parcerias com universidades ou centros de pesquisa e desenvolvimento para aperfeiçoamento do processo e inovações tecnológicas. Porém, em busca de lapidação do processo de fabricação, a empresa estuda parcerias com universidades. Ademais, é citado pelo entrevistado o interesse da empresa em incentivar o conhecimento do sistema de M3D em centros de ensino para que os profissionais graduados aprendam sobre a tecnologia e formas de trabalho desde o momento da graduação.

4.2.2 Empresa II

Semelhante à primeira empresa, o entrevistado negou qualquer adoção de processo ou sistema construtivo de indústrias internacionais por meio de compra de patentes ou afins. Desde o início de sua fundação e até o momento desta pesquisa, a linha de produto principal da empresa é a construção modular por intermédio da utilização de containers marítimos. A fim de aumentar o leque de produtos modulares oferecidos pela empresa e vencer as limitações impostas pelos contêineres frente à tecnologia M3D, a empresa passou a investigar diretamente outras soluções construtivas modulares.

O interesse pela tecnologia de M3D foi impulsionado graças à necessidade de ganho em produtividade pelas construtoras e na ânsia de abreviar o tempo de obra. Atualmente a empresa desenvolve um protótipo residencial unifamiliar industrializado utilizando o sistema de M3D para composição das áreas molhadas (que correspondem às áreas mais complexas de uma edificação residencial unifamiliar). Na edificação, as áreas que empregaram o sistema correspondem a duas instalações sanitárias, área de serviço e lavatório.

Propensa a melhorias na planta da fábrica, a empresa hoje conta com a parceria da *University of Alberta* (universidade canadense) para desenvolvimento de uma planta capaz de garantir a produção do M3D simultaneamente com a produção de outros produtos e demandas já existentes na fábrica. A parceria também busca proporcionar a adaptação do layout da fábrica para criação de uma linha de produção a fim de atender a demanda por módulos de grande volume. Outra parceria apontada pelo entrevistado é junto a Universidade de São Paulo - USP, para aperfeiçoamento da engenharia do produto oferecido pela empresa.

O entrevistado apontou um fato relevante quanto ao desenvolvimento do sistema de M3D no Brasil: o descompasso tecnológico entre a fábrica e fornecedores de materiais. Segundo o profissional, no Brasil o número de fornecedores de materiais e componentes aplicados a essa tecnologia ainda é limitado e em sua grande maioria não possuem uma boa qualidade técnica além de outros problemas relacionados a prazos e fornecimento. Outro fator é a obrigação de retenção de materiais em estoque para que seja garantida a administração da produção *Just In Time*, na qual tudo deve estar disponível na hora exata de instalação, eliminando a antiga prática de cotação de fornecedores para posterior compra de material.

4.3 CANTEIRO E MÃO DE OBRA

Os dados apresentados nesta etapa foram obtidos somente através da aplicação do questionário às empresas. Para maior aprofundamento das questões abordadas a realização de visitas às fábricas seria indicada, o que possibilitaria a observação direta do impacto do sistema M3D na caracterização da mão de obra e das condições de trabalho dos operários nas fábricas.

4.3.1 Empresa I

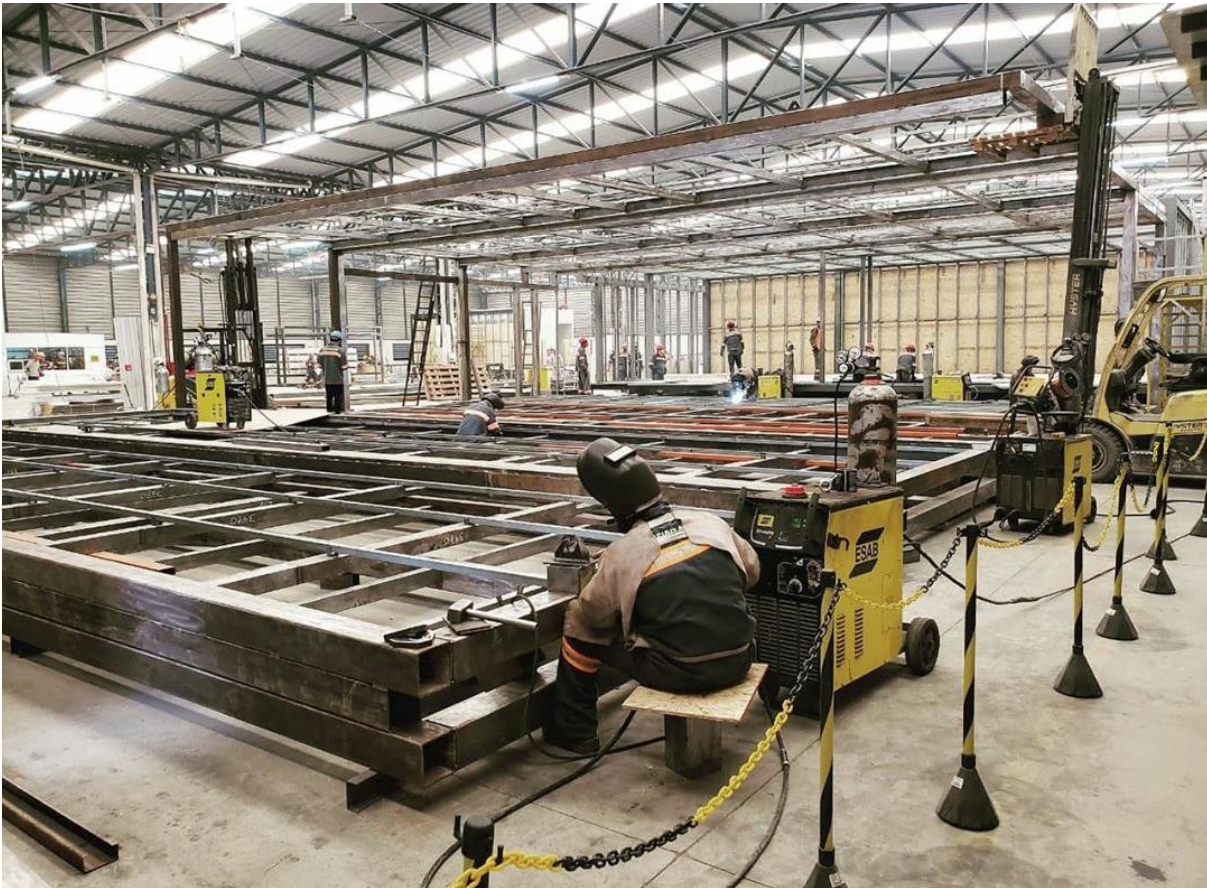
Ao ser questionado sobre a organização da produção, o entrevistado apresenta uma divisão simplificada do layout industrial: uma porção da planta é reservada para produção do chassi estrutural dos módulos e a outra porção é destinada ao trabalho de “finalização” dos módulos (e.g. colocação de pisos e revestimentos em geral, pintura, elétrica, hidráulica, entre outras). O layout pode sofrer alterações em virtude da dimensão da obra e do número de obras absorvidas pela empresa no mesmo espaço de tempo.

A empresa está em processo de mudança na configuração de sua mão de obra. Inicialmente a equipe que operava dentro da fábrica era inteiramente contratada pela empresa e estes funcionários atuavam de modo multidisciplinar (e.g. o mesmo profissional era encanador, soldador, montador e auxiliava na parte elétrica). Após determinado período, a empresa parte para outra forma de configuração da mão de obra, na qual parte da equipe é interna/integrante à empresa e parte externa/terceirizada de outras empresas para execução de trabalhos específicos, como por exemplo, a instalação de placas de gesso. A transição do modelo de organização da mão de obra está sendo impulsionado tanto pela demanda aumentada da produção e potencial de escalabilidade²⁷, quanto pelo aperfeiçoamento na produtividade devido à especialização da mão de obra terceirizada que, segundo o entrevistado, proporciona melhor padrão de qualidade a execução, aliado à celeridade nas etapas. Dessa forma, os funcionários internos à empresa e de caráter multidisciplinar tornaram-se líderes de setores que vistoriam o serviço das empresas terceirizadas. Vale ressaltar que a logística da empresa é subcontratada, porém, a etapa de entrega (serviço de coordenação e ajustes executados no momento da instalação no terreno) ainda é integralmente executada pela empresa.

²⁷ Escalabilidade existe quando a “expansão da capacidade de produção de uma indústria causa aumento dos custos totais de produção menor que, proporcionalmente, os do produto. Como resultado, os custos médios de produção caem, ao longo prazo” (Bannock et al, 2003)

Medidas de segurança de trabalho estão sendo implantadas pela empresa devido a novos contratos em que a contratante se reserva o direito de fazer exigências à prevenção de acidentes. Segundo o entrevistado, o uso de equipamentos de proteção individual na linha de produção é maciço e o nível de acidentes de trabalho é baixo.

Figura 36: Trabalho de fabricação dos chassis estruturas na Empresa I



Fonte: Empresa I

Em relação à interface entre o trabalho produzido na fábrica e o trabalho produzido no canteiro é citado o desafio quanto ao descompasso entre as duas tecnologias de construção. No início de cada contrato o trabalho de empreiteiro (responsável pelas atividades construtivas que serão obrigatoriamente executadas no terreno) é alinhado com a equipe de montagem dos módulos. Entretanto, o entrevistado aponta problemas relacionados à etapa de implantação dos módulos, como por exemplo, a imprecisão de nivelamento na execução da fundação que irá receber o conjunto de módulos. Para adaptação e retificação do nivelamento (em ações sem caráter estrutural) a empresa entrevistada cita a utilização habitual de calços.

O módulo é transportado para o terreno o mais acabado possível, minimizando o trabalho no

canteiro. Portanto, os trabalhos realizados pela empresa na etapa de implantação são referentes às junções entre os módulos e ligações elétricas e hidráulicas. Conforme o entrevistado, a empresa sequencia suas atividades em:

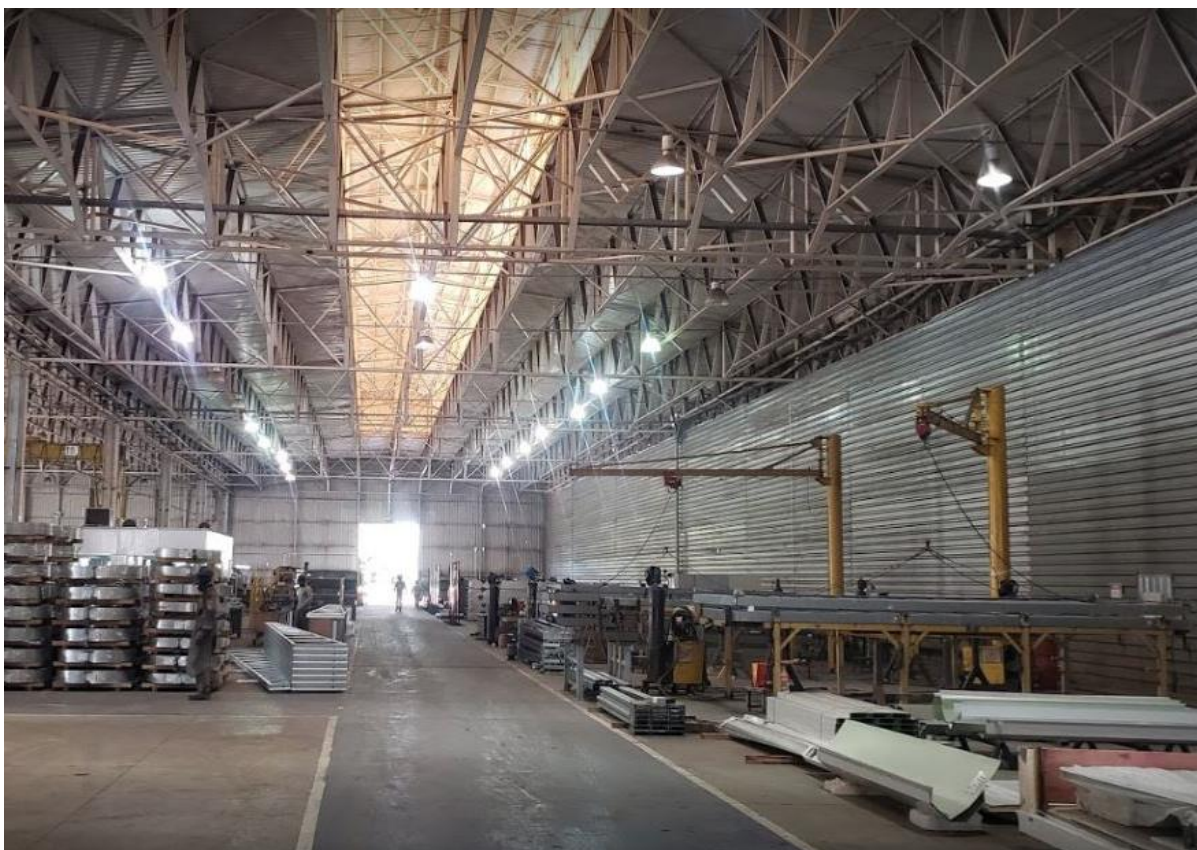
- (1) Venda – primeira etapa de contato com o cliente com explanação geral do serviço para desenvolvimento de proposta de execução do projeto e posterior contratação;
- (2) Arquitetura – contratação do projeto arquitetônico e desenvolvimento do projeto seguindo as necessidades do contratante (podendo ser interno ou externo à empresa);
- (3) Modularização da planta – adaptação do projeto arquitetônico ao modelo de produção da empresa, nada mais é do que “fatiar” inicialmente a construção e adaptar suas medidas para possibilidade de transporte dos módulos;
- (4) Pré-projeto – definição preliminar das áreas, soluções técnicas, quantitativo de material para orçamento inicial;
- (5) Executivo – etapa de compatibilização dos projetos e representação completa e total do projeto, com desenhos, especificações e detalhes que permitam a total compreensão da fabricação e montagem;
- (6) Lista de material – inclui a lista de materiais necessários para execução de cada trabalho garantindo estoque suficiente disponível para atender o determinado projeto, sem estocagem desnecessária;
- (7) Produção – fabricação dos chassis metálicos (contendo painéis de piso, pilares, cobertura e totalmente vedados), adição dos painéis de parede e instalações dos kits elétricos, infraestruturas, forro, shaft de instalações hidrossanitárias, tratamento de juntas, impermeabilizações, revestimentos, louças, metais, acessórios, portas e esquadrias, pinturas internas e externas e vedações;
- (8) Montagem – montagem das partes executadas em fábrica no terreno de implantação com mínimo de produção in loco.

4.3.2 Empresa II

Segundo o entrevistado, a organização da produção (figura 36) da Empresa II está passando por um período de análise e estudos para alteração do seu arranjo físico industrial (layout dos equipamentos), cuja otimização deverá tornar o processo de fabricação mais ágil e eficiente. Em parceria com a *University of Alberta*, a empresa estuda uma forma de divisão de produção, onde parte da fábrica ficará responsável pela produção dos módulos tridimensionais

e parte atenderá ao fluxo pré-existente da empresa.

Figura 37: Galpão de produção da Empresa II



Fonte: Empresa II

Ao ser questionado sobre a especialização da mão de obra da empresa, o entrevistado aponta a escassez de profissionais especializados, o que, para ele, torna-se um empecilho para o avanço da produção modular como um todo. Hoje a empresa conta com um corpo de funcionários com expertise em construção metálica painelizada - 2D, o que em tese colabora para adaptação da atual mão de obra ao sistema 3D. Todavia, em virtude da escassez de mão de obra especializada para realização de determinadas etapas no processo de construção, como por exemplo, a instalação de fechamentos verticais e horizontais, a empresa tem como prática a subcontratação de funcionários.

O entrevistado afirma que a subcontratação acaba sendo também uma forma de aprendizado do ofício para os funcionários internos à empresa que acompanham a execução da tarefa e assimilam a técnica pela natureza educacional do processo. Essa capacitação tem como finalidade a futura eliminação da terceirização dos processos.

O entrevistado acredita que a segurança do trabalho é beneficiada com a produção dentro de um ambiente de fábrica visto que os riscos de acidentes são minimizados. A empresa tem feito investimentos ligados ao bem-estar e segurança no trabalho, ao fornecimento de equipamentos de proteção individual (EPIs) e coletiva (EPCs) e à capacitação da mão de obra para redução dos acidentes de trabalho.

A interface entre o trabalho produzido na fábrica e o trabalho produzido no canteiro não pode ser completamente analisada devido ao produto M3D confeccionado pela empresa ainda estar em fase de prototipagem. Entretanto, o entrevistado aborda um ponto crítico qualificando como ineficiente os materiais empregados atualmente no sistema M3D. Segundo ele, tanto o material quanto os fornecedores são escassos e de baixa qualidade, interferindo na conformidade da obra.

4.4 OBSOLESCÊNCIA E CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES

4.4.1 Empresa I

Inicialmente o entrevistado pondera que no modo “construtivo industrializado” a edificação é previamente construída em um parque fabril com sua produção planejada e controlada tanto quantitativamente quanto qualitativamente. Dessa forma, o nível de retrabalhos na etapa de construção é, conforme o entrevistado, quase zero. Ele aponta que é necessária uma comunicação atenta e detalhada entre os clientes/usuários da edificação e todos os profissionais envolvidos na fase de projeto, pois uma vez iniciada a produção, possíveis alterações “em voo” se tornam complexas e custosas.

Quanto à flexibilidade dos produtos oferecidos pela empresa, o entrevistado sugere a necessidade de uma mão de obra especializada para grandes customizações e reformas. A empresa pretende, ao final de cada obra, realizar uma apresentação do sistema construtivo e dos detalhes das edificações para que os clientes se familiarizem com o sistema. O entrevistado aponta que a empresa pretende fornecer em todos seus projetos um manual de uso e operação, visando o prolongamento da vida útil projetada da edificação e a mitigação de possíveis patologias decorrentes de reformas feitas pelos usuários.

Uma vez instaladas no terreno, as edificações oferecem possibilidades não pré-determinadas

como qualquer outra edificação construída a partir de outros sistemas estruturais. De certa forma, o fato de as edificações serem moduladas, proporciona ao sistema melhores resultados quanto a reformas e adaptações de medidas, como por exemplo, a ampliação de um cômodo. O entrevistado aconselha que o projeto inicial da edificação considere a previsão de junção de módulos futuros e suas respectivas cargas estruturais para proporcionar possibilidades de agrupamento horizontal e vertical,

Ao ser questionado sobre as possíveis restrições do sistema, o entrevistado aponta a limitação dimensional como único entrave. A limitação do tamanho dos módulos da empresa está mais ligada ao transporte do que à estrutura construtiva. Como a rede de transporte brasileira é baseada na malha rodoviária, o módulo padrão produzido pela empresa se enquadra no limite de peso e dimensão regulamentada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, eliminando a obrigatoriedade de documentação especial e acompanhamento da carga por batedores (oneração do transporte). Consequentemente, o módulo básico abrange de no máximo 3,2m de largura por 12m de comprimento e, preferencialmente, até 3,5m de altura. Vale ressaltar que quando um projeto exige módulos que extrapolem o “módulo básico” produzido pela empresa, o obstáculo em relação às dimensões acima do “padrão” é diretamente relacionado ao aumento substancial do custo referente ao transporte e não a qualquer impedimento legal. Os módulos com larguras, comprimentos ou pesos maiores do que foi pré-estabelecido pela empresa requerem veículos de carga capazes de comportar seu transporte além da emissão de documentação/autorização especial de trânsito e exigência de batedores/escolta para circulação nas rodovias.

Quanto às vantagens do sistema em relação a outros sistemas construtivos, o entrevistado apontou os seguintes pontos: economia de tempo para execução de uma obra; paralelismo dos processos de construção; exatidão orçamentária; menor desperdício de materiais; maior controle de qualidade.

4.4.2 Empresa II

A estratégia utilizada pela empresa a respeito da flexibilidade do produto é do tipo “permitida”, que consiste na possibilidade de alterar ou personalizar o projeto da opção oferecida inicialmente. A empresa tende a padronizar seus projetos, possibilitando pequenas alterações caso o cliente e projetista solicite (também chamada de negociação de pequenas

alterações).

O entrevistado condiciona a possibilidade de uma flexibilidade “planejada”, na qual a empresa elabora diversos layouts alternativos, à viabilidade construtiva e financeira. Em caso de negativa quanto ao custo dessa flexibilidade, a empresa tende a reduzir a gama de opção de planta e materiais.

De modo análogo à Empresa I, a Empresa II pretende elaborar um “manual do proprietário” auxiliando a utilização e manutenção da edificação. O manual irá incluir as principais informações sobre o uso, características construtivas, materiais empregados, informações técnicas de projeto, cuidados necessários durante as operações de limpeza, manutenção e garantias. Além da elaboração do manual, a empresa se propõe apresentar o sistema construtivo e detalhes específicos ao cliente no momento da venda do produto. A apresentação tem como finalidade esclarecer possíveis dúvidas advindas do cliente/usuário.

Acerca da manutenção preventiva, é salientado o cuidado com a forma de limpeza da edificação. Segundo o entrevistado, a limpeza deve ser feita de forma a não prejudicar o sistema construtivo, o que torna o manual de uso e operação indispensável para elucidação quanto à manutenção. Práticas de limpeza que fazem uso de grande volume de água (que segundo o entrevistado é uma prática oriunda de sistemas construtivos que não o aço) e o uso de jato d'água sob pressão devem ser evitadas uma vez que estas condutas podem afetar os materiais que protegem a construção contra infiltração.

A fim de atingir um resultado satisfatório quanto ao desempenho da edificação e seus elementos (incluindo os sistemas estruturais, sistemas de coberturas e sistemas de vedações verticais internas e externas), a empresa conta com a parceria de pesquisa e desenvolvimento da Universidade de São Paulo. De maneira geral, o atendimento às normas consiste em prolongar a expectativa do ciclo de vida da estrutura e de qualquer de seus componentes.

4.5 INTERAÇÕES ENTRE ARQUITETURA E A INDÚSTRIA

4.5.1 Empresa I

A atual estrutura organizacional do setor de projetos da empresa envolve duas práticas: (1) o

investidor ou proprietário contrata um arquiteto externo à empresa e a equipe fica responsável pela adequação do projeto; (2) o investidor ou proprietário contrata a empresa para projeto e construção, dessa forma, a empresa fica responsável pelo desenvolvimento de todas as etapas do processo. A distinção das duas práticas é de responsabilidade do cliente/contratante que determina a origem do projeto arquitetônico – interno ou externo à empresa.

Quando o cliente opta pela primeira prática, o projeto é concebido por uma equipe externa e inevitavelmente passa por adaptações feitas em conjunto entre equipe de arquitetos e engenheiros da empresa. A interface tem como princípio a adaptação do projeto inicial às modulações necessárias para viabilidade do sistema construtivo. Já a interface produto-produção sempre acontece interna à empresa e representa a etapa de elaboração dos projetos para produção e montagem que garantem a construtibilidade da edificação. Um projeto arquitetônico elaborado por uma equipe externa contratada, mesmo que concebido fundamentado pelo conceito modular, ainda sofre análises e adaptações pela equipe de projetos interna à empresa. As adaptações e análises são tomadas para enquadrar o produto no processo produtivo da empresa considerando os detalhes construtivos.

Ao ser questionado a respeito dos desafios quanto à interface entre o arquiteto e fabricante, o entrevistador cita a necessidade de uma disciplina de projeto rigorosa capaz de evitar problemas durante a fabricação e execução de uma obra. O profissional responsável pelo projeto deve ter o conhecimento das etapas do processo de construção de um edifício M3D, das formas de conexão entre elementos, das especificações de materiais e componentes, e principalmente da forma em que cada empresa está habituada a produzir e montar esses elementos.

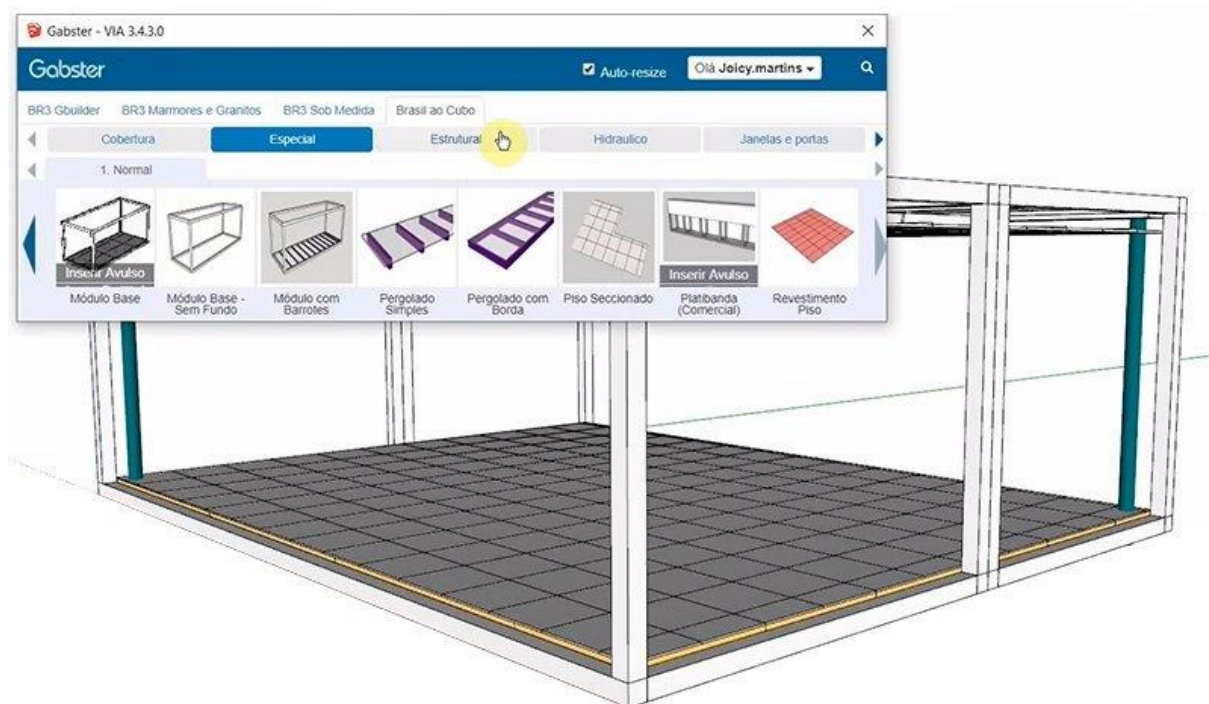
Segundo o entrevistado, o maior custo da empresa é relativo à etapa de produção. A ocorrência de adversidades relacionadas a interferências entre projeto e produção, pode exigir a fabricação de componentes não previstos no primeiro momento ou gerar improvisos em pontos cruciais da edificação, aumentando o tempo e custo final da obra e diminuindo a qualidade técnica do produto. O projeto então, deve garantir o rigor necessário para impedir contratempos na etapa de produção e execução.

A respeito da interação entre os agentes durante o processo de produção do edifício, o entrevistado esclarece que a empresa possui uma visão clara quanto às vantagens na gestão

colaborativa. Para exemplificar a afirmativa, o entrevistado aponta a participação da equipe de produção na fase de elaboração do projeto, na mesma intensidade em que a equipe de projeto integra-se às dinâmicas da produção.

A ferramenta escolhida para desenvolvimento dos projetos executivos foi a Gabster, uma plataforma que aplica a engenharia da empresa no software de criação de modelos 3D, Sketchup. A plataforma corresponde a um *plugin*²⁸ adicionado ao Google SketchUp, que possibilita a parametrização de componentes utilizados para a construção dos módulos. Dessa forma, os projetos idealizados são modelados no programa e as regras paramétricas são aplicadas para a formação dos módulos (respeitando as limitações impostas pela equipe de engenheiros) e o orçamento é gerado em tempo real. A parametrização dos componentes busca a redução de desperdício de material e a otimização do tempo de fabricação.

Figura 38: Interface da plataforma Gabster e parametrização utilizada pela Empresa I



Fonte: Gabster

4.5.2 Empresa II

Para confecção do protótipo executado pela empresa, a fase inicial de projeto foi formalizada

²⁸ Ferramenta adicionada a um software para ampliar suas funções, provendo alguma funcionalidade especial ou específica.

pela reunião entre equipe de engenharia e arquiteto terceirizado. Nessa etapa, foi determinado o *briefing* do projeto e descrito o programa de necessidades. Neste momento a equipe de engenharia apresentou brevemente ao arquiteto o sistema construtivo a ser utilizado na construção. Já a responsabilidade associada ao projeto arquitetônico, foi descrita pelo entrevistado como relacionada ao atendimento do programa de necessidade e a adequação estética e funcional da edificação.

O papel do arquiteto foi atribuído às questões ligadas ao projeto estético (soluções plásticas) da edificação, limitando as decisões do profissional a um papel secundário no processo de construção. A técnica, elemento fundamental a ser considerado na resolução de um projeto, foi atribuído à equipe de engenharia que viabilizou o funcionamento e materialização do edifício.

O arquiteto encerrou sua participação no desenvolvimento da edificação na entrega dos documentos de projeto. A troca de informações durante o processo foi escassa e a etapa de compatibilização e coordenação do projeto não foi atribuída ao arquiteto, dessa forma, as interfaces existentes com as disciplinas de projeto complementares foram desenvolvidas pela equipe de engenharia.

Dado que o recente projeto executado pela empresa se trata de um projeto protótipo a interação entre o arquiteto o sistema fica limitado apenas nesta primeira experiência, o que de fato restringe o estudo de caso e não fornece dados suficientes para desenvolvimento deste tópico relativo à Empresa II.

O software BIM utilizado pela empresa é o Revit da AutoDesk . Por tratar-se de um protótipo, a edificação de M3D construída pela empresa se beneficiou do software pela capacidade de gerenciamento das informações do projeto e da prototipagem virtual do modelo que foi construído no pátio da fábrica. Devido a extensa gama de materiais e projetos necessários para a execução do protótipo o sistema Bim surgiu como um método de coordenação e precisão dos elementos.

5 MATRIZES DE ANÁLISE DO PROBLEMA

Esta etapa do trabalho trata de uma reflexão em torno dos temas abordados na problematização. Tal qual foi apontado na etapa de metodologia, a revisão bibliográfica conduziu a assimilação do estado da arte sobre a construção M3D mundial, determinando as problematizações aplicáveis ao contexto brasileiro.

As questões centrais que serão discutidas a seguir consistem nos seguintes tópicos: (01) transferência e adoção de processos de produção; (02) canteiro e mão de obra; (03) obsolescência e ciclo de vida das edificações; (04) interações entre a disciplina arquitetônica e indústria.

Por sua vez, as respostas ao questionário aplicado às duas empresas selecionadas (aliada à revisão bibliográfica) possibilitou o entendimento/conhecimento de opiniões e interpretações dos profissionais atuantes no segmento do sistema M3D sobre os problemas citados, acarretando em matrizes de análises sobre esses tópicos que serão abordadas ao longo deste capítulo. Assim, cada tópico/problema será apresentado como seções secundárias, seguidas por suas interpretações e matrizes de análises.

5.1 TRANSFERÊNCIA E ADOÇÃO DE PROCESSOS DE PRODUÇÃO

5.1.1 Transferência e capacidade tecnológica

Apesar de utilizado de forma corrente e habitual, os termos tecnologia e conhecimento tecnológico abrangem várias conotações e associações contraditórias. Veraszto (2009) busca através de revisão bibliográfica encontrar uma definição para o termo. O autor conclui que:

O conhecimento tecnológico é o conhecimento de como fazer, saber fazer e improvisar soluções, e não apenas um conhecimento generalizado embasado cientificamente. Para a tecnologia é preciso conhecer aquilo que é necessário para solucionar problemas práticos (saber fazer pra quê), e assim, desenvolver artefatos que serão usados, mas sem deixar de lado todo aspecto sócio-cultural em que o problema está inserido. (VERASZTO, 2009, p. 75).

O autor indica a concepção da tecnologia de acordo com as necessidades e demandas sociais e, eventualmente, alterando todo conjunto de costumes e valores sociais, agregando-se à cultura. Além disso, embora faça parte de nossos artefatos, a tecnologia é o conhecimento por trás desses artefatos, não apenas resultados e produtos, mas também design e criação.

Lima (2004, p. 75) descreve o termo transferência de tecnologia como a aquisição, desenvolvimento e utilização de conhecimento tecnológico por um ambiente diferente daquele onde foi concebido, e define o termo como:

[...] um processo pelo qual um conjunto de informações, conhecimentos, técnicas, máquinas e ferramentas são transmitidos de um local, de um indivíduo ou de um grupo para outro, com a finalidade de ser usado na produção ou na prestação de serviços. No sentido estrito, a transferência de tecnologia, mais corretamente chamada de fornecimento de tecnologia, envolve, além da transferência de todos os dados técnicos de engenharia do processo ou do produto, a metodologia do desenvolvimento tecnológico usada para sua obtenção. Com esta metodologia visa-se a capacitar o receptor não só a produzir, mas obter a autonomia necessária para prosseguir no melhoramento e modernização do produto, ou ainda, no desenvolvimento de novos produtos de mesmo nível de tecnologia.

Lima (2004) acrescenta à caracterização da transferência de tecnologia como processo de introdução de um conhecimento tecnológico já existente, onde não foi concebido e ou executado. É importante também ressaltar as outras formas descritas de mecanismos de transferências, tais como: (1) conhecimento não formalmente expresso, experimental; (2) conhecimento formal decodificado, instrução através de técnicas, documentos e dados; (3) conhecimento prático, corresponde pelo saber fazer.

Stipp (2017) associa o termo capacidade tecnológica à capacidade de empresas na absorção e transformação de uma determinada tecnologia para criar ou alterar sua capacidade operacional. O autor condiciona uma série de fatores para o sucesso da implantação de uma tecnologia, dentre elas a capacidade tecnológica da empresa receptora que envolve mão de obra qualificada para organizar e incorporar a tecnologia, sendo a oferta de serviço de apoio por parte do emissor da tecnologia conveniente para o sucesso da implantação.

5.1.2 Tecnologia e Sociedade

Tecnologia e sociedade estão intimamente ligadas. Existe uma estreita inter-relação (que não deve ser ignorada) entre a estrutura tecnológica de um sistema construtivo e a estrutura social do grupo a qual esse processo atende. Pelli (1989) propõe uma discussão sobre qual seria a tecnologia mais apropriada para a construção das cidades na América Latina e condiciona a proposta tecnológica à exigência de sua relação harmônica com o contexto histórico, social e natural. Para o autor, o uso das tecnologias pelas culturas periféricas é subordinado às culturas de países “centrais” (responsáveis pelo comando e organização da economia em nível global)

e a aquisição de tecnologias pode incorrer em sua plenitude pelo que é chamado de sistemas incompletos, onde se vende o produto (sistema) e se realiza o lucro, mas não são adquiridos outros quesitos importantes ao pleno funcionamento, tais como treinamento de mão de obra, ferramentas etc. Dessa forma, as opções tecnológicas e a multiplicidade de influências nos países da América Latina podem ser classificadas em quatro tipos básicos: (1) tecnologia formal adaptada; (2) tecnologia informal; (3) tecnologia autóctone; (4) tecnologia de ponta.

Santos (2008) caracteriza a **tecnologia formal adaptada – ou periférica** – como uma apropriação parcial da tecnologia formal dos países centrais, cuja transferência não inclui todas as ferramentas para sua realização, assim como não inclui matéria prima de qualidade semelhante ou superior e em algumas oportunidades inexistente normalização completa que assegure a coordenação em todas as etapas de produção. E exemplifica a tecnologia formal adaptada em nosso cenário com o caso do concreto armado, que se tornou gradualmente hegemônico embora coexista com outras formas de produção.

Em geral, podemos definir a **tecnologia informal** como a forma de produção adequada à realidade sócio-econômico-cultural com finalidade prioritária de resolução de necessidades básicas e sobrevivência devido à impossibilidade de acesso ao mercado formal. Em geral, a força do trabalho é composta por habitantes da comunidade inserida, por exemplo, os mutirões autogeridos.

Podemos entender **tecnologia autóctone** como aquela empregada na arquitetura vernacular por tratar-se de estratégia de produção dos grupos não integrados à estrutura cultural predominante embora existente dentro de uma organização sócio-econômico-cultural subjacente. As tecnologias autóctones, segundo Pelli, são uma das referências básicas, ainda que longínquas e deformadas, da tecnologia informal, com suas próprias normas de equilíbrio entre recursos-atores-procedimentos-produtos-meio ambiente.

Tecnologias de ponta ou *high-techs* são aquelas desenvolvidas em centros avançados de tecnologia e representam os últimos avanços tecnológicos produzidos pelos países centrais. Para uso desta tecnologia é necessária não somente uma indústria avançada tecnologicamente como também de qualificação especial de todos agentes envolvidos nos processos. Em países periféricos, a importação dessa tecnologia pode prescindir do aparato formal e desta maneira a escassez relativa ao aparato é compensada com a engenhosidade de técnicas informais.

Conforme Feenberg, em entrevista realizada por Mariconda e Molina (2009), os autores dos códigos técnicos dominantes são países avançados (centrais) e dessa forma os países em desenvolvimento (periféricos) importam a tecnologia e disciplinas técnicas. O custo de aquisição dessas tecnologias é atrativo quando comparadas a produção e descoberta de uma nova tecnologia para os países periféricos. Contudo, a transferência pode se tornar problemática e impossibilitada quando ocorre sem adaptações necessárias ao contexto (totalidades sócio-técnicas).

5.1.3 Desenvolvimento tecnológico no Brasil

Dagnino e Dias (2007) desenvolvem uma visão crítica acerca da política científica e tecnológica no Brasil e caracterizam um dos desajustes em relação às políticas de Ciência e Tecnologia o fato do aumento quantitativo de pesquisa científica não gerar desenvolvimento tecnológico. Esse dado é ilustrado por meio da informação empírica relativa ao que se admite como indicadores de desenvolvimento científicos e consta que o Brasil produz um volume de conhecimento científico assimétrico à tecnologia produzida, contrariando o modelo institucional de oferta linear (avanço quantitativo da produção de ciência automaticamente se converte em um avanço da tecnologia).

Outro ponto de atenção parte da hipótese que empresas nacionais inovadoras não enxergarem na Pesquisa e Desenvolvimento uma estratégia inovadora importante. Essa tese advém do dado que entre 2004-2007, entre as empresas existentes no país que inovaram (33% das 84 mil empresas com 10 ou mais funcionários), apenas 17,6% indicam Pesquisa e Desenvolvimento como principal estratégia, já 66,6% alegam a compra de bens de capital (IBGE, 2005). Esse último dado vale relacionar com o que Dagnino (2014) descreve como o comportamento tecnológico do empresário brasileiro:

E, finalmente, a percepção de que as empresas brasileiras, por pautarem sua conduta pela norma de que “em qualquer lugar e tempo, as empresas farão três bons negócios com tecnologia: roubar, copiar e comprar...; e nenhuma delas irá desenvolver tecnologia se puder realizar um dos outros três”, e por se situarem numa sociedade periférica com uma ancestral dependência cultural, têm baixa propensão a inovar dado que pode assegurar suas elevadas taxas de lucro por outras vias (e quando o faz, não é fazendo P&D).

5.1.4 Casos Analisados

Nos casos analisados a transferência de tecnologia se deu pela avaliação das tecnologias vindas de países mais desenvolvidos economicamente através de pesquisas e visitas às indústrias de ponta. Todas as empresas analisadas já trabalhavam com sistemas pré-fabricados de alguma forma, sejam essas estruturas metálicas “convencionais” para galpões e pavilhões e/ ou na customização de containers marítimos. Sendo assim, as empresas já possuíam um parque fabril destinado à produção de componentes e produtos pré-fabricados que foram adaptados para a adoção da tecnologia M3D.

As empresas que lidam com novas tecnologias, em especial o sistema M3D, enfrentam a carência de fornecedores de materiais de construção adequados para o sistema construtivo. A cadeia de suprimentos é fragmentada e generalista, proporcionando certa desconfiança entre os agentes inseridos na produção. Os produtos oferecidos são produzidos e especificados como opções gerais para todo mercado que utiliza a pré-fabricação, contribuindo para aquisição de produtos com algum risco de obsolescência, que por sua natureza, oferece opções limitadas e não especificados para um projeto M3D. Para inserção dos materiais ou métodos oferecidos pelos fornecedores frequentemente são necessárias várias operações de adaptação para contornar imperfeições nos materiais e nem sempre o melhor resultado é alcançado. A integração do suprimento de materiais padronizados e produzidos para adaptação ao sistema implantado significa ganhos de produção.

Os fabricantes modulares estão adaptando suas plantas ao modelo de negócio de pré-fabricação e M3D, maximizando a eficiência e qualidade do ambiente fabril. Em conversa com empresa localizada na região sudeste do país, o fabricante relata que buscou parceria com universidades estrangeiras para que juntos pudessem ajustar a planta da fábrica, considerando a experiência tecnológica do país central. A estratégia de parceria neste caso funciona como investimento em conhecimento.

Para aperfeiçoar a produção, as empresas (em geral) buscam desenvolver padronizações no intuito de alcançar escala na produção sem abrir mão da opção de personalização, pensando em todas as etapas de produção e logísticas tais como montagem e transporte. Os fabricantes geralmente partem da analogia à indústria automobilística e usam o mesmo chassi estrutural para vários modelos de edificações, trocando recursos e componentes para que sejam

distintos. Essa opção contribui para manutenção de uma linha de produção e processamento, sem a necessidade de alteração constante.

As empresas avaliadas ainda possuem grau inferior de automação quando comparadas aos modelos dos países centrais, sendo a produção estática, cujos trabalhadores mudam para o local onde os módulos estão posicionados. É notório que melhores resultados podem ser alcançados com a modernização dos sistemas de produção e montagem e, dessa forma, as empresas buscam formas de introduzir a robótica e transformar a linha de montagem onde o produto passa por diferentes estações de forma contínua enquanto a fabricação é concluída. Os maiores desafios para a transformações nos ambientes fabris são as determinações quanto à configuração da planta e o alto investimento necessário para automatizar as estações.

A fim de apresentar ao empresariado da cadeia produtiva da construção civil nacional caminhos em prol do aumento de produtividade e competitividade da indústria no setor, o Sistema FIRJAN²⁹, em 2013, em trabalho conjunto com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), elaborou o documento “Construção Civil: Desafios 2020”. Neste trabalho realizaram-se entrevistas presenciais entre empresas, especialistas e fornecedores da construção civil brasileira e com o objetivo de inferir aspectos sobre a estratégia de inovação. Foi requerido às empresas que apontassem as condutas utilizadas e o resultado apontou o não investimento em aquisição de tecnologia exterior ou investimento em pesquisas tecnológicas realizadas conjuntamente com universidades ou centros de desenvolvimento. Como estratégia mais adotada pelas empresas está o monitoramento da concorrência e pesquisa própria, refletindo o discurso apresentado nos itens anteriores.

²⁹ Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan) é uma organização privada e sem fins lucrativos, com mais de 7.500 empresas associadas. Sua missão, conforme site oficial da organização, é “promover competitividade empresarial, educação e qualidade de vida do trabalhador da indústria e de toda a sociedade, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do estado do Rio”.

5.2 CANTEIRO E MÃO DE OBRA

5.2.1 Mão de obra

O relatório *McKinsey & Company* (2019) indica que 80% da atividade de mão de obra pode ser movida para fora do canteiro e instalada numa fábrica, quando usado o sistema construtivo M3D. O estudo aponta que a transição do canteiro para a fábrica gera redução de custos relacionados à mão de obra em 25%. O ambiente de fábrica favorece a produtividade dos trabalhadores e dessa forma elimina boa parte da quantidade de tempo inativo dos trabalhadores e maquinários. Além disso, uma equipe trabalhando em um ambiente projetado para fornecer condições ideais para fabricação, sem a influência de clima adverso, é capaz de atingir níveis mais altos de qualidade do produto. A automatização e os processos simplificados e repetitivos (que alienam a mão de obra), por outro lado, beneficiam o capital e reduzem a massa salarial.

O trabalho em uma fábrica torna-se ágil e produtivo, se entendermos a relação do trabalhador e ambiente de fábrica. No canteiro o trabalhador deve se locomover ao trabalho (local de implantação da obra), gastando mais tempo no deslocamento aos diferentes endereços e inevitavelmente tendo de mover todo aparato necessário para o trabalho (ferramenta e equipamentos). Conforme Arantes (2010), o gerenciamento do canteiro corresponde à coordenação de fluxo de materiais, equipes e tarefas, cuja produtividade depende não apenas da capacidade de prever e articular, mas também de realizar essas operações num ambiente altamente imprevisível, dado a variabilidade, complexidade de fatores como condições do solo, clima e risco de acidentes. Já na fábrica, o trabalho chega ao trabalhador. Através de uma linha de montagem, equipada com maquinário necessário para as operações e com a coordenação de trabalho e estoque antecipada, mitigando o fator imprevisibilidade.

5.2.2 Valor do trabalho e Alienação

Smith e Rupnik (2018) elaboraram uma pesquisa junto à Universidade de Utah, para determinar como o mercado de construção modular nos EUA pode crescer 5% em cinco anos. A pesquisa aborda parâmetros contextuais considerados “chaves” para proliferação e sucesso da cultura modular, elencando três elementos que possuem grande influência na escolha de adoção ou não adoção da construção pré-fabricada: *Land* (terra), *Latitude* (características do

terreno) e *Labor* (mão de obra). O elemento “terra” equivale ao terreno onde as construções serão inseridas, e a pesquisa indica que nos países onde a pré-fabricação tem sucesso, o custo dos lotes são altos e a disponibilidade de terreno escassa. Já o elemento “latitude” diz respeito às condições geográficas do local, as quais são possíveis verificar, sendo a pré-fabricação uma resposta às intempéries, como chuva e neve, e localidades de difícil acesso. Por último, o elemento “mão de obra” trata justamente da força do trabalho humano, que nos países onde o sistema teve resultados é escassa e onerosa, justificando a redução de equipe e investimento em maquinário.

Smith (2018) faz um paralelo entre o mercado norte americano e os mercados onde a pré-fabricação possui êxito e constata que os valores das terras são relativamente acessíveis, o clima é ameno (na maioria do país) e propício para construções realizadas inteiramente no terreno e que a mão de obra da construção civil é constituída em boa parte por imigrantes, que corresponde a uma mão de obra (apontada pelo autor) de custo reduzido comparada com a de países como Japão e países nórdicos. Dessa forma, o autor indica a possibilidade desses fatores motivarem a ideia de “setor atrasado” atribuída à construção modular americana.

Arantes (2010) – ao criticar as lentas transformações na construção civil – aponta que é precisamente a baixa remuneração dos trabalhadores aliada às “camadas de precarização” da força de trabalho (como por exemplo, as subcontratações), que desestimulam o investimento em máquinas e equipamentos e retardam a transformação digital na construção civil. Por meio da pré-fabricação, a habilidade do trabalhador tradicional da construção civil e seu consequente custo, pode ser substituída por trabalhadores de outras indústrias tais como a naval e metalúrgica, que não necessariamente precisam de experiência na construção civil e que assim poderão ser subcontratados por valores menores.

Frederic W. Taylor (1903) tinha nos seus estudos a convicção que, com a participação de todos envolvidos na cadeia de produção para o aumento de produtividade, todos sairiam ganhando. Com a otimização de seus tempos e movimentos, o trabalhador poderia produzir mais proporcionando a máxima eficiência na produção e dessa forma, aumentando os lucros do patrão e também dos empregados. Essa abordagem ficou conhecida historicamente como Organização Racional do Trabalho. Porém, o modelo organizacional sugerido por Taylor encontrou discórdia entre os trabalhadores e sindicatos, pois o homem era visto como máquina e não eram consideradas variáveis organizacionais tais como: especialização do

trabalhador e sua conseqüente alienação, desconsiderando a necessidade individual; a desqualificação e desumanização do trabalhador; fatores subjetivos que interferem no trabalho.

Posto isto, podemos traçar uma crítica quanto à lógica taylorista-fordista inerente ao esquema de fabricação dos módulos tridimensionais e sua relação com a mão de obra. A superespecialização do trabalho, na ideia de Taylor como eficiência aumentada pela divisão do trabalho, tornou supérflua sua qualificação e a especialização privou o trabalhador de compreender a construção como um todo.

Villela (2007) expressa o apagamento do pensamento crítico do trabalho e sua simplificação enquanto mera força de trabalho, como consequência do desenvolvimento dos modos de socialização do trabalho. A alienação torna-se condição fundamental para proveito do capital. A indústria da pré-fabricação e da “construção rápida”, incorporam sistemas construtivos racionalizados e padronizados atraídos pelo desejo de maior produtividade, escalabilidade e competitividade no mercado da construção civil, bem como incorpora a submissão e alienação do trabalhador ao capital.

Mascarenhas (2015), ao analisar a produção habitacional brasileira sob a ênfase da racionalização conclui que essa racionalização da construção civil nacional, através de medidas de divisão de tarefas, padronização, supressão de gestos e supervisão do trabalhador, não afeta o caráter de trabalho intensivo e exploratório de produção ainda que empregue novas estratégias e tecnologias de manufatura.

5.2.3 Segurança do Trabalho

Outro aspecto analisado por Taylor é a condição do ambiente de trabalho, em que a eficiência do exercício depende das condições do meio no qual é realizado visando garantir o bem-estar do trabalhador com a finalidade de garantir maior produtividade. A crítica quanto a este aspecto vem do fato de que a busca pela eficiência dos trabalhadores, através das condições do ambiente, se dá no intuito de garantir os lucros da organização, colocando assim a saúde e bem estar do operário em segundo plano. Para tal o Taylorismo propõe a adequação dos instrumentos e ferramentas de produção, a organização e arranjo físico do maquinário para racionalizar o fluxo de produção, a diminuição dos ruídos para conforto do trabalhador e

instrumentos e equipamentos especiais, como transportadores do fluxo de produção.

A perspectiva explorada por Taylor também está presente na abordagem da construção pré-fabricada (fora do local de implantação). Além do aumento da segurança através de medidas tomadas para combater acidentes e melhorar as condições do trabalho na fábrica, essa abordagem pode fornecer turnos flexíveis para os trabalhadores.

A ideia de gerar um espaço mais seguro para os trabalhadores através de um ambiente controlado e não exposto aos riscos de condições meteorológicas externas e perigos relativos ao canteiro de obra (e.g. ruídos, qualidade de ar e disposição física do canteiro) pode ser favorável ao trabalhador como forma de “conforto”, mas não menos perverso quanto ao controle, subordinação e alienação do trabalho. A Figura 37 ilustra o ambiente de fábrica da Empresa I: as atividades são realizadas em um ambiente controlado e sem a interferência das intempéries climáticas; os módulos permanecem de maneira estática durante a fabricação e a mão de obra trabalha a maior parte do tempo na fábrica.

Figura 39: Trabalhadores na fábrica da Empresa I



Fonte: Fernandes, 2018. p. 90

5.2.4 Terceirização

De acordo com Villela (2007) a terceirização consiste na transferência de responsabilidade de um estágio específico de serviço, produção ou comercialização de uma empresa para outra. A prática foi inserida nos anos 90 no Brasil alterando os padrões do processo produtivo na indústria. A prática é associada à descentralização produtiva, externando as atividades de uma empresa e flexibilizando a força de trabalho, tornado-se parte de um conjunto de mudanças técnico-organizacionais operadas pelo capital.

Arantes (2010) aponta como as construtoras reduziram o número de funcionários empregados (corpo efetivo da empresa) e passaram a subcontratar mão de obra com o objetivo de redução de custos. Subcontratados são aqueles que produzem “mais por menos”, uma consequência da contratação e pagamento exclusivo por serviços realizados e não por tempo de trabalho, transferindo assim os riscos envolvidos.

Com a padronização e a standardização dos projetos e métodos construtivos, a terceirização se torna extremamente favorável por não exigir soluções técnicas específicas. Durante conversa com um membro da equipe de projetos de uma empresa expoente do segmento de construção M3D em território nacional, foi explicitado que, durante a fase inicial da empresa a mão de obra era multidisciplinar e dessa forma os trabalhadores da fábrica executavam variadas funções (e.g. o operário encanador também era o soldador e auxiliava na instalação elétrica), porém essa logística não funcionou conforme o esperado e a nova legislação de contratação permitiu que a empresa terceirizasse diversos trabalhos dentro do parque fabril. Atualmente a mão de obra de serviços de apoio e fornecimento de componentes é inteiramente subcontratada, direcionando o foco da empresa para o trabalho de coordenação, incluindo nessa etapa a coordenação de cada serviço subcontratado para que a obra não sofra “atropelos” e conseqüentemente atrase. Dessa forma, desde o chassi estrutural do módulo base, até o revestimento e instalação de esquadrias a empresa subcontrata outras empresas. A única parte em que a mão de obra não é subcontratada é a etapa de montagem dos módulos no terreno. Com a terceirização dos trabalhos, os funcionários multidisciplinares internos à empresa matriz se tornaram líderes de setores (de acordo com a habilidade de cada um) e realizam a conferência dos serviços executados pela equipe subcontratada. Segundo o entrevistado, a empresa entendeu que a terceirização dos serviços daria escalabilidade à empresa, supriria uma demanda aumentada de produção e melhoria a produtividade e

qualidade de produção.

Num mercado cada vez mais competitivo, a terceirização se torna uma opção produtiva para as empresas que exploram a metodologia M3D pela capacidade de ampliar a eficiência e reduzir os prazos de entrega pelo paralelismo das etapas de uma obra. A pré-fabricação e a divisão especializada do trabalho permite que uma empresa aloque pacotes de trabalhos para equipes terceirizadas. A rápida conclusão dos módulos auxilia a comercialização do produto e o retorno do investimento despendido pelo contratante. A relação de subcontratação é complexa e é necessário o comprometimento em relação aos prazos e ao padrão de qualidade requisitado pela empresa matriz.

Villela (2007) a partir de uma análise de um trabalho realizado por Druck (1995) sobre o processo de terceirização nos anos 90, tem como hipótese as consequências políticas dessa prática, em que a fragmentação do trabalho tem sido uma forma de fragilizar as representações e as práticas sindicais, enfraquecendo os laços de solidariedade entre os trabalhadores e incentivando a concorrência entre o grupo.

5.2.5 Trabalho no canteiro

A pré-fabricação tem sido uma forma de alterar a prática e organização da construção civil transferindo uma parcela do canteiro de obras para a indústria. Entretanto, parte do trabalho (e.g. terraplanagem, fundações, serviços, ligações, montagem) continua sendo executado no canteiro de obra de forma rudimentar criando um descompasso entre as duas tecnologias dentro do mesmo esquema.

Arantes (2010) caracteriza o alargamento produtivo em direção aos extremos da automação e do artesanato como canteiro híbrido, representado pelo paradoxo de uma produção que de um lado é representado pela maquinofatura, automação com máquinas de controle numérico, e de outro, a mão de obra artesanal. Entre esses dois extremos ainda reside o operário-montador, que faz todo trabalho de montagem de peças e módulos no terreno.

Mascarenhas (2015) busca a compreensão da atuação das empreiteiras dentro do ciclo de obras que utilizam o sistema de *Light Steel Frame* (LSF) e *Drywall*, sistema construtivo de painéis pré-fabricados compostos de perfis de aço. No estudo, a autora relata que os sistemas

tecnológicos que usufruem da mecanização, como o LSF, não alteram efetivamente a base trabalho intensivo no setor de edificações. O trabalho manual persiste nos canteiros e dessa forma a técnica não poderia ser considerada “contra-hegemônica” por não apresentar uma ruptura no processo de construção e na forma de exploração de mão de obra.

5.2.6 Casos Analisados

Nos dois casos analisados foi apontada a prática de terceirização da mão de obra dentro do parque fabril das empresas. As vantagens do contratado terceirizado, para o empregador, são relativas a: redução dos custos trabalhistas, uma vez que a empresa passa a atribuir às atividades relacionadas ao departamento de recursos humanos e encargos trabalhistas às empresas terceirizadas; aumento da produtividade na medida em que são impostas “metas” como medição cotidiana da produção e pagamento exclusivo por serviços realizados e não por tempo trabalhado; celeridade nos serviços, consequência da prática de “salário eficiência”, na qual o funcionário é responsável pela construção de seu próprio salário através da produtividade; ampliação da previsibilidade de custo, pois se pode orçar obra e valor de mão de obra antes de começá-la. Entretanto, como foi descrito ao longo deste capítulo, a prática de terceirização é apontada como fenômeno responsável pela precarização das relações de trabalho e a fragmentação da consciência coletiva.

Os entrevistados apontam que a segurança do trabalho é aprimorada pelas condições físicas de um ambiente de fábrica. A organização imposta pelas fábricas é caracterizada pela redução da geração de entulho e pela ausência de grandes depósitos de materiais, oferecendo melhores condições de segurança ao trabalho e contribuindo para a redução dos acidentes de trabalho.

Já a relação entre o trabalho executado na fábrica e trabalho no canteiro de obras é marcado pelo descompasso tecnológico e pela imposição de uma disciplina de projetos rigorosa. O sistema industrializado não permite ajustes significativos e definições posteriores no canteiro de obras e dessa forma, a fim de eliminar falhas no processo construtivo e intensificar a qualidade da construção, os serviços de fábrica e canteiro devem seguir rigorosamente todos os projetos.

5.3. OBSOLESCÊNCIA E O CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES

5.3.1 Adaptada para o futuro

A customização em massa se tornou possível graças ao avanço proveniente das tecnologias de produção, como a fabricação digital e o design paramétrico. Elementos e componentes construtivos podem ser fabricados de forma customizada, sem alteração significativa de custo final para indústria e conseqüentemente para a construção. Para alcançar a customização em massa os processos e produtos deverão ser pensados como sistemas, o que significa que necessitarão de serem produzidos de forma que possibilitem a abertura à flexibilidade, traduzidas diretamente para a liberdade em termos de projeto. A liberdade de projeto (respeitando as limitações impostas pela indústria) e flexibilidade aplicada à arquitetura representa uma ferramenta que ajuda a alcançar uma vida útil estendida para as edificações. Dessa forma, a flexibilidade programada torna as edificações facilmente adaptáveis de acordo com as mudanças durante a vida dos usuários.

A construção M3D pode ser considerada como uma estratégia de personalização em massa visto que cada módulo atende uma ou mais funções bem definidas de uma gama de produtos que estão disponíveis em várias opções, formatações e junções. A capacidade de alterar sua aparência e disposição interna e externa, comprometer-se com os requisitos de sua função e poder evoluir ao longo do tempo representa o motivo de adotar os sistemas modulares na intenção de prolongar a vida útil da edificação.

Em 2005 a *Ecottish Ecological Design Association (SEDA)* encomendou um guia³⁰ para ajudar a resolver o problema da reciclagem na construção civil no Reino Unido e fornecer orientações práticas sobre como reduzir o desperdício de construção na fonte. O guia detalha alguns princípios chaves para a desconstrução: (1) projetar edifícios para serem adaptáveis a diferentes padrões de ocupações; (2) concepção por camadas / *layers* de acordo com a expectativa de vida útil; (3) acessibilidade física de componentes para reparo ou substituição; (4) conectores para permitir que os componentes sejam independentes e intercambiáveis; (5) usar apenas componentes duráveis e que podem ser reutilizados – evitar o uso de materiais fixos; (6) cautela quanto às intempéries e desgastes diferenciais das superfícies, permitindo o reparo separadamente de outras áreas; (7) planejamento cuidadoso das áreas e rotas de serviço

³⁰ Morgan, Chris & Stevenson, Fionn. (2005). Design for Deconstruction. Building For a Future.

para que possam ser facilmente identificados e acessados.

Já no guia *Design for Adaptability, Deconstruction, and Reuse* elaborado pela AIA (2015) são analisadas estratégias de design para edifícios e materiais duradouros, design para adaptabilidade, desconstrução e reutilização.

5.3.2 Ampliabilidade

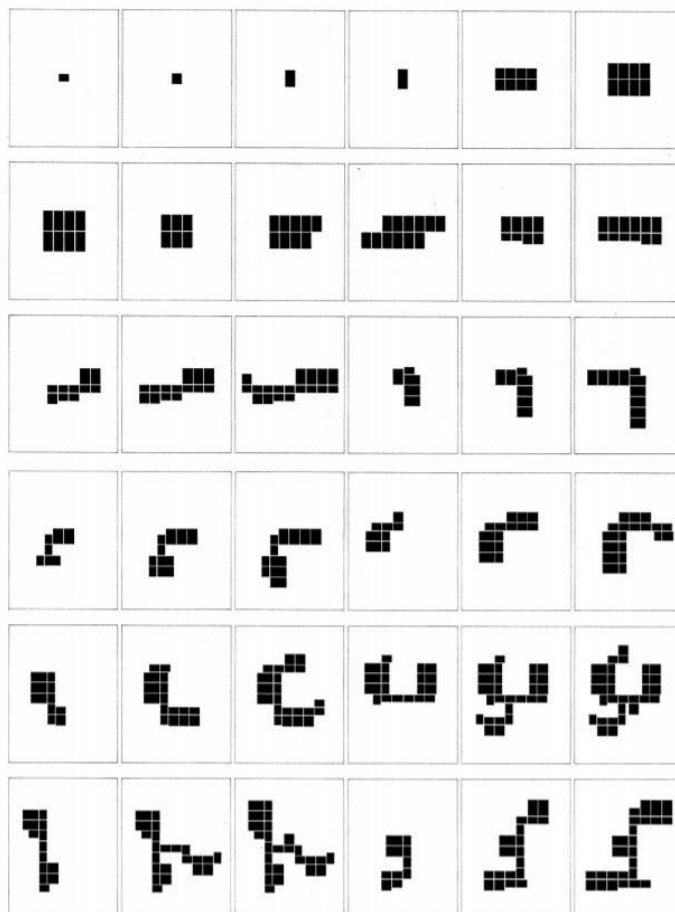
No final da década de 60, o arquiteto dinamarquês Jørn Utzon, fascinado pela lógica aditiva da arquitetura e pelo crescimento das formas naturais, desenvolveu reflexões sobre o processo de evolução, culminando na ideia de uma “arquitetura aditiva”. Tendo como conceito básico a utilização de módulos padronizados que são interligados por adição (sem interferência no módulo básico), a arquitetura aditiva fornece um tema importante para os processos de projeto do arquiteto. A ideia permite formar diversos tipos e escalas de edifícios através de simples permutações de unidades. Essa experiência exemplifica a vantagem e a facilidade de adaptabilidade da arquitetura aditiva e mostra como a ideia se adequa às mudanças de programa bem como à capacidade de aumentar o ciclo de vida das edificações. O sistema de construção *Expansiva*, criado pelo arquiteto em 1969 (figura 40) é composto por quatro módulos retangulares de grande facilidade de montagem, reflete o entendimento genuíno da unidade de construção pré-fabricada como um fator vital para um projeto arquitetônico flexível, variável e em constante evolução (Scarsi, 2016).

No texto de 1970, intitulado *Additive Architecture*, Utzon aborda o assunto da arquitetura e construção industrializada. O “princípio aditivo” surge da busca pela liberdade em resposta às necessidades funcionais de um programa, que dão origem a uma nova forma arquitetônica. O arquiteto afirma que a utilização consistente de componentes de construção industrializados só pode ser alcançada se esses componentes puderem ser adicionados aos edifícios sem precisarem de cortes e perdas para adaptação e encaixe.

O sistema *Expansiva* soma as ideias de padronização e princípio de adição num design modular racional. Esses mesmos princípios podem ser explorados pelas indústrias que fazem uso do sistema M3D já que o sistema valoriza a capacidade de ser indeterminado e favorecer as possibilidades de mutações, simplesmente adicionando novas unidades modulares com a utilização da flexibilidade “*plug-and-play*”. O sistema permite a incorporação posterior de

novos módulos conforme necessidades do usuário, as ampliações podem ocorrer na vertical ou horizontal, desde que já esteja previsto no projeto inicial.

Figura 40: Diagrama de arranjos do Sistema Expansiva de Ultzon.



Fonte: Scarsi (2016), p. 73

Bernard Leupen em seu artigo *The Frame and The Generic Space - A New Way Of Looking To Flexibility*, define as duas palavras *frame* e espaço genérico³¹. *Frame* abrange qualidades que determinam a arquitetura por um longo período, são componentes permanentes ou duráveis onde a mudança é determinada. Já o espaço genérico é o espaço contido dentro deste frame e seu uso não é especificado e assim torna-se flexível. Dessa forma, o autor enfatiza o papel dos elementos arquitetônicos e propõe um processo que considere o “permanente”, e não os elementos “alternáveis”, como ponto de partida. Neste conceito, o permanente (*frame*), no sistema M3D pode ser considerado como o chassi – módulo-estrutura formado pelos componentes: pilares, vigas e conexões – executado como estrutura resistente qual se torna o abrigo do espaço flexível interno capaz de processar alterações diversas.

³¹ Tradução para o termo “*generic space*”.

5.3.3 Camadas / Layers

Conforme Morgan (2005) grande parte do desperdício resultante da construção civil não provém da demolição de edifícios completos, mas de processos incrementais: reforma, modernização (*retrofit*), alterações de adequação, desgaste ou decomposição e componentes que atingem o fim de sua vida útil. Esse desperdício pode ser considerado desnecessário visto que, em muitos casos, os componentes não atingiram o limite do tempo destinado à alterabilidade e são removidos pelo simples fato de estarem fixos a outros componentes e elementos adjacentes que necessitam de adequação ou substituição.

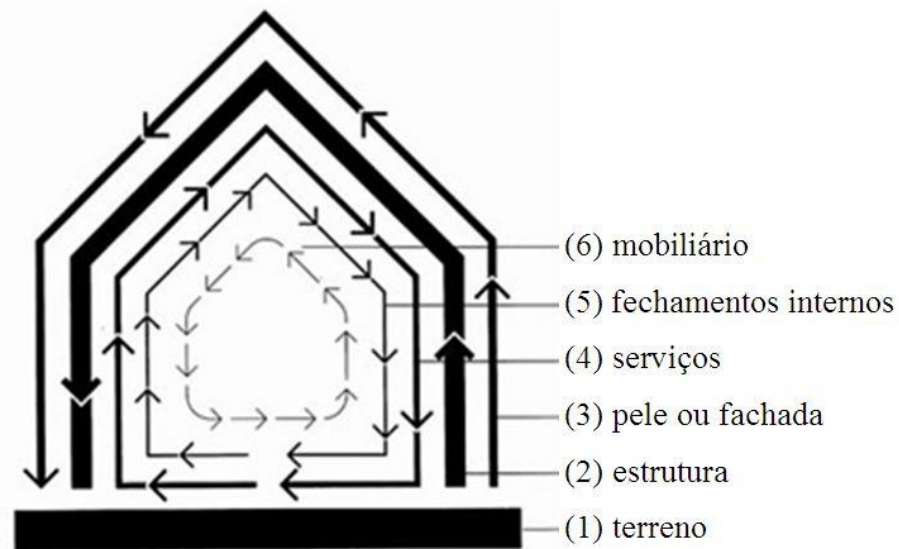
Stewart Brand, em *How Buildings Learn* (1994), desenvolve uma pesquisa sobre as transformações dadas aos edifícios ao longo do ciclo de vida, referindo a que toda arquitetura se transforma continuamente após a sua construção e posterior ocupação, e que dessa forma, ela deveria ser durável o suficiente para permitir que as transformações ocorram. Para tal, distingue o edifício em seis³² camadas associadas a níveis diferentes de alterabilidade, qual sejam:

- terreno – eterno;
- estrutura – aproximadamente 50 anos;
- pele ou fachada – 15 a 20 anos;
- serviços – atualizados a cada 7 a 15 anos;
- fechamentos internos – modificados dependendo do novo uso ou usuário, considerada uma média de 03 anos;
- mobiliário – mudança diária.

A divisão de Brand separa as camadas em funções diferentes aliada ao tempo necessário para substituição: elementos com ciclos de substituição curtos são locados na superfície, facilitando o acesso e remoção, já os componentes com ciclos prolongados são posicionados por baixo (ou por dentro), sem interrupções indevidas na edificação como um todo. O caráter de independência dentre as camadas, bem como os diferentes ciclos, permite alterações de acordo com a necessidade sem que haja interferência nas demais camadas.

³² Frank Duffy foi quem primeiro desenvolveu a ideia de diferentes layers ou camadas na construção em 1990. Contudo sua divisão correspondia a quatro *layers* (*shell, services, scenery, set*) e Brand alonga esse conceito em 1994 distinguindo os *layers* em seis.

Figura 41: Esquema de camadas de um edifício



Fonte: Traduzido pelo autor de Brand, 1994

Para que os ciclos de vida das edificações perdurem, a indústria modular deverá prever estratégias que permitam a independência entre as camadas: elementos com ritmos de mudança distintos deverão ser locados separadamente no edifício. Neste cenário as camadas construtivas deverão ser autônomas para que a mudança não seja comprometida por outra camada, por exemplo: se paredes externas de um edifício funcionam como apoios ou suportam cargas, o sistema estrutural naturalmente estará travado com o sistema de pele ou fachada. A dependência desses sistemas torna a capacidade de mudança da edificação limitada e conseqüentemente representa uma vida útil restritiva. O chassi estrutural dos módulos, amplamente usados na indústria M3D, funciona de forma autônoma à pele da edificação e dessa forma, fornece maior liberdade e flexibilidade no projeto, ampliando a vida útil e oferecendo configuração para adaptabilidade.

Smith (2010) indica que projetar para montagem nem sempre é o mesmo que projetar para desmontagem e embora um edifício possa ter uma ordem sequencial lógica de montagem, isso pode não ocorrer numa seqüência de desconstrução. Estratégias de flexibilidade e desmontagem podem ser implementadas com maior facilidade com o planejamento de elementos pré-fabricados e a utilização de sistemas modulares de pré-fabricação deverá refletir o cuidado com a articulação entre elementos.

5.3.4 Construindo para Desconstrução

Para proporcionar um ciclo de vida prolongado, o projeto deve prever a adaptabilidade no início da vida útil da edificação, ou seja, projetar intencionalmente o edifício de modo a sugerir ou possibilitar adaptações futuras. Um projeto detalhado para desconstrução permite que um edifício, ao final de sua vida útil, seja o recurso para um próximo (desmantelando uma edificação de tal maneira que seus componentes possam ser reutilizados) e ajuda a manter o ciclo para uso de recursos. A lógica modular e construtiva M3D admite um raciocínio adaptativo, no qual um edifício existente está pronto para adaptação conforme necessário e igualmente pronto para desconstrução, se projetado para tal. Componentes podem ser projetados e fabricados para desmontagem e reutilização, de modo que a edificação possa ser desconstruída em partes para posterior reconstrução em outro local. Mesmo que não sejam reutilizados (integralmente), os edifícios constituídos por peças modulares e projetados para desmontagem são mais fáceis de demolir e remover de maneira controlada e sem desperdício, tornando a demolição menos impactante ao meio ambiente em comparação aos sistemas habituais.

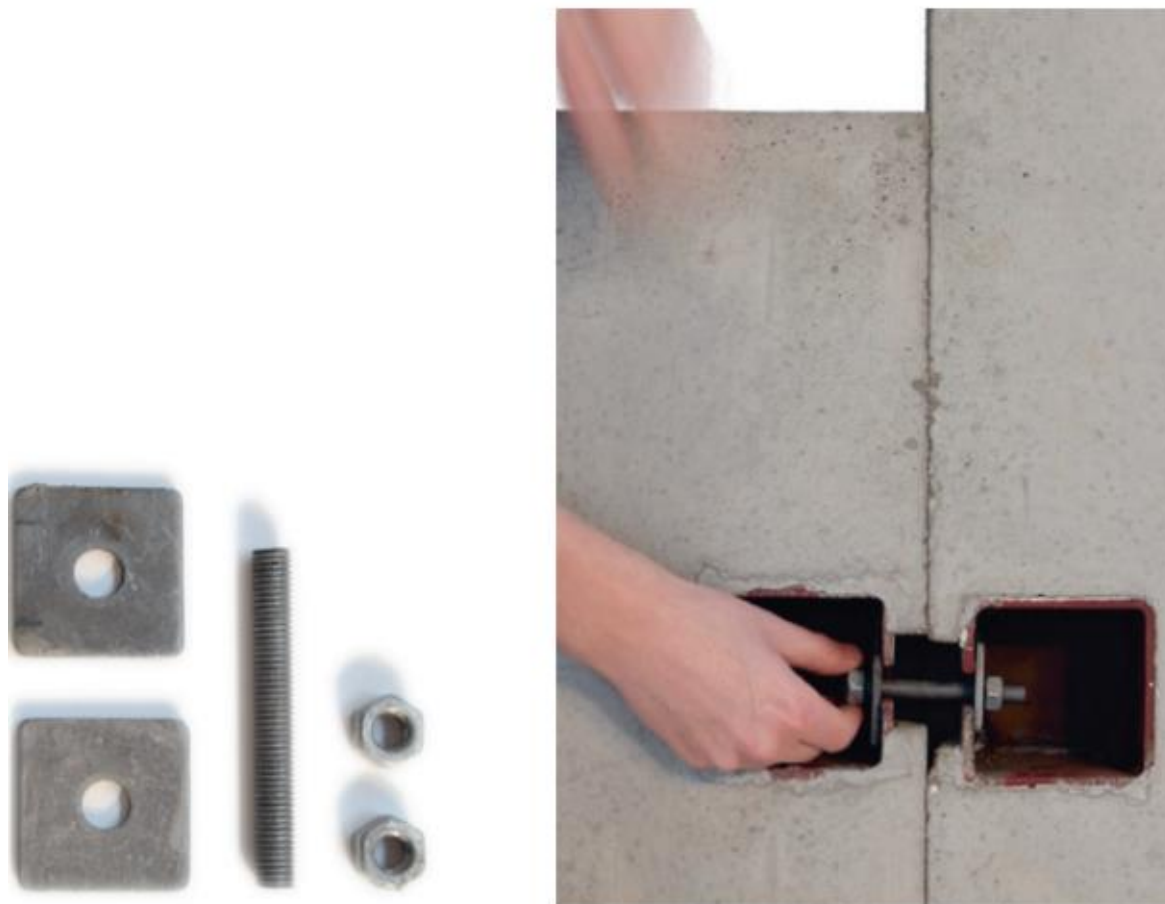
AIA (2015) analisa estratégias de design para edifícios e materiais duradouros, design para adaptabilidade, desconstrução e reutilização. Segundo a pesquisa, a primeira função do arquiteto no escopo de projetar edifícios adaptáveis é justamente incentivar a consideração da reutilização e, conseqüentemente, aumentar a conscientização sobre a vida das edificações e os impactos associados à demolições e novas construções.

Edifícios modulares podem ser posteriormente desmontados e reutilizados. Conforme Lawson (2014) um exemplo recente da reutilização de módulos foi a construção de um centro de treinamento no Hospital Freeman (Newcastle, Inglaterra) no qual 10 módulos pré-fabricados com estrutura em aço foram reciclados, reformados e realocados. O sistema permitiu agilidade no tempo de obra e um uso inferior de carbono e energia durante a construção, em comparação com um edifício construído no local de tamanho equivalente.

Conexões acessíveis e de fácil manuseio são vitais para o ciclo de vida prolongado dos módulos. O protótipo da figura 42 mostra a conexão simples entre dois elementos pré-moldados usando a tecnologia de conexão mecânica. As conexões entre os elementos são baseadas em parafusos de transferência de carga acessíveis, colocados em caixas de

ancoragem incorporadas nos painéis pré-moldados. As juntas aparafusadas são acessíveis pelo lado externo do elemento e protegidas contra incêndio devido ao isolamento e revestimento externo.

Figura 42: Uso de conexão mecânica entre elementos.



Fonte: Zalloum (2018), p. 32

5.3.5 Análise do Ciclo de Vida e impacto ambiental

Quale (2017) elabora uma pesquisa de análise do ciclo de vida (ACV) e impactos ambientais decorrentes dos métodos de construção *offsite* e no canteiro de obras. Segundo o autor, a maioria das pesquisas sobre ACV indica a fase de uso e ocupação como responsável pela maioria dos impactos ambientais no ciclo de vida dos edifícios, porém, em alguns casos, a fase de construção contribui com a maioria desses impactos. Contrariando a literatura atual que sugere que a fase de ocupação seja a mais importante para investigação na avaliação do impacto ambiental das edificações, diversos autores constataam que a fase de construção contribui de forma abundante para emissões tóxicas e geração de resíduos. Os impactos

ambientais de uma construção são consequências das ações que ocorrem durante todo o processo como: transporte e movimentação, uso de água e energia, uso de equipamentos de construção e produção de resíduos. Na construção pré-fabricada, o transporte de grandes componentes e a utilização de maquinário pesado para movimentação dos componentes são contribuintes substanciais para impactos ambientais.

A pesquisa de Quale captura diferenças ao longo do ciclo de vida dos métodos de construção *onsite e offsite*, considerando os impactos da produção e transporte de materiais, uso de energia, transporte de mão de obra e gerenciamento de resíduos. Vale ressaltar que a fase de uso e a posterior demolição ou reciclagem foram omitidas no estudo. Por meio de entrevistas e visitas às instalações de indústrias modulares nos EUA a equipe de pesquisa coletou dados que foram posteriormente inseridos num modelo de avaliação de impacto.

Ao final, Quale conclui que tanto a construção modular quanto a convencional podem ser aperfeiçoadas quando se trata de reduzir os impactos ambientais. A climatização artificial das instalações industriais, que produzem os módulos, contribuem substancialmente na taxa de energia incorporada dos edifícios. Outras estratégias a serem consideradas incluem procedimentos de aquisição de materiais de construção eficientes, programação estratégica de subempreiteiros, uso de sistemas de energia renovável e transporte compartilhado para funcionários. A quantidade de tempo necessária para o trabalho no canteiro tem um papel importante na avaliação das diferenças de impacto dos dois modelos e os resultados indicam o cronograma reduzido como principal vantagem da construção modular. Quando necessária à utilização de componentes menores, sistematicamente também será necessário maior trabalho no canteiro, aumentando assim o impacto ambiental das edificações.

5.3.6 A experiência japonesa

Kiichiro Toyoda (filho do fundador da *Toyoda Loom Works*, Sakichi Toyoda) estudou e aperfeiçoou o modelo de processo Fordista ao reparar o grande desperdício e resíduos criados pela produção americana. A ideia de um fluxo contínuo de produção e a flexibilidade no sistema em permitir a customização em massa, criados pela Toyota, resultaram no que hoje conhecemos por *Lean Manufacturing*. Essa filosofia se caracteriza por um sistema integral de produção e gestão melhorada da produtividade que foi adotada por diversos setores.

A habitação pré-fabricada representa mais da metade das vendas da *Sekisui* e desde 1960, vem se empenhando nessa produção. A *Sekisui House* e a *Sekisui Heim* são duas empresas subsidiárias separadas, com uma produção anual média combinada de cerca de 68 mil unidades habitacionais. A *Sekisui House* é a maior construtora residencial do Japão, tanto em termos de receita quanto no atual número de casas construídas.

Na experiência japonesa, o gerenciamento do ciclo de vida das edificações e o relacionamento estabelecido entre contratante e contratado são essenciais para atrair e reter clientes. Linner e Bock (2012) descrevem o comprometimento das empresas japonesas na relação com os clientes e na cultura de pós-venda, assim como na orientação para o ciclo de vida das edificações. No momento da aquisição de uma edificação concebida pela *Toyota* ou *Sekisui* o cliente recebe o “manual do proprietário”, orientando o usuário a futuras intervenções e manutenções. Em alguns casos, a fase de transição é acompanhada por profissionais da empresa para garantir a melhor adaptação possível. Segundo os autores, a *Toyota* oferece garantia de 60 anos para estrutura, fachada, paredes, tetos e 30 anos para o restante dos elementos (sem incluir o piso, que recebe uma garantia de 05 anos). Durante o período de garantia, inspeções regulares são conduzidas por uma equipe de manutenção especialmente treinada para garantir que os danos sejam reparados e as reclamações sejam evitadas, em um esforço de proatividade. Para além do acompanhamento, as empresas oferecem certificados de qualidade e garantia para comprovação do desempenho, qualidade e durabilidade da edificação e seus subsistemas. Como as edificações são fabricadas em um ambiente controlado e todos os modelos de pré-produção foram submetidos a rigorosos testes de qualidade semelhantes aos da indústria automotiva, o alto desempenho em relação à durabilidade e resistência sísmicas pode ser garantido.

5.3.7 Casos Analisados

No caso da Empresa I, a liberdade de reformular a organização do espaço interno das construções parte da noção de que o módulo base fabricado pela empresa é estruturado, em seu perímetro, por pilares e vigas compostos por perfis de aço carbono de seção quadrada ou perfis de viga W, tornando o espaço interno ao módulo ausente de pilares. Dessa forma, as divisórias internas ao módulo não apresenta característica portante e assim podem ser removidas sem afetar a estrutura geral da edificação.

As vedações externas e aberturas também se beneficiam da estrutura perimetral do sistema construtivo. Apesar de cada módulo produzido pela Empresa I necessitar ter pelo menos um ponto para instalação da tubulação de descida pluvial, as instalações e tubulações são desvinculadas dos elementos estruturais, permitindo uma distribuição flexível. A ampliabilidade parte de suas possibilidades: externa e interna. A primeira possibilidade refere-se à simples adição de novos módulos ao conjunto pré-existente e a segunda parte da disponibilidade permitida pelo sistema construtivo de maior aproveitamento do espaço interno.

Figura 42: Construção típica da Empresa I através do M3D.



Fonte: Empresa I

Já o protótipo executado pela Empresa II é em sua maioria elaborado em sistema painelizado, tendo apenas as áreas molhadas (área de serviço, cozinha e sanitários) executadas em M3D. O sistema de painéis é composto por elementos totalmente prontos e testados em fábrica que são montados no canteiro. Os painéis foram executados em chapas de aço galvanizado e dessa forma, as paredes da edificação possuem função estrutural. Reformas significativas podem representar grandes gastos quando interferirem no caráter estrutural dos elementos sendo indicada uma estrutura independente para permitir a livre locação das paredes.

Figura 44: Construção do protótipo da Empresa II em caráter híbrido, utilizando o sistema M3D para a composição das áreas molhadas e restante em sistema 2D.



Fonte: Empresa II

As duas empresas pretendem elaborar um manual a ser entregue a cada cliente ou proprietário, contendo informações importantes a respeito do sistema construtivo e de toda sua infraestrutura. Neste documento os materiais utilizados para a composição da edificação serão identificados e serão expostas as garantias previstas assim como métodos para execução de reparos e manutenção. As duas empresas também citam a necessidade de manutenção periódica para garantir o desempenho adequado das construções. Conforme informado pela Empresa I, seguindo um ciclo programado de manutenção periódica, a vida útil das edificações oferecidas pela organização será de no mínimo 50 anos. Devido a inexistência de edificações datadas para verificação desta informação, a pesquisa considerou apenas as respostas fornecidas pela empresa.

5.4 INTERAÇÕES ENTRE ARQUITETURA E A INDÚSTRIA

5.4.1 Projeto

O processo de projeto, segundo Malard (2016), envolve três etapas distintas, embora interativas: (1) Análise – que seria o conhecimento do problema (problematização); (2) Síntese – geração de soluções possíveis para os fatores levantados na primeira etapa; (3) Avaliação (crítica) – procedimento que permite detectar deficiências nas soluções propostas na etapa anterior, antes que os processos seguintes tenham início. Dessa forma, a arquitetura como disciplina interativa implica a mistura de ideias, agentes e elementos, contribuindo para a configuração do produto arquitetônico: a construção.

Moreira (2007) defende que uma ideia adotada em projeto funciona como um princípio racional durante seu desenvolvimento, na qual as soluções subsequentes deverão respeitar este princípio. Porém, não se trata apenas de uma única solução, e sim de inúmeras soluções que definem outros inúmeros aspectos de um objeto, atreladas umas às outras. Além disso, o projetista deve buscar a todo o momento as consequências que estas alternativas acarretam.

A materialização das ideias e intenções é o que denominamos de projeto, que pode ser definido como a manifestação da capacidade de imaginar o espaço, perceber a sua função e atribuir uma expressão formal. O processo de projeto não é linear e muito menos simples. O projeto é desenvolvido e moldado por diversas circunstâncias, como por exemplo, a extensa gama de materiais e tecnologias atuais.

O edifício construído trata de colocar em prática as concepções e o projeto. Etapa em que a razão e os processos de construção se relacionam em seu maior nível de entendimento: a tectônica (construção do edifício) como a poética do fazer, a técnica como o método do fazer e a tecnologia como o conhecimento do fazer. Esses conceitos, conforme Scarsi (2016) estão absolutamente e inevitavelmente relacionados ao processo envolvido no desenvolvimento de sistemas modulares. Modularidade implica visualizar o “tabuleiro do jogo”, projetar o conjunto de regras que dominarão o processo criativo e escolher a tecnologia apropriada para o desenvolvimento do sistema de construção. A concepção de sistemas modulares deve contemplar com muito cuidado cada cenário, a fim de adquirir os atributos específicos

relacionados a espaço, fisionomia e flexibilidade necessários. Smith (2010) aponta que na pré-fabricação o projeto deve ser desenvolvido principalmente sob a ótica da produção. O autor critica a maneira pela qual os arquitetos priorizaram a forma e a estética de uma construção enquanto o processo pelo qual a edificação é produzida é secundário.

5.4.2 Método de Entrega de Projeto

Schoenborn (2012) enfatiza que a qualidade e a relação custo-benefício da construção modular dependem de um esforço de projeto coordenado e, de forma contraditória, o longo período requerido para fase de projeto não costuma ser assimilada a projetos de construções modulares devido ao cronograma acelerado. Um método de entrega de projeto é um sistema usado por uma agência ou proprietário como forma de organizar e financiar serviços de projeto, construção, operações e manutenção de uma estrutura ou instalação, definindo as relações e interações entre os participantes de maneira contratual, além de estabelecer a distribuição dos riscos e benefícios para cada um dos envolvidos no projeto. O levantamento das empresas e a pesquisa realizada quanto à estratégia de negócio identificou a adoção de duas tipologias de método de entrega de projetos que serão caracterizadas a seguir:

Carvalho (2020) caracteriza o *Design-Bid-Build* (DBB) como o método de entrega de projeto mais tradicional no setor AEC que consiste em duas etapas principais de entrega: (1) pacote de informações e (2) execução da obra baseada nas informações da primeira etapa. Nesse método uma equipe independente (responsável pelo projeto de arquitetura e pelo pacote de informações relativas) é contratada diretamente pelo cliente. O sistema clássico de entrega separa-se em dois estágios: o pacote de informações é comissionado e confeccionado por uma empresa e uma vez definido e aprovado, essas informações são repassadas a outra empresa responsável pela execução dos serviços. O modelo oferece ao proprietário a vantagem da concorrência livre no mercado, por meio da fase de projeto seguida pela fase de licitação e construção separadas.

Na construção modular o tempo para conclusão do projeto tende a aumentar com a utilização do método DBB e o processo pode até mesmo comprometer a qualidade final da obra, dado que o projeto tende a ser desenvolvido com pouca ou nenhuma contribuição das partes que o

construirão acarretando uma quantidade significativa de questões de “construtibilidade”³³ e coordenação que não são descobertas e resolvidas até o momento da construção. A empresa contratada para execução na indústria precisa estabelecer um relacionamento cuidadoso com os arquitetos e profissionais subcontratos na primeira etapa. Dessa forma é necessário um cuidado extra para definir escopos separados a fim de evitar aditivos contratuais, que por sua vez, aumentam os custos excedendo o cronograma do projeto.

Outro método de entrega utilizado é o *Design-Build* (DB), que Carvalho (2020) define como um método pelo qual uma única empresa contratada fica responsável pelo desenvolvimento do projeto e construção. Ao utilizar esse método é possível iniciar a obra sem que os projetos estejam completamente finalizados visto que a mesma empresa gerencia ambas as atividades e, portanto, o fluxo de informação interno da empresa permite essa configuração. O contratado assume responsabilidades pela coordenação, qualidade, controle de custos e concordância ao cronograma. Este método é normalmente preferido pelos fabricantes modulares visto que cada indústria tem seu próprio sistema para design e construção. Nesse cenário a garantia de qualidade se torna previsível graças ao relacionamento interno de arquitetos, fabricantes e empreiteiros estabelecido em parcerias anteriores. A prototipagem de projetos, neste caso, é feita para que todos envolvidos na cadeia de produção possam testar um conceito de projeto antes que um grande volume de trabalho seja realizado. Conforme Schoenborn (2012), a prototipagem em fábrica pode replicar o processo de produção antecipado, permitindo que a eficiência do processo também seja criticada e adaptada. Cada estrutura de contrato e metodologia tem vantagens e desvantagens, portanto, no início de cada projeto, os papéis e responsabilidades de todas as partes colaboradoras devem ser cuidadosamente considerados.

O estudo realizado por Schoenborn (2012) apresenta as barreiras e limitações de projeto impostas aos arquitetos pelo processo de fabricação de edifícios e provoca investigações futuras que proponham maneiras de superar esses obstáculos. Uma das restrições listadas é a falta de conhecimento dos processos de fabricação entre profissionais de arquitetura. A vista disso, a pesquisa instrui os arquitetos informando-os sobre as possibilidades e impedimentos através da construção modular, tais como: o paralelismo de tarefas possíveis graças ao

³³ “Trata-se da somatória de experiências e competências que as empresas têm para alcançar seus objetivos na obra”, completa o professor Ítalo Coutinho, coordenador da área de Engenharia e Construção do Instituto de Educação Tecnológica (IETEC).

processo de fabricação e a divisão em estágios; medidas internas de controle de qualidade e inspeções; noções dos métodos modais de envio e deslocamento dos componentes; procedimentos referentes à montagem no local de implantação; noções quanto à estrutura dos módulos e sua relatividade conforme cada detalhe padrão das empresas. Todavia, um estágio prolongado de desenvolvimento de projeto é comum com arquitetos não familiarizados com o processo de construção modular. Como medida para instruir os arquitetos está incluindo a adoção do método de entrega de projeto *Integrated Project Delivery* (IPD). IPD é uma abordagem que busca integrar pessoas, sistemas, estruturas de negócio e processos práticos com aproveitamento colaborativo da capacidade de todos os participantes, para reduzir o desperdício e melhorar a eficiência por meio de todas as fases de projeto que incluem projeto e fabricação até a construção (AIA, 2014). Schoenborn (2012 p 63) define esse panorama:

Mais do que em um cenário de design-build, a colaboração é otimizada porque as principais disciplinas (incluindo arquiteto, fabricante, empreiteiro geral e subcontratados especializados) formam uma única entidade ou uma parceria estratégica (IPD). O arquiteto está imerso no processo de fabricação.

Carvalho (2020) através de coleta e análise de dados elenca o método IPD como opção mais apropriada para a construção modular e baseado nos princípios de *lean production*³⁴ sugere um IPD próprio devido ao fato da gestão de obra se alterar significativamente com a construção modular. Os princípios de IPD podem ser aplicados a uma variedade de acordos contratuais e as equipes podem incluir membros além da tríade básica de proprietário, arquiteto e empreiteiro/construtora. Para a estrutura desse método é elencado pelo menos cinco agentes: (1) proprietário; (2) escritório de arquitetura; (3) fábrica de módulos; (4) empresa de transporte; (5) construtora.

Dessa forma, o agente referente ao projeto de arquitetura deve alterar sua maneira de produzir considerando os aspectos indicados por Schoenborn e deverá ser o gestor dos outros projetistas complementares, para que possa ocorrer a compatibilização de projetos de maneira integrada com as condições da fábrica. Todos os projetos necessitam estar prontos e validados anteriormente ao início da manufatura da obra e, por ser uma pré-fabricação, as alterações de projetos ficam restritas ao decorrer do processo. Em um esforço colaborativo o AIA (2007) elaborou um guia (*Integrated Project Delivery: A Guide*) orientando informações sobre

³⁴ *Lean Production* ou Produção Enxuta tem como objetivo a perfeição de produção através da melhoria contínua, um conceito que surgiu do sistema da produção da montadora automobilística japonesa Toyota. Os princípios desse conceito são trabalho em equipe, comunicação robusta e uso eficiente de recursos e eliminação de desperdícios.

princípios e técnicas de IPD e explica como utilizar o método na concepção e construção de projetos.

Num modelo de contratação tradicional os agentes de um projeto operam dentro de seus isolamentos, separados de responsabilidade, tendo pouca ou nenhuma comunicação entre as partes. O IPD busca objetivos compartilhados, quebrando as barreiras de isolamento e fazendo com que todos os principais agentes se concentrem para alcançar esses objetivos. Todavia, os agentes ainda assim possuem escopos de trabalho e papéis definidos. A equipe garante que as tarefas e responsabilidades sejam claramente definidas e compreendidas. Para o sucesso do IPD o processo de projeto é extenso e incorpora a colaboração e envolvimento de outros membros da equipe, incluindo construtores e fabricantes durante a fase inicial de projeto, tornando todo processo integrado.

Como membro da equipe, o arquiteto está necessariamente envolvido na definição do processo de projeto e ao usar um sistema construtivo M3D, a equipe de arquitetos é obrigada a executar serviços de detalhamento minuciosos relacionados à identificação e resolução de possíveis conflitos de projeto, aumentando assim o volume de serviços prestados na etapa de projeto.

O guia elaborado pelo AIA (2007) indica que as interações frequentes com outros membros da equipe durante a fase de projeto exigem que os desenhistas e arquitetos forneçam inúmeros documentos e desenhos para avaliação e contribuição. Essa interação resulta em responsabilidade adicional de rastrear durante toda a fase de projeto o status das interações fornecidas a outros membros da equipe e a natureza e substância das informações recebidas para prevenir más interpretações e trabalho em versões superadas.

5.4.3 BIM / Controle de qualidade

O processo de projeto na construção modular é facilitado graças à tecnologia de *building information modeling* (BIM) que permite a equipe (arquitetos, engenheiros, contratados e subcontratados) coordenar informações e criar um modelo virtual, que apesar de não construído, trata-se de um protótipo digital, englobando detalhes pertinentes à composição dos elementos e componentes. A prática possibilita simular a edificação e entender seu comportamento antes mesmo de sua construção real, enriquecendo a produção e acelerando o

processo de controle de qualidade.

O uso de recursos como prototipagem rápida e modelagem BIM diminuem substancialmente o risco de erros e omissões no projeto, sendo uma opção para contribuir com o controle das atividades em construções modulares. Conforme Carvalho (2020) a prática permite melhor compreensão do fluxo de trabalho e amplia as possibilidades de criação por possibilitar reflexões, análises e validações de ideias. Além disso, dispõe de um caráter instrumental que pode desencadear ações cognitivas e experimentações que contribuem para o pensamento crítico por trazer tangibilidade para as ideias. O uso do BIM auxilia o método de entrega IPD ao proporcionar uma plataforma de troca de informações entre todos agentes envolvidos e envolve princípios fundamentais como riscos compartilhados, tomadas de decisões colaborativas, planejamento intensificado, comunicação e organização.

5.4.4 Pensamento determinístico e projeto

O relatório de Construção Modular Permanente de 2018, fornecido pelo *Modular Building Institute* aponta que o papel do arquiteto em um projeto de construção é fundamental para seu sucesso e a decisão de utilizar a construção modular como sistema deve ser tomada antes da iniciação formal do projeto, levando em consideração uma série de recomendações.

O uso do sistema M3D evoca a necessidade de um projeto disciplinado, que se concentra em uma coordenação extrema dos agentes envolvidos, busca a mais alta precisão no projeto para mitigar futuras alterações em obra, mostra rigor pela definição de cada detalhe da construção e aposta em uma montagem simples e eficaz. Para cumprir totalmente com sua definição, os sistemas modulares devem cumprir rigorosamente uma série de requisitos mencionados neste trabalho e principalmente reconhecer que a equipe de projeto possa assumir responsabilidades diferentes daquelas tradicionalmente condicionadas ao arquiteto numa construção convencional. O projeto arquitetônico deve levar em conta todo processo de fabricação, as características de transporte e sequenciamento de uma obra modular.

No entanto, o projeto do arquiteto na construção em sistema M3D pode ser limitado a um modelo padronizado de produção e dimensões para que seja possível perceber as eficiências de uma fábrica em linha de produção. A repetição é a chave para obter eficiências nesse mercado, além é claro das limitações impostas pelos meios modais de transporte. O desafio

está em quanta variedade pode ser alcançada em meio a variedade de restrições e restrições impostas.

A natureza de colaboração e interação do modelo de entrega de projeto IPD torna esse método ideal para construção modular. No IPD a equipe de arquitetura e a fábrica irão trabalhar de forma integrada, oferecendo o *feedback* necessário para aprimoramento do design da construção e produção. O modelo de IPD se baseia em um alto nível de integração, não apenas em termos de colaboração entre equipes durante o projeto, mas também em termos de como o edifício é concebido e desenvolvido como um sistema integrado de pré-fabricação de produtos e componentes para obter o melhor desempenho possível. Esse modelo também permite que o custo real da obra seja estabelecido anteriormente no processo – custa meta – para que ajustes possam ser feitos durante a etapa de projeto a fim de garantir a conformidade com o orçamento.

Moe (2012) sugere que todos os sistemas construtivos, incluindo o sistema M3D, estão sujeitos a uma multiplicidade de influências (sociais ou técnicas) que são, entretanto, manifestados apenas em artefatos físicos. Dessa forma, o papel do arquiteto ao projetar e especificar os sistemas de construção de uma edificação extrapola os limites da atividade técnica de criação e documentação, e constrói relações sistêmicas entre uma teia de sistemas culturais, econômicos, ecológicos e políticos. Contraditoriamente – como descreve o autor – a disciplina da arquitetura há muito tempo isola seus interesses tecnológicos e a diligência desses sistemas que não obstante pressupõe um edifício, para um foco voltado ao objeto arquitetônico ao invés de suas associações e de seu engendramento.

No ensino de arquitetura a ideia de técnica construtiva é predominantemente desenvolvida como uma resultante de argumentos de ordem estética ou funcional. Moe aponta que a tecnologia é praticada e lecionada como um tópico tecnocrático autônomo, contrariando o princípio de colaboração mútua:

A arquitetura ensinou por muito tempo, e praticou a tecnologia como um tópico tecnocrático autônomo - geralmente caracterizado por um determinismo tecnológico não-reflexivo que resulta em cursos, pedagogias, consultorias e hábitos intelectuais tecnocráticos e assim, engendra uma série de práticas problemáticas. O determinismo tecnológico é a ideia de que a tecnologia segue um caminho previsível de progresso e que impulsiona a história, governa as decisões e desencadeia o progresso.

5.4.5 Casos Analisados

A importância do arquiteto em qualquer um dos sistemas adotados pela indústria é inegável. Decisões de projeto precisam ser tomadas com antecedência e para isso devem ser utilizados todos os recursos e ferramentas que estiverem ao alcance das equipes de projeto para mitigar futuras e onerosas intervenções. O envolvimento do arquiteto na produção contemporânea do sistema M3D em território nacional realiza-se geralmente de duas formas: (1) equipe de profissionais internos às empresas que ficam encarregadas de toda produção de desenhos e documentos contratuais; (2) equipe independente, contratada diretamente pelo cliente em que os projetos são encaminhados por esses profissionais para a indústria, que fiscaliza e adequa o projeto inicial ao sistema de cada empresa.

De forma geral, a solução construtiva inicial de módulo geratriz ou sistema é concebida pelos engenheiros das empresas e repassada às equipes de arquitetura como “módulo base”. Cada sistema construtivo M3D das empresas é diferenciado e dispõe de características quanto a dimensões, junções, materiais e particularidades. Dessa forma, essa interface requer a atenção do arquiteto para pontos que irão viabilizar o uso do sistema e, principalmente, gerar um melhor custo benefício da modulação para produção. Para a adaptação inicial de um projeto vindo de uma equipe de arquitetos independente, a primeira etapa é a chamada “modulação” do projeto, ou seja, adequar o projeto recebido às medidas e limitações do sistema da empresa. Mesmo que a equipe de arquitetos tenha utilizado na concepção do projeto o conceito de modularização, é feita uma análise e adaptação conjuntamente entre a equipe de arquitetos e engenheiros para adequação à estrutura e aos acabamentos disponíveis de cada empresa.

As empresas informam que o maior custo operacional e material está relacionado à etapa de produção e dessa forma o projeto precisa estar bem detalhado e compatibilizado para evitar gargalos na fábrica. O ideal de gestão colaborativa é bem claro para as empresas, e em sua maioria é citada a colaboração da equipe de produção na elaboração do projeto assim como pessoal de projeto integra-se às dinâmicas da produção.

O conjunto de desenhos produzidos pela equipe contratada reflete de modo preciso nas informações técnicas necessárias para as tarefas executadas no chão de fábrica e posteriormente na montagem no canteiro-de-obra. Os diversos desenhos técnicos poderão ser

utilizados para múltiplos requisitos como: análise e aprovação pelas autoridades competentes com base nas exigências legais (municipal, estadual, federal); referência à execução da obra e solicitação de materiais que compõem a obra; verificação financeira. Porém, a maioria dos arquitetos não está acostumada com o nível de detalhamento exigido para confecção dos módulos na fábrica e dessa forma, esse tipo de construção requer uma coordenação precoce e diálogo constante durante todo o desenvolvimento. A colaboração de desenhos por meio do BIM fornece vantagens a esse aspecto. A pesquisa identificou a utilização de plataforma BIM pela Empresa I, que favorece a modelagem e prototipagem das edificações além de fornecer facilidades advindas da parametrização dos componentes, que colaboram na escalabilidade do sistema e na formatação da listagem de materiais.

6 CONCLUSÃO

Durante o processo de pesquisa sobre as “**características do setor nacional de construção M3D**”, foi notável a concentração de empresas na região sul e sudeste do Brasil, sendo a região sul a mais rica em exemplos frutíferos dessas empresas. A última década foi marcada pelo surgimento de diversas empresas que exploram o M3D, demonstrando o crescimento do interesse em relação ao sistema no Brasil. Essa ascensão é marcada pela tendência crescente da industrialização por parte de alguns setores da construção a fim de aumentar a eficiência e melhorar a execução dos projetos. Nesse sentido, o M3D surge como um método para suprir tais necessidades, capaz de reduzir o tempo de execução de uma obra, obter precisão orçamentária, reduzir o desperdício de material e facilitar a manutenção dos edifícios. Apesar do surgimento de novas empresas, o sistema M3D ainda é bastante incipiente quando comparado aos demais setores da construção civil. Frente às vantagens previamente destacadas, uma série de desafios e barreiras pode ser associada ao uso do sistema no Brasil (outras hipóteses são apresentadas ao longo do trabalho):

1. **Falta de investimento em ciência e tecnologia:** Fica evidente a necessidade de cooperação tecnológica para inovação e desenvolvimento no setor da construção civil, inclusive nas tecnologias de gestão;
2. **Logística de transportes e respectivos custos:** Longas distâncias entre obra e fábrica que podem representar impedimentos relativos a custo da operação, regulamentações e logística frente aos benefícios do uso do sistema. O içamento dos módulos para implantação depende das características do canteiro;
3. **Altos custos inerentes à pré-fabricação:** Necessidade de grande investimento de capital inicial para estabelecer a montagem e operação de uma fábrica além da contínua modernização do maquinário fabril;
4. **Desafio entre sistema e cadeia de suprimentos:** A cadeia de suprimentos torna-se um desafio pela falta de acesso a materiais de qualidade e respectivo descompasso entre tecnologia. A distância entre fornecedor e fábrica e respectivos custos também podem ser restritivos;
5. **Exigência de alto nível de colaboração entre os agentes de um projeto:** Para garantir o sucesso do sistema, um processo de projeto integrado, envolvendo todas as etapas da construção, é necessário devido a complexidade e precisão envolvida numa construção modular;
6. **Desenvolvimento ainda inicial do setor:** A incipiência do sistema dificulta o surgimento de um mercado competitivo e desenvolvido, principalmente um mercado

fornecedor de materiais de qualidade.

Ainda que tenha sido evidenciado um extenso caminho a ser percorrido pela construção M3D no Brasil, o sistema encontra um ambiente favorável para desenvolvimento. Durante o período de elaboração da presente pesquisa, a rápida difusão da COVID-19 gerou uma crise sanitária mundial e impôs a necessidade de construção de hospitais para suportar o nível elevado de pacientes. Para atender a essa grande demanda a indústria de arquitetura, engenharia e construção tem encontrado na construção modular uma forma de atender a essa emergência, entregando projetos de alta qualidade, em circunstâncias excepcionais e em tempo recorde. A Empresa I (analisada por este trabalho) realizou a construção de diversos hospitais permanentes em território nacional, como por exemplo, a criação de um hospital no interior de SP com área construída de 1.554 m² em apenas 36 dias através da utilização de 67 M3D distribuídos em um terreno de 3.100 m². A resposta da indústria frente à pandemia demonstrou claramente as vantagens do uso da construção modular. Os benefícios mais importantes da abordagem da construção modular são relativas à agilidade na entrega de uma edificação e prevenção de interrupções no funcionamento diário de um hospital em caso de reformas. Além da demanda urgente por edificações hospitalares, a experiência da pandemia representou a mudança no comportamento do consumidor e nas relações de trabalho que certamente influenciará as estratégias da construção civil.

Quanto ao problema de **“transferência de tecnologia e adoção de processos de produção”**, podemos relacionar a condição brasileira à capacidade das empresas em incorporar e organizar a tecnologia de acordo com nosso contexto. Como foi apresentado, tanto na apresentação do contexto histórico quanto nas matrizes de análise, os países centrais possuem tecnologias voltadas ao contexto local. Dessa forma, cada país conta com suas próprias lógicas de mercado, órgãos de regulamentação e materiais específicos para consumo. Porém, o fato de direcionar a tecnologia ao nosso contexto e desafios, não nos exime de conhecer as abordagens do sistema em outros países, buscando uma abordagem comparativa para benefício e adaptação a uma cultura própria. O sistema de módulo tridimensional nos países centrais faz parte de uma rede abrangente que se relaciona diretamente com o conhecimento e a política de ensino e de ciência e tecnologia. A cultura de colaboração e a abordagem unificada de interesses conduziram ao aprimoramento gradativo do sistema. No cenário nacional, as condutas quanto ao desenvolvimento de ciência e tecnologia não apontam o investimento em aquisição de tecnologia ou investimento em pesquisas de tecnologia, sendo a

apropriação e o monitoramento da concorrência as estratégias mais adotadas pelas empresas. Essa prática tende a tornar a transferência de tecnologia problemática, ao passo que coloca para as empresas um caminho mais sujeito a erros e acertos, mas próximo da realidade em que atuam.

Não foi possível desenvolver durante a pesquisa a verificação empírica das condições de trabalho dos operários nas fábricas e dessa forma a análise quanto ao tema **“canteiro e mão de obra”** se limita aos dados obtidos através do estudo de caso. Foi possível verificar que a transferência da mão de obra do canteiro para a fábrica pode favorecer a ideia de local seguro e confortável para os trabalhadores através de um ambiente controlado e não exposto aos riscos relativos ao canteiro de obra. Porém, como apontam alguns autores, esta transferência do espaço de produção não torna o ambiente fabril menos perverso no que diz respeito ao controle, subordinação e alienação do trabalhador, gerando funções altamente especializadas e beneficiando igualmente a subcontratação de funcionários. Nos casos analisados foi apontada a prática de terceirização da mão de obra dentro do parque fabril, o que torna vantajoso as relações de trabalho ao empregador devido à redução de custos relacionados a encargos trabalhistas e aumento da produtividade. A flexibilidade da força de trabalho reduz a estrutura da empresa, possibilita a sobreposição de tarefas e reduz os prazos de entrega de uma obra. Vale ressaltar que o trabalho produzido em fábrica não elimina uma série de outros trabalhos realizados no canteiro de obra. O preavencimento dos trabalhadores no canteiro, embora em menor quantidade, cria um descompasso tecnológico entre os sistemas construtivos. Além disso, foi perceptível, que na ótica da construção M3D no Brasil a pouca mecanização do ambiente de fábrica fez com que o trabalho manual fosse, de certa forma, transferido do canteiro para a fábrica, não modificando significativamente os processos e sim o local de produção, onde prevalece a atividade manual. Dessa forma, a utilização do sistema M3D não altera o caráter de trabalho manufatureiro e nem ao menos elimina a forma tradicional de trabalho no canteiro de obra, embora ofereça melhores condições físicas de trabalho e melhores condições de segurança do trabalho graças à organização de um ambiente de fábrica.

Ao refletir sobre o questionamento quanto ao **“ciclo de vida das edificações”** e o impacto de produção é importante ressaltar a capacidade do sistema M3D em obter melhores resultados quanto à redução do impacto ambiental da produção de um edifício. O desperdício resultante da construção civil provém tanto da construção e posterior demolição/desconstrução do

edifício, quanto de processos como reformas e alterações. A produção do sistema M3D, semelhante a outros sistemas pré-fabricados, oferece um menor uso de material e menos desperdício pelo caráter da produção baseada no conceito de compra de insumos *just-in-time* e pela exatidão necessária à disciplina produtiva. O caráter de independência das camadas que constituem um módulo e o raciocínio adaptativo por trás do sistema M3D dá, em teoria, melhores rendimentos no ciclo de vida da edificação. Para explorar os benefícios quanto ao ciclo de vida das edificações o M3D deverá explorar sua lógica de montagem e desmontagem, permitindo a reciclagem, reutilização ou reaproveitamento de seus elementos e componentes para novos usos. A desconstrução de uma edificação deve focar no planejamento, monitoramento, controle, conscientização e treinamento para a realização bem-sucedida do processo. Entretanto, para proporcionar um ciclo de vida alongado, o projeto deve prever a aquisição de materiais de construção eficientes, que facilitem o acesso ou remoção de partes e componentes que permitam que as edificações sejam mantidas atualizadas, como por exemplo, os componentes *plug-and-play* e tubulações flexíveis. No cenário nacional as empresas de construção M3D apontam o descompasso tecnológico entre sistema construtivo e os fornecedores de materiais de construção adequados para este sistema, evidenciando uma cadeia de suprimentos fragmentada e generalista. A adaptação dos componentes e materiais ao sistema compromete o planejamento de transformação e adaptação das edificações. Seguindo o exemplo da experiência japonesa, a edificação não deveria ser mais vista como a venda de um produto imutável e sim como a venda de um serviço, no qual o gerenciamento do ciclo de vida da edificação e suas eventuais adaptações e atualizações estão incluídas.

A “**interação entre arquitetura e indústria**” extrapola os limites da atividade técnica de criação e documentação e constroem relações sistêmicas entre uma teia de sistemas culturais, econômicos, ecológicos e políticos. Altos níveis de colaboração e planejamento são necessários no processo de projeto de edifícios modulares. Na arquitetura, um dos objetivos deve ser evitar o pensamento determinístico sobre sistemas construtivos como componentes ou objetos, mas sim pensar sistematicamente sobre escolhas e suas implicações. Não podemos mais ver os componentes do edifício como artefatos ou como sistemas autônomos e sim como partes integrantes de um sistema muito maior e complexo, dos quais os arquitetos também são um agente. Trabalhar com a indústria modular exige uma compreensão cuidadosa do sistema, de forma a garantir que as vantagens de seu uso sejam exploradas e as desvantagens minimizadas. A compreensão da cadeia produtiva e o esforço criativo dos arquitetos deve estimular a compatibilidade entre materiais e sistemas construtivos. A prática arquitetônica

envolvida no sistema de M3D deve-se relacionar com os processos, fluxos de informações e soluções integradas que orientam a montagem e fabricação das construções e não somente assumir o papel tecnocrata de projeto.

Sugestões para Pesquisas Futuras

A reflexão em torno da indústria que faz uso do sistema M3D no Brasil e as discussões que surgiram ao longo desta pesquisa podem contribuir para o desenvolvimento de futuros trabalhos. Portanto, algumas áreas passíveis de desenvolvimento serão aqui exploradas.

Os dados apresentados na etapa de desdobramentos das matrizes de análises foram obtidos através da aplicação de questionário às empresas. Assim, seria importante proceder uma análise empírica das hipóteses levantadas, através da realização de visitas às fábricas, possibilitando, principalmente, a observação direta do impacto do sistema M3D na mão de obra e na organização do trabalho.

Outro campo de pesquisa poderia se desenvolver na avaliação dos impactos relacionados ao ciclo de vida das edificações M3D, bem como custos associados à manutenção e reformas. As edificações envolvem uma vida útil que se estende por anos, décadas ou séculos e dessa forma, a aplicação da avaliação do ciclo de vida pode ser adotada como método para análise do impacto ambiental das etapas de produção um edifício, tais como: fase pré-operacional, fabricação, transporte, montagem, vida útil e fase pós-operacional (demolição ou desmontagem).

Por fim, destaco o fato de que neste trabalho a reflexão quanto às matrizes de análise parte das informações obtidas através da aplicação de questionários a apenas duas empresas mapeadas. Assim, diversas outras empresas podem ser estudadas no sentido de produzir materiais comparativos e contribuir para o aprofundamento do estudo e mapeamento do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.873: **Coordenação modular para edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ANDERSON, Mark. **Prefab Prototypes: Site-Specific Design for Offsite Construction**. Princeton: Princeton Architectural Press, 2006. 264 p.

ARANTES, Pedro Fiori. **Arquitetura na era digital-financeira: desenho, canteiro e renda da forma**. 2010. 308 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

AZUL, Isabella Silva de Serro. **Sistemas construtivos pré-fabricados de concreto armado: habitações contemporâneas no Brasil**. 2018. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2018.

BERTRAM, Nick; FUCHS, Steffen; MISCHKE, Jan; PALTER, Robert; STRUBE, Gernot; WOETZEL, Jonathan (org.). **Modular Construction: from projects to products**. McKinsey & Company: Capital Projects & Infrastructure, 2019. 32 p.

BLACHÈRE, Gérard. **Tecnologías de la construcción industrializada**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S. A., 1977. 168p.

BRAND, S. (1994). **How Buildings Learn: What happens after they're built**. New York: Penguin Book

CARVALHO, Bruno Soares de. **Um método de entrega de projeto para construção modular baseado nos princípios Lean**. 2020. 188 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

CASTELO, João Luís de Couto. **Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos**. 2008. 279 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Gestão Aplicada À Construção e Tecnologias de Construção de Edifícios, Universidade do Porto, Porto, 2008.

CASTRO, Susana María Hernando. **Tranferencia e integración de metodología industrial innovadora en la producción de viviendas**. 2013. 298 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2013.

CAUDURO/MARTINO ARQUITETOS ASSOCIADOS. **Planejamento visual urbano: Parque Anhembi**. Acrópole. São Paulo, n.390-391, p.11-12, nov/dez, 1971.

CORREIA, António Lopes. **Fabricating Architecture: from modern to global space**. 2017. 183 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Departamento de Arquitetura, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2017.

DAGNINO, R. Elementos para uma avaliação das Incubadoras Universitárias de Cooperativas. In: **Tecnologia Social: contribuições conceituais e metodológicas** [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2014, pp. 267-289. ISBN 978-85-7879-327-2

DAGNINO, R.; DIAS, R. A Política de C&T Brasileira: três alternativas de explicação e orientação. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, SP, v. 6, n. 2, p. 373-403, 2009. DOI: 10.20396/rbi.v6i2.8648952. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8648952>. Acesso em: 21 nov. 2020.

FERNANDES, Ana Patrícia da Silva. **Habitação (colectiva) modular pré-fabricada: considerações, origens e desenvolvimento**. 2009. 212 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitectura, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2009

FERRO, Sérgio. **Arquitetura e trabalho livre**. Coleção Face Norte, volume 09. São Paulo, Cosac Naify, 2006.

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

GONÇALVES, José Fernando. **Mobilidade na habitação**: estudo da arquitetura móvel como habitação mínima e funcional. 2009. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitectura, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2009.

REVEN, Hélio Adão; BALDAUF, Alexandra Stau-dt Follmann. **Introdução à coordenação modu-lar da construção no Brasil**: uma abordagem atualizada. Porto Alegre: ANTAC, 2007. Coleção Habitare, 9. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/colecao10/livro_completo.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020

KOURY, Ana Paula. **Arquitetura construtiva: proposições para a produção material da arquitetura contemporânea no Brasil**. 2005. 296 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitectura, Faculdade de Arquitectura e Urbanismo de São Paulo, São Paulo, 2005

LAWSON, Mark; OGDEN, Ray; GOODIER, Chris. **Design in modular construction**. Londres: Crc Press, 2014. 280 p

LEUPEN, B. **Frame and generic space**: a study into the changeable dwelling proceeding from the permanent. Rotterdam: 010 Publishers, 2006.

LIMA, Isaura Alberton de. **Estrutura de referência para a transferência de tecnologia no âmbito da cooperação universidade-empresa: estudo de caso no CEFET-PR**. 2004. 202 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LINNER, Thomas; BOCK, Thomas. **Evolution of large-scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry**. Journal Of Construction Innovation: Information, Process, Management, v. 12, n. 2, p. 1-29, abr. 2012.

MACIEL, Carlos Alberto Batista. **Arquitetura como infraestrutura**. 2015. 420 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitectura, Npgau – Programa de Pós-graduação em Arquitectura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MALARD, Maria Lúcia; MONTEIRO, Gabriel Malard. **O desenvolvimento da criatividade no processo de ensino de projeto: qualquer exercício serve?** Anais do IV ENANPARQ -

Estado da Arte, v. 1, p. S02-05, 2016.

MARICONDA, P. R.; MOLINA, F. T. Entrevista com Andrew Feenberg. **Scientiae Studia**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 165-171, 2009. DOI: 10.1590/S1678-31662009000100009. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/ss/article/view/11171>. Acesso em: 21 nov. 2020.

MASCARENHAS, Giselle O. **Fragmentos do Canteiro: a produção habitacional sob a ênfase da racionalização construtiva**. 2015. 232 (Mestrado). Escola de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais.

MATOS, Hugo Alkmim de. **La evolución de los sistemas de módulos tridimensionales aplicados a la construcción de edificios de media y gran altura**. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2012

MILES, Matthew; HUBERMAN, A. Michael. **Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook**. Nova York: Sage Publications, 1994. 352 p.

MILLER, T. D.; ELGARD, P. **Defining Modules, Modularity and Modularization - Evolution of Concept in a Historical Perspective**. Design for Integration in Manufacturing, 1998.

MOE, K.; SMITH, R. E. **Building systems: design, technology, and society**. Nova York: Routledge, 2012.

MOREIRA, Marco António Nogueira Teixeira. **Arquitetura e Pré-fabricação: a expressividade dos sistemas construtivos em madeira maciça**. 2007. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade do Porto, Porto, 2007.

MORGAN, Chris; STEVENSON, Fionn. **Design for Deconstruction: seda design guides for scotland: no.1.:** 2005.

MUSA, Muhamad Faiz; MOHAMMAD, Fadhil; YUSOF, Mohd Reeza; MAHBUB, Rohana. **Characteristics of Modular Construction: Meeting the Needs of Sustainability and Innovation**. In: IEEE Colloquium on Humanities, Science & Engineering, 2014. Conference Paper. George Town: Ieee

NARAYANAMURTHY, Shilpa. SMITH, Ryan E. **Prefabrication in Developing Countries: a case study of India / without a hitch: new directions in prefabricated architecture** (2009)

ORDÓÑEZ, F. M. García. **Sistema de construcción arquitectónica mediante módulos tridimensionales SIC**. Informes de La Construcción, [S.L.], v. 31, n. 309, p. 45-60, 30 abr. 1979. Editorial CSIC. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.1979.v31.i309.2489>.

PELLI, Victor Saúl. **Notas para uma Tecnologia Apropriada à Construção na América Latina**. In: MASCARÓ, Lucia. Tecnologia e Arquitetura. São Paulo, Nobel, 1989.

PEREIRA, Diogo Duarte Alves. **Uma habitação transportável e flexível: archigram como ponto de partida**. 2013. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

QUALE, John D. Capítulo **Onsite vs. offsite: comparing environmental impacts**. In: SMITH, R. E.; QUALE, J.D. **Offsite Architecture - Constructing the future**. Londres: Routledge, 2017.

RICHARD, R. B. Capítulo - Industrialized Building System Categorization. In: SMITH, R. E.; QUALE, J. D. **Offsite Architecture - Constructing the future**. Londres: Routledge, 2017.

ROSA, Wilhelm. **Arquitetura industrializada: a evolução de um sonho à modularidade**. 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

RUPNIK, I. Capítulo - Mapping the Modular Industry. In: SMITH, R. E.; QUALE, J. D. **Offsite Architecture - Constructing the future**. Londres: Routledge, 2017.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos - formulação e aplicação de uma metodologia**. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SANTOS, Roberto Eustaáquio dos. **A Armação do Concreto no Brasil: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. 2008. 338 f. Tese (Doutorado) - Curso de Educação: “Conhecimento e Inclusão Social”, UFMG, Belo Horizonte, 2008

SCARSI, Cecilia Lema. **Modular Systems in Architecture: an overview of modularity through case studies**. 2016. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de La Salle, Barcelona, 2016.

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

SMITH, R. E. **Prefab Architecture, A Guide to Modular Design and Construction**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2010.

SMITH, Ryan E. **Offsite Architecture - Constructing the future**. Londres: Routledge, 2017.

SMITH, Ryan E; RUPNIK, Ivan; **5 in 5 Modular Growth Initiative: Research roadmap recommendations**. Modular Building Institute. www.modular.org/documents/document_publication/2018_1019%20in5%20Deliverable.pdf Acesso em: 21 nov. 2020.

STIPP, Gilmar. **Processo de Transferência de Tecnologia Universidade - Empresa: estudo de caso no departamento de microbiologia, imunologia e parasitologia da ufsc**. 2017. 233 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração Universitária, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

Ovando Vacarezza, Graciela & Lauret-Aguirregabiria, Benito & Belén, Pérez-Pujazón & Castañeda, Estéfana. (2016). La construcción modular ligera con módulos tridimensionales, antecedentes y situación actual.

VACAREZZA, Graciela; LAURET, Benito; BELÉN, Pérez; CASTAÑEDA, Estéfana. **La construcción modular ligera con módulos tridimensionales, antecedentes y situación actual.** In: XXX Jornadas de Investigación y XII Encuentro Regional. SI+. Configuraciones, Acciones y Relatos, 2016, Buenos Aires.

VERASZTO, E. V.; SILVA, D.; MIRANDA, N. A.; SIMON, F. O. Tecnologia: buscando uma definição para o conceito. **Prisma.com (Portugual)**, n. 8, p. 19-46, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/20.500.11959/brapci/66904>>. Acesso em: 21 nov. 2020

VILELA, Adalberto. **Desafios da preservação da arquitetura racionalizada de Lelé no Brasil.** Revista Thesis, Rio de Janeiro, n. 8, p. 7-24, 2018.

VILLELA, Fábio Fernandes. **Indústria da Construção Civil e Reestruturação Produtiva: novas tecnologias e modos de socialização construindo o intelecto coletivo.** 207. 399 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sociologia, Programa de Pós-Graduação do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

WILSON, James. **Design for Modular Construction: an introduction for architects.** Modular Advantage Magazine. American Institute of Architects, National institute of building sciences, 2019, 41

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO

PARTE I – CARACTERIZAÇÃO DO ENTREVISTADO E EMPRESA

P01 – Em que área da empresa você atua?

P02 – Há quanto tempo você está na empresa?

P03 – Indique qual área(s) de conhecimento você possui treinamento/ atua?

- Arquitetura modular;
- Cadeia de suprimentos / fornecedores;
- Engenharia industrial;
- Gestão de projetos;
- Outra / Qual;

P04 – Em que área da empresa você atua?

P05 – Sua organização ou empresa já trabalhou em projetos que usufruem da construção modular antes?

- Sim (qual tipo de construção e sistema?);
- Não;

P06 – Quantos projetos da sua empresa implantaram construção modular tridimensional no último ano?

- 0;
- 1;
- 2-3;
- 4-5;
- 5-10;
- 10+;

P07 – Qual é o tamanho médio da metragem quadrada dos projetos de módulo tridimensional em que sua empresa trabalha ou trabalhou?

- 1 - 100 m²;
- 100 - 300 m²;
- 300 - 500 m²;
- 500 - 1.000 m²;
- 1.000 - 5.000 m²;
- 5.000 m² +;

P08 – Em que tipo (uso) de edifício a sua empresa trabalhou que utiliza o módulo tridimensional de alguma forma?

- Residência unifamiliar;
- Residencial multifamiliar;
- Comercial;
- Educacional;
- Industrial;
- Hospitalar;
- Outro (por favor especificar);

P09 – Na sua experiência, selecione as três principais barreiras para a utilização de construção modular permanente (escolha três abaixo sem ordem específica)

- Estigma histórico;
- Estruturas tradicionais de contrato;
- Agências reguladoras, normas e inspeções prediais;
- Financiamento;
- Seguro de imóvel;
- Percepção do usuário;
- Integração com BIM;
- Logística de transporte;
- Programa (uso) não perceptível ao sistema;
- Restrição de design / estética;
- Conhecimento dos projetistas quanto ao sistema;
- Falta de padrões em processo e produto;
- Engajamento precoce do fabricante modular;
- Custo estimado (orçamento);
- Prazos e sequenciamento de etapas;
- Escassez de mão de obra qualificada;
- Licitação e aquisição;
- Competição do mercado;
- Controle de qualidade;
- Outro (por favor especificar);

P10 – Na sua experiência, por favor, selecione as três principais vantagens de utilizar construção modular permanente (clique três abaixo em nenhuma ordem específica)

- Prazo controlado e reduzido;
- Controle de custo;
- Ganho de produtividade;
- Aumento das margens de lucro;
- Aumento da competitividade;
- Aumento da segurança do trabalho;
- Redução de desperdício e benefícios sustentáveis;
- Qualidade assegurada;
- Redução nos pedidos de alteração;
- Controle climático (no ambiente fabril);
- Previsibilidade do processo;
- Outro (por favor especificar);

P11 – Você concorda com a afirmação: “a construção de módulo tridimensional ainda é limitada no mercado de construção brasileiro”? Por favor, explique sua opinião sobre quais pontos que restringem o crescimento da construção modular no mercado.

P12 – Em que tipo de processo de fabricação (ambiente de fábrica) a empresa trabalha?

- Linha de montagem: o produto passa por diferentes estações enquanto a fabricação é concluída;
- Produção estática: os trabalhadores mudam para o local onde os módulos estão posicionados;

P13 – A falta de mecanização no processo de produção é uma barreira à adoção mais ampla

da construção modular no Brasil?

P14 – Na sua experiência, os arquitetos estão familiarizados com o projeto modular?

PARTE II – TRANSFERÊNCIA E ADOÇÃO DE PROCESSOS DE PRODUÇÃO

P01 – Sua organização ou empresa adotou algum processo ou sistema de indústrias internacionais?

P02 – Se ocorrido à transferência e adoção de processos de produção: a tecnologia do receptor estava preparada para assimilação e utilização total da tecnologia adotada?

P03 – Sua organização ou empresa trabalha com alguma tecnologia patenteada? Se sim, qual a função dessa tecnologia? Quais os requisitos para ela funcionar?

P04 – Se a empresa utiliza de tecnologia patenteada, quais são os investimentos necessários para adoção da mesma?

P05 – Se a empresa utiliza de tecnologia patenteada, essa tecnologia conseguiu ser aplicada de forma imediata o passou por um período de adaptação e ajustes até atender a expectativa do receptor?

P06 – A empresa ou organização possuía mão-de-obra qualificada para colocar em prática este conhecimento? Se não, como isso foi sanado?

P07 – A empresa ou organização tinha capital próprio disponível para colocar em prática este conhecimento?

P08 – Quais são as tecnologias similares disponíveis no mercado?

P09 – Sua organização ou empresa desfruta de alguma parceria com universidades ou centros de pesquisa a fim de incentivar o processo de inovação tecnológica? Se sim, quais parcerias e com quais finalidades específicas?

P10 – Possui indústria própria que fabrica o módulo, ou é executado por empresas parceiras de cada região que é solicitado o projeto?

PARTE III – CANTEIRO E MÃO-DE-OBRA

P01 – Quando ou com que frequência é realizada mudanças vantajosas no processo de fabricação?

P02 – A instalação da fábrica muda?

P03 – As mudanças no processo de fabricação ocorrem por influências de quais fatores? Os trabalhadores da linha de produção influenciam nesse processo?

P04 – O trabalho dentro da fábrica é especializado? Se sim, são especializados em uma disciplina específica (hidráulico e elétrico, por exemplo)? Quais são as funções e especializações dos funcionários?

P05 – Quais medidas internas de controle de qualidade são tomadas para garantir a precisão da fabricação dos componentes?

P06 – Se a fundação no local é construída por um contratante externo, há desafios adicionais na interface em termos de uma lacuna de tecnologia, equipamentos ou ferramentas utilizadas, experiência de construção dos trabalhadores ou na programação e agenda da construção?

P07 – Você pode falar sobre possíveis dificuldades com o sistema de fundação e os desafios no nível de coordenação entre a construção de componentes externos e o pré-trabalho no local?

P08 – Qual é então o papel de um contratante geral externo no canteiro de obras, ou você inclui esse trabalho dentro de seu próprio escopo?

P09 – É mais fácil, no processo como um todo, começar a montar módulos maiores fora do local antes do envio, para que você tenha mais controle sobre a qualidade final, pois está reduzindo a mão-de-obra no local?

P10 – Quanto trabalho final você normalmente faz no canteiro?

PARTE IV – OBSOLESCÊNCIA E O CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES

P01 – Como a flexibilidade no produto (edificação) pode ser caracterizada?

- Permitida - possibilidade de alterar ou personalizar o projeto quando uma só opção é oferecida inicialmente (também chamada de negociação de pequenas alterações).
- Planejada - a empresa que elabora todos os *layouts* alternativos. Oferecerem várias opções de planta e acabamentos para um mesmo imóvel. Trata-se de um ambiente poder ser projetado para mais de uma função; espaços divididos em dois cômodos ou um amplo.

P02 – De que forma a flexibilidade é explorada no sistema abrindo espaço para um grau de incerteza em relação ao desenvolvimento e adaptação do usuário?

P03 – A infraestrutura da edificação oferece possibilidades não pré-determinadas funcionalmente? A edificação e o “produto” estão aptos a usos variados à medida que surgisse a necessidade?

P04 – O projeto contempla a possibilidade de manipulação de subcomponentes (elementos de fachada, peças pré-fabricadas sanitárias, aberturas, etc.) capazes de modificar, adaptar e renovar a edificação para seus usuários, sem que a estrutura original seja afetada? Se sim, de que forma isso acontece?

P05 – Existe um planejamento da capacidade evolutiva da edificação? Quais são as possibilidades de intervenção correspondente à expansão da edificação (horizontal e vertical) além do seu tamanho original, ou dentro do seu volume original?

P06 – Como ampliar a vida útil do sistema e do produto?

P07 – Ao adquirir uma edificação da empresa, o usuário recebe alguma forma de

recomendações ou manual de conservação e intervenção?

P08 – Ao propor uma solução de projeto inovadora para uma construção, pode ser impossível competir com as soluções comumente usadas em termos de custos iniciais de construção, mas existem outras estratégias e economias de custo de longo prazo que podem ser usadas para comercializar a proposta? Por exemplo, os usuários estão considerando o valor do ciclo de vida em seu projeto para avançar com uma solução inicialmente mais cara?

P09 – Então, qual é a força motriz do interesse pela construção modular do usuário / cliente? As pessoas estão interessadas em se tornarem modulares por causa da precisão ou economia de tempo, ou por pontos de sustentabilidade?

PARTE V – INTERAÇÕES ENTRE A ARQUITETURA E A INDÚSTRIA

P01 – Quais tipos de projetos exigem o envolvimento de um arquiteto?

P02 – Quanto do seu trabalho é projetado por arquitetos externos (subcontratados) em comparação com os edifícios projetados e executados internamente?

P03 – Como a inclusão do fabricante no processo de desenvolvimento do projeto poderia beneficiar toda produção?

P04 – Quais são os desafios na interface entre a construção em fábrica e a construção no local? Ou na interface entre o arquiteto e o fabricante?

P05 – Em que fase do processo de projeto o fabricante deve se reunir com o arquiteto?

P06 – Depois dessa reunião de coordenação (se houver), quão intensa é a interação entre o arquiteto e o fabricante durante todo o restante do processo de design?

P07 – Quais são os problemas típicos dos projetos enviados a você por arquitetos?

P08 – Que estratégias são tomadas entre os fabricantes para melhorar a percepção pública da construção modular ou promover suas vantagens para arquitetos e clientes em potencial?

P09 – Onde a educação do arquiteto pode melhorar em relação à construção modular?

P10 – Qual é a maior barreira na aceitação dos arquitetos ao uso de um design modular ou um componente?