



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CAIO FELIPE NUNES VASCONCELOS**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DA CONSTRUÇÃO MODULAR COM  
UNIDADES TRIDIMENSIONAIS PARA AS HABITAÇÕES NO BRASIL**

**FORTALEZA**

**2018**

CAIO FELIPE NUNES VASCONCELOS

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DA CONSTRUÇÃO MODULAR COM  
UNIDADES TRIDIMENSIONAIS PARA AS HABITAÇÕES NO BRASIL

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

V1a VASCONCELOS, CAIO FELIPE N.  
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DA CONSTRUÇÃO MODULAR COM UNIDADES  
TRIDIMENSIONAIS PARA AS HABITAÇÕES NO BRASIL / CAIO FELIPE N VASCONCELOS. – 2018.  
75 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. ALEXANDRE ARAÚJO BERTINI.

1. Construção Modular. 2. Módulos Tridimensionais. 3. Industrialização da Construção Civil. 4. Habitação. I.  
Título.

CDD 620

---

CAIO FELIPE NUNES VASCONCELOS

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DA CONSTRUÇÃO MODULAR COM  
UNIDADES TRIDIMENSIONAIS PARA AS HABITAÇÕES NO BRASIL

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini.

Aprovada em: 28/11/2018.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Ricardo Marinho de Carvalho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Ms. Aldo de Almeida Oliveira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus familiares e amigos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que me deu o dom da vida e me abençoa todos os dias com o seu infinito amor.

A Universidade Federal do Ceará e todos os professores e funcionários que contribuíram para minha formação técnica e humana durante minha graduação.

Ao Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini por sua orientação e confiança.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Ricardo Marinho e Prof. Ms. Aldo Oliveira pela disponibilidade e contribuições para o trabalho.

A Prof. Verônica Castelo Branco por seu inspirador trabalho na disciplina de Projeto de Graduação e pela disponibilidade e conselhos.

A minha tia e mãe Fátima Vasconcelos por seu amor e dedicação em me tornar um grande homem.

Aos meus avós José Alfredo e Rita de Cássia, e minha mãe Solene Nunes por todo amor e privilégio de ser filho de vocês e que hoje me guiam e brilham no meu céu.

A minha tia e madrinha Vânia Vasconcelos por sempre acreditar nos meus sonhos e por me confiar aos cuidados da mais linda rosa, a minha afilhada Maria Clara.

Ao meu pai Edvandro Vasconcelos e meu tio Edgard Vasconcelos pelo exemplo de dedicação e luta.

A todos os meus familiares pelo apoio e confiança.

Aos meus amigos de infância, em especial, Bianca Nascimento, Suyanne Andrade e Jane Kathleen por todos esses anos de amizade e amor incondicional.

Aos meus amigos do IFCE, em especial, Glenda Suelen por nossa fiel amizade.

Aos meus amigos da UFC, em especial, Valeska Ribeiro, Camilla Bezerra, Laio Guimarães, Luísa Ciríaco por serem meus companheiros em todas as noites sem dormir, estudando para as provas e realizando trabalhos.

A todos os membros do PET Civil UFC, sem exceção, pela oportunidade de fazer parte desse incrível grupo.

A todos os amigos que a vida me deu a oportunidade de conhecer, em especial, Israelle Maia, Diana Rubim, Matheus Marques e Priscila Natiele pelas palavras de confiança e paciência para ouvir meus desabafos.

A todos aqueles não citados aqui, mas que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

“Se, a princípio, a ideia não é absurda, então não há esperança para ela.”

**Albert Einstein**

## RESUMO

Diante das inúmeras demandas do mercado, o setor da construção civil reconhece a necessidade de investir em novas tecnologias que garantam uma maior produtividade a baixo custo e que resultem em produtos de qualidade com baixos índices de desperdício e impactos ambientais. Além disso, busca-se o uso racional da mão-de-obra e dos materiais, insumos esses que oneram os custos para se construir. Portanto, propõem-se verificar o potencial de uso da construção modular com módulos tridimensionais para fabricação de habitações no Brasil, por meio de um levantamento bibliográfico de caráter exploratório dos aspectos técnicos, econômicos e de possíveis aplicações. Essa técnica, difundida nos mercados americano e europeu, consiste na produção dos módulos em um ambiente fabril, permitindo a realização de atividades concomitantes no canteiro como a realização das fundações e preparação do terreno. E por fim, aliado a uma logística eficiente, os módulos são transportados e montados no local de destino originando assim, em um curto prazo, habitações de qualidade. Dentre os modelos de habitação estudados e as possibilidades de investimentos em construção de habitação de interesse social, constatou-se que há um potencial para a aplicação desse sistema na construção das habitações do Programa Minha Casa e Minha Vida, principalmente devido as características das edificações que permitem a padronização e adequação às unidades tridimensionais. Fatores como demanda do mercado, previsão de investimentos no setor e características dos projetos das edificações contribuem para a aplicação dos padrões da construção modular.

**Palavras-chave:** Construção Modular. Módulos Tridimensionais. Industrialização da Construção Civil. Habitação.



## ABSTRACT

Given the many market demands, the construction industry recognizes the need to invest in new technologies that guarantee higher productivity at low cost and that result in quality products with low rates of waste and environmental impacts. In addition, it seeks the rational use of labor and materials, inputs that bear the costs to build. Therefore, it is proposed to verify the potential of using modular construction with three-dimensional modules for the production of dwellings in Brazil, by means of a bibliographic survey of exploratory character of the technical, economic and possible applications aspects. This technique, diffused in the American and European markets, consists of the production of the modules in a factory environment, allowing the accomplishment of concomitant activities in the site such as the realization of the foundations and preparation of the terrain. Finally, together with efficient logistics, the modules are transported and assembled at the place of destination, thus giving, in the short term, quality housing. Among the housing models studied and the possibilities of investments in housing construction of social interest, it was verified that there is a potential for the application of this system in the construction of the Minha Casa Minha Vida Program, mainly due to the characteristics of the buildings that allow the standardization and adaptation to three-dimensional units. Factors such as market demand, investment forecast in the sector and characteristics of the projects of the buildings contribute to the application of the standards of modular construction.

**Keywords:** Modular Construction. Three-dimensional Modules. Industrialization of Civil Construction. Housing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Fase de produção em fábrica .....	22
Figura 2	– Fase de montagem no canteiro .....	23
Figura 3	– Exemplo de Nível 1 – Treliças de telhado .....	23
Figura 4	– Exemplo de Nível 2 – Paredes de Light Steel Frame .....	24
Figura 5	– Exemplo de Nível 3 – Módulos de Banheiros .....	24
Figura 6	– Fase de montagem do Murray Grove, Norte de Londres .....	26
Figura 7	– Construção do Murray Grove, Londres .....	28
Figura 8	– Instalação de módulos de concreto .....	29
Figura 9	– Módulos tipo corredor para hotéis .....	30
Figura 10	– Módulos de laterais abertas para escolas .....	30
Figura 11	– Núcleos de concreto para caixa de elevadores .....	31
Figura 12	– Transporte de módulo em <i>Light Wood Frame</i> .....	32
Figura 13	– Pré-fabricação de painéis de parede com aço de seção C .....	33
Figura 14	– Módulos de quatro lados .....	34
Figura 15	– Módulo parcialmente aberto e possíveis dimensões .....	35
Figura 16	– Módulo parcialmente aberto com corredor .....	36
Figura 17	– Planta baixa de apartamento utilizando módulo parcialmente aberto .....	37
Figura 18	– Módulos com suportes de canto .....	38
Figura 19	– Módulos com suportes de canto e sistema de contraventamento .....	39
Figura 20	– Construção de um hospital com módulos com suportes de canto .....	39
Figura 21	– Comparação entre a construção modular fora do canteiro e a construção convencional .....	42
Figura 22	– Transporte vertical dos módulos .....	43
Figura 23	– Estrutura de içamento .....	43

Figura 24 – Projeto de casas modulares .....	47
Figura 25 – Modelo de casa modular dos EUA .....	48
Figura 26 – Exemplo de casa modular composta por 4 módulos .....	48
Figura 27 – Residência unifamiliar de dois pavimentos .....	49
Figura 28 – Ambiente interno mais amplos e com visão do exterior .....	49
Figura 29 – Residência unifamiliar de dois pavimentos .....	50
Figura 30 – Residência multifamiliar em Malmo, Suécia .....	51
Figura 31 – Exemplo de apartamentos com um quarto .....	51
Figura 32 – Exemplo de apartamentos com dois quartos .....	52
Figura 33 – Exemplo de apartamentos dispostos em formato tipo corredor .....	52
Figura 34 – Residência multifamiliar em Stoke Newington, no norte de Londres .....	53
Figura 35 – Varandas cobertas e acopladas aos módulos do Raines Court .....	54
Figura 36 – Disposição dos quartos de uma residência universitária .....	55
Figura 37 – Residência estudantil modular presente no norte de Londres .....	55
Figura 38 – Residência estudantil modular presente no leste de Londres .....	56
Figura 39 – Etapas metodológicas .....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
BEA	<i>Bureau of Economic Analysis</i>
BRE	<i>Bulding Research Establishment</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CBIC	Câmara Brasileira da Industria da Construção
CfSH	<i>Code for Sustainable Homes</i>
CIC	Conselho da Industria da Construção
DOE	<i>Department of Energy</i>
EUA	Estados Unidos da América
FNHIS	Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social
HCA	<i>Homes and Communities Agency</i>
HUD	<i>Department of Housing and Urban Development</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
MMC	Método Moderno de Construção
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
OSB	<i>Oriented Strand Boar</i>
OSM	<i>Off-site Manufactured</i>
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PIT	Programa de Inovação Tecnológica
trad.	Tradutor
USGBC	<i>The U.S Green Building Council</i>
RSH	<i>Regulator of Social Housing</i>
SCI	<i>Steel Construction Institute</i>
SNHIS	Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social

**LISTA DE SÍMBOLOS**

\$	Dólar
%	Porcentagem
£	Libra
€	Euro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>17</b>
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>18</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES IMPORTANTES .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3 CONSTRUÇÃO FORA DO CANTEIRO - <i>OFF-SITE MANUFACTURED</i> .....</b>	<b>22</b>
<b>5 CONSTRUÇÃO MODULAR.....</b>	<b>26</b>
<b>5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS TÉCNICOS .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1.1 Materiais .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1.2 Impactos Ambientais .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1.3 Produtividade e prazo de execução.....</b>	<b>41</b>
<b>5.1.4 Logística de transportes.....</b>	<b>42</b>
<b>5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CUSTOS .....</b>	<b>45</b>
<b>5.3 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO NO EXTERIOR.....</b>	<b>46</b>
<b>5.3.1 Habitações Unifamiliares.....</b>	<b>47</b>
<b>5.3.2 Habitações Multifamiliares .....</b>	<b>50</b>
<b>5.3.3 Habitações de Uso Institucional.....</b>	<b>54</b>
<b>6 LEVANTAMENTO DE OPORTUNIDADES.....</b>	<b>57</b>
<b>6.1 MERCADO ESTRANGEIRO E FONTES DE FOMENTO.....</b>	<b>57</b>
<b>6.2 MERCADO BRASILEIRO E FONTES DE FOMENTO .....</b>	<b>59</b>
<b>7 METODOLOGIA.....</b>	<b>61</b>
<b>7.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>62</b>
<b>7.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS TÉCNICOS .....</b>	<b>62</b>
<b>7.3 CARACTERIZAÇÃO DOS CUSTOS .....</b>	<b>63</b>
<b>7.4 LEVANTAMENTO DE OPORTUNIDADES .....</b>	<b>64</b>
<b>8 RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
<b>8.1 PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....</b>	<b>65</b>
<b>8.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS TÉCNICOS .....</b>	<b>65</b>
<b>8.3 CARACTERIZAÇÃO DOS CUSTOS .....</b>	<b>66</b>
<b>8.4 LEVANTAMENTO DE OPORTUNIDADES.....</b>	<b>67</b>
<b>9 CONCLUSÃO.....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Censo de 2010 do IBGE, cerca de 11,4 milhões de pessoas moram em habitações irregulares no Brasil. Com isso, o acesso a moradia de qualidade a custos acessíveis tem sido palco para diversos estudos na busca de novos sistemas construtivos.

Mesmo diante da necessidade de novas tecnologias, muitas construtoras e empresários do ramo veem nos métodos tradicionais a melhor maneira de se construir. Em parte, devido aos longos anos de experiência e a disponibilidade da mão de obra barata, por outro, o desconhecimento de outras metodologias e de seus benefícios técnicos e financeiros. Por isso, a construção civil, ainda hoje, é um setor que utiliza processos rudimentares em sua produção.

No Brasil, o sistema convencional formado por elementos estruturais de concreto armado – vigas, pilares, lajes – e elementos de vedação – alvenarias de blocos cerâmicos – é o método mais difundido e utilizado. Porém, segundo Sabbatini (1989), esse sistema consiste em um processo construtivo baseado “na produção artesanal, com uso intensivo de mão-de-obra, baixa mecanização, com elevados desperdícios de mão-de-obra, material e tempo, dispersão e subjetividade nas decisões, descontinuidades e fragmentação da obra”.

Assim como, Meseguer (1991) afirma que o setor da construção civil ainda é dependente da inconstância de matérias-primas e processos, de mão de obra com baixa qualificação, resultando em produtos com baixa qualidade, além de ter sua produtividade limitada às intempéries.

Outro fator que influencia na escolha do sistema construtivo é o caráter social no qual se encontrará a edificação, fazendo com que haja baixa exigência de qualificação dos operários, sendo tratado como ação mitigadora do problema do desemprego no país. Porém, não deve ser o setor da construção, o prejudicado pela ineficiência das políticas públicas contra o desemprego. A busca por qualidade deve ser o ponto de inflexão para mudança de hábitos.

Em toda etapa de seu processo, desde a extração da matéria-prima à demolição da edificação, a construção civil gera impactos ambientais (JOHN, 2001), o que deve ser motivo para se buscar maior eficiência no uso da matéria-prima, aliado ao adiamento do tempo de desmonte dessas edificações, envolvendo o processo de reutilização dessas, quando possível.

Diante das demandas apresentadas e da busca por curtos prazos de execução, produtividade acentuada, menos desperdícios e, conseqüentemente, menos impacto ambiental,

tal setor é pressionado a buscar tecnologias que garantam uma maior eficiência na construção e competitividade no mercado.

Nesse intuito, surgiu o conceito de industrialização da construção civil que pode ser compreendida como o “processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho, técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva” (FRANCO, 1992).

Portanto, o processo de industrialização possibilita a realização de obras mais racionalizadas, com um controle maior dos processos de produção, exigindo uma mão de obra qualificada, e permitindo entregar produtos de maior qualidade e desempenho. Tal processo está presente desde o emprego racional dos materiais e da mão de obra, até o uso de sistemas construtivos industrializados e, em especial, a construção com unidades tridimensionais com produção fora do canteiro (*Off-site Manufactured*) que será o foco desse trabalho.



## **2 JUSTIFICATIVA**

O setor da construção civil, ainda hoje, possui dificuldades quanto ao controle do desperdício de materiais, problemas com os cronogramas, devido a dependência das variações climáticas que comprometem a produtividade, com o risco de imprecisão nas execuções e com impactos ambientais. Além disso, tal setor requer um envolvimento de muita mão de obra direta, insumo esse que torna mais oneroso a construção. Portanto, este trabalho se justifica pela necessidade de estudos sobre aos impactos da adoção de sistemas industrializados para as habitações, em especial, os que adotam a tecnologia de construção fora do canteiro, como a construção modular. Logo, busca-se identificar tecnologias mais eficientes, com elevada produtividade, garantindo um bom desempenho e atendendo a demanda do mercado.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o potencial de uso do sistema de construção modular com unidades tridimensionais presente no mercado internacional para as habitações no Brasil.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos que contribuem para se atingir o objetivo geral são:

- a) Realizar um levantamento bibliográfico dos principais conceitos relacionados a Construção Modular.
- b) Identificar os aspectos técnicos da construção modular levando em consideração os materiais utilizados, desempenho ambiental, produtividade, prazos de execução, e logística de transportes;
- c) Identificar os custos envolvidos com a implantação do sistema de construção modular;
- d) Identificar as oportunidades de implantação do sistema em estudo no mercado brasileiro a partir dos modelos de habitações que mais recebem investimentos do mercado estrangeiro.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O conceito de industrialização da construção civil segundo ABDI (2015, p. 33) é o

[...] mais elevado estágio de racionalização dos processos construtivos e, independente da origem de seu material, está associada à produção dos componentes em ambiente industrial e, posteriormente, montados nos canteiros de obras, assemelhando-se às montadoras de veículos, possibilitando melhores condições de controle e adoção de novas tecnologias.

Dentre as características principais da industrialização, pode-se citar a linha de produção, ou seja, a fabricação em escala de um mesmo componente e/ou elemento, bem como, um maior controle de qualidade e redução de desperdícios. Porém, deve-se garantir condições favoráveis para se obter resultados satisfatórios e isso inclui a contratação e/ou formação de mão-de-obra qualificada.

Durante a década de 80, o setor da construção no Brasil alcançou níveis tecnológicos consideráveis em seu processo de industrialização, atrelado ao surgimento de pesquisas que propunham a adoção de novos sistemas construtivos (ABDI, 2015). A necessidade de se investir em soluções viáveis técnica e economicamente se deu pela falta de financiamentos e ineficiência dos processos utilizados (SILVA, 1999).

Aliados a isso, durante a década de 90, a internacionalização da economia e o surgimento de empreendedores estrangeiros impulsionaram o uso de sistemas industrializados no setor, principalmente, com a utilização dos sistemas pré-fabricados de uso comum nas construções fora do país. (MEDEIROS, 2003)

Por outro lado, alguns estudiosos declaram que tal processo não evoluiu como se é esperado. De acordo com El Debs (2000, p. 17),

A construção civil tem sido considerada uma indústria atrasada quando comparada a outros ramos industriais. A razão de assim considera-la é baseado no fato de ela apresentar, de maneira geral, baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade.

Assim como, comparada a outros setores industriais, a indústria da construção,

[...] apresenta particularidades singulares, que a diferencia da indústria de transformação. Estas particularidades criam obstáculos para que se processe uma introdução mais agressiva de máquinas e equipamentos nos canteiros de obras (COLOMBO e BAZZO., 2001, p.137).

Das particularidades referidas pelos autores, pode-se ressaltar o caráter não homogêneo e não seriado devido a singularidade dos produtos produzidos; a interferência de fatores climáticos no período de execução; a não simultaneidade de algumas etapas; subcontratações e o caráter semi-artesanal do processo construtivo.

Além das características supracitadas, o método de construir atual demanda grandes custos com mão de obra direta, insumo esse que onera, consideravelmente, a construção, e contribui para a variabilidade do ritmo de produção.

De modo geral, a atual concepção da indústria da construção civil se caracteriza “pela baixa produtividade; precária organização da produção; incipiente base técnica e imprevisibilidades de tempos e custos” (COLOMBO e BAZZO., 2001, p.138).

Nos EUA, pesquisadores e construtores perceberam a necessidade de se incorporaram tecnologias avançadas à indústria da habitação de forma a fortalecer a economia do país. Logo, foram desenvolvidos sistemas com isolamentos melhores e mais eficientes energeticamente, contribuindo assim para uma cultura mais sustentável (MEMARI et al., 2014).

Nos últimos anos no Brasil, a produção de elementos pré-fabricados tornou-se o cargo chefe no setor da construção civil. Passou-se a produzir vigas, lajes, pilares, estacas, dentre outros elementos para se obter construções com significativa redução do tempo de execução (MEDEIROS, 2003).

Com base nos resultados de seu relatório sobre Valor Econômico e Social da Construção no Reino Unido, Pearce (2003) constatou que a indústria da construção necessita se adaptar ao ritmo intenso das demandas de mercado e das mudanças tecnológicas. Para isso, fatores como desperdícios de materiais que chegam a 20% do total consumido e que ocorrem em várias etapas construtivas, devem ser reduzidos.

## **4.2 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES IMPORTANTES**

A partir da compreensão de que a industrialização da construção civil torna o setor mais eficiente, reduzindo perdas e diminuindo custos, é importante entender alguns conceitos e classificações que diferenciam os modelos tradicionais dos industrializados.

Define-se como processo construtivo a sequência de passos que se iniciam com a realização de um planejamento, projeto, aquisição de materiais, construção e manutenção da edificação com fito de solucionar as necessidades do usuário (MESEGUER, 1991). Além disso, pode ser classificado quanto ao grau de tecnologia usada: tradicional (artesanal), convencional, racionalizado e industrializado ou pré-fabricado (ABDI, 2015).

O conceito de sistema construtivo, de acordo com Sabbatini (1989, p.25), “é um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituídos por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo”. Não diferente, a ABNT NBR 15575 (2013) define como sendo a maior parte funcional do edifício constituída por um conjunto de elementos e componentes com uma macrofunção definida.

De acordo com o manual da construção industrializada da ABDI (2015), os sistemas construtivos podem ser de três tipos: sistema convencionais na produção dos elementos e componentes; sistemas racionalizados, pré-fabricados e industrializados a partir de elementos e componentes; e sistemas com parte convencional e parte industrializada.

São considerados como sistemas convencionais aqueles que usam métodos ou técnicas convencionais com uso dependente de mão de obra direta, com realização de serviços no canteiro e prazos de execução diretamente proporcionais aos tempos de recebimento de materiais e cura de concreto. Aliados a esses, estão os altos índices de perdas, baixos níveis de controle e não compatibilização prévia dos projetos (ABDI, 2015).

Já os sistemas racionalizados, pré-fabricados e industrializados utilizam métodos e processos industrializados aplicados na produção de componentes, elementos e células com funções definidas. Possuem modulação em suas dimensões permitindo somente a montagem das peças no canteiro. Tais sistemas contribuem para a redução do número de mão de obra, dos índices de perdas e permite a simultaneidade de atividades entre o canteiro e a fábrica (ABDI, 2015).

E por fim, os sistemas híbridos que integram soluções convencionais e industrializadas de forma a agregar parte dos benefícios dos processos industriais, mas não abrindo mão dos processos artesanais realizados em canteiro (ABDI, 2015).

Outra classificação possível, é quanto ao grau de industrialização envolvido – não industrializado, semi-industrializado, industrializado. Um sistema construtivo considerado não industrializado do tipo vernacular utiliza os recursos e os materiais presentes no local de construção. Já o semi-industrializado considera a pré-cortagem de componentes permitindo uma montagem dos mesmos no canteiro.

E por fim, os sistemas industrializados que podem ser parciais quando relacionado a construção de componentes ou de subsistemas como cobertas, e totais quando não há dependência do canteiro de obras, sendo possível a realização de atividades concomitantes, além de possuir um curto tempo de montagem, contudo demanda a utilização de guias e um planejamento das etapas da obra (DO VALLE, 2012).

### 4.3 CONSTRUÇÃO FORA DO CANTEIRO - *OFF-SITE MANUFACTURED*

No final do século XX no Reino Unido, um movimento chamado de *Re-thinking Construction* induziu clientes e construtores a uma mudança de pensamento quanto aos métodos de construção, incentivando o desenvolvimento de novas formas de se construir e consequentemente, o uso de tecnologias de pré-fabricação para as novas construções. Juntamente com esse movimento, surgiu o Método Moderno de Construção (MMC), no qual foi caracterizado por uma tecnologia que garantia maior velocidade de construção, melhor qualidade e confiabilidade dos processos, sendo conhecida como *Off-site Manufactured* (OSM), ou Construção Fora do Canteiro (EGAN, 1998),

De acordo com Gibb (1999), o conceito de *Off-site Manufactured* está ligado aos processos de pré-fabricação e montagem, além da fase de projeto. As unidade e módulos são produzidos fora do canteiro de obras, em instalações próprias, e são transportadas para o local de destino para serem montadas, como mostrado nas Figuras 01 e 02, respectivamente.

Figura 01 – Fase de produção em fábrica.



Fonte: Jacks (2018)

Figura 02 – Fase de montagem no canteiro.



Fonte: Lawson *at al* (2014)

De acordo com o autor, existe cinco níveis de tecnologia na construção fora do canteiro que envolvem desde os materiais aos sistemas construtivos industrializados. No nível 0, estão todas as construções convencionais produzidas no próprio canteiro, tais como concreto armado, construções em alvenarias. O nível 1 engloba os elementos pré-fabricados como na produção de treliças de telhados ilustrados na Figura 03. Os principais sistemas convencionais aplicados no Brasil se enquadra entre esses dois níveis.

Figura 03 – Exemplo de Nível 1 – Treliças de telhados



Fonte: Lake Steel Systems (2018)

O nível 2 corresponde aos sistemas estruturais planos e pré-fabricados – *Light Steel Frame*, *Wood Frame* – e está representado na Figura 04. Já no nível 3 se encontra as unidades volumétricas que permitem a união de elementos planares pré-fabricados como indicado na

Figura 05. Por fim, no nível 4, concentra-se os sistemas construtivos completos com o uso dos componentes modulares que são essencialmente concluídos em fábrica e que serão tratados neste trabalho.

Figura 04 – Exemplo de Nível 2 – Paredes de Light Steel Frame



Fonte: Portal Met@lica (201?)

Figura 05– Exemplo de Nível 3 – Módulos de Banheiros.



Fonte: Lawson *at al* (2014)

Porém, algumas barreiras foram identificadas na adoção da tecnologia de construção fora do canteiro. Dentre essas barreiras, segundo os estudos da *Homes and*



*Communities Agency* (HCA) (2010) da Inglaterra, destaca-se a falta de conhecimento dos construtores e empresários sobre os benefícios e da metodologia construtiva, a ausência de fornecedores qualificados para atender as demandas do processo construtivo, além das incertezas sobre a aceitabilidade das agências de fomento, seguradoras e credores hipotecários.

Contudo, a construção fora do canteiro apresenta benefícios dos quais a construção convencional não consegue oferecer, dentre esses destaca-se a melhoria dos níveis de qualidade e desempenho de eficiência energética, além de reduções dos prazos de execução, dos riscos de saúde e segurança presentes no canteiro e de impactos ambientais. Outro aspecto importante é a previsibilidade de todo o processo, contribuindo para um aumento da produtividade e do desempenho das edificações por todo seu ciclo de vida (PAN e GOODIER, 2012). De acordo com Eastman e Sacks (2008), o uso de sistemas com produção fora do canteiro contribui para um aumento na taxa de produtividade de 2,32% ao ano, comparado aos sistemas com atividades no canteiro que apresentam um valor de 1,43%.

De modo geral, os ganhos com prazos e previsibilidade de conclusão, devido a uma menor dependência com etapas posteriores e as variações climáticas são os benefícios mais observados. Apesar dos custos iniciais serem mais significativos quando comparados a tecnologia atual de construção no canteiro, a produção fora do canteiro apresenta uma maior precisão do custo total da construção e uma redução significativa de retrabalhos e do tempo de execução, conseqüentemente, dos custos com mão de obra direta (GIBB; PENDLEBURY, 2006).

Assim como, o uso dessa tecnologia permite um controle maior da produção. Ao transferir o trabalho para o ambiente fabril, é possível reduzir os riscos e os danos causados pelos processos semi-artesaniais inerentes ao canteiro, ou seja, haverá menos pessoal no canteiro em riscos de saúde e segurança, sendo mais fácil o controle na fábrica (GIBB; PENDLEBURY, 2006). Segundo Loughborough University (2003), o ambiente manufatureiro é seis vezes mais seguro do que o ambiente do canteiro.

Por fim, com a redução do tempo das atividades nos canteiros é mais fácil diminuir os impactos ambientais do processo construtivo, além de propiciar ao ambiente vizinho ao canteiro, uma redução de ruído, poeira, poluição e perturbações, assim como o volume de tráfego para o local.

## 5 CONSTRUÇÃO MODULAR

De acordo com as classificações do Manual da Construção Industrializada (ABDI, 2015, p. 44), o sistema de construção modular se enquadra nos sistemas que utilizam técnicas e métodos racionalizados, com pré-fabricados e industrializados a partir de elementos, células ou componentes com funções específicas a desempenhar, e é constituído:

[...] de elementos ou células, fachadas, banheiros prontos e outros. Nesse caso, a fase de execução difere do método convencional, pois os componentes ou elementos já são projetados com dimensões moduladas no projeto e chegam prontos ao canteiro, onde há operações quase que somente de montagem.

Ainda segundo o ABDI (2015, p. 44), a adoção de sistema com processos industrializados para a construção de edificações reduz o percentual de perdas no canteiro, pois as peças são produzidas de acordo com o projeto e chegam prontas para serem montadas. Consequentemente, há redução de quantidade da mão de obra in loco e menor prazo de execução, quando comparado ao sistema convencional. Tal redução se dá pela sobreposição de etapas, ou seja, enquanto há a produção das peças na fábrica, no canteiro, há execução de outras atividades.

Para as diversas partes que compõem o sistema, os materiais aplicados para coberturas, canalizações e armários, acabamentos interiores e elétricos são os mesmos usados nas construções convencionais. Como materiais mais utilizados para a construção dos painéis estão a madeira e o aço, devido suas densidades que facilitam o transporte (GIANINO, 2005).

De acordo com Lawson et al. (2014), a construção modular vem ganhando espaço na indústria da construção civil. No início de sua implantação, seu principal uso estava ligado a construção de edifícios portáteis ou temporários, contudo, hoje seu uso está presente na construção de habitações, edifícios educacionais, públicos, setor da saúde até arranha-céus.

A concepção geral desse sistema está no uso de “unidades tridimensionais ou volumétricas que são pré-fabricadas, totalmente acabadas em condições de fábrica e montadas no canteiro para se construir edifícios completos ou partes importantes desses.” (LAWSON et al., 2014, tradução nossa). Tais módulos podem ser também base estrutural para todo o prédio. Logo, com o uso desse sistema é possível se obter resultados mais eficientes desde do processo de concepção do projeto até o comissionamento do mesmo, além de seu caráter sustentável.

Na concepção de uma edificação usando a construção modular é necessário se obter uma inter-relação entre o espaço desejado e a função do edifício, usando de forma eficiente a padronização dos módulos. Esse modelo de construção requer disciplina no uso dessas

unidades, nas quais substitui os componentes planares, gerando unidades básicas de maiores dimensões. Outra maneira de se potencializar a construção é a produção em escala dos módulos, que permite uma redução do tempo de execução no canteiro, além de eficiência na fabricação dos componentes (LAWSON et al., 2014).

O uso da construção modular está relacionado a construção de edifícios do tipo celular com unidades com dimensões de um quarto de forma a facilitar o transporte, podendo ser os módulos parcial ou totalmente abertos, possibilitando a junção de dois ou mais para criar espaços maiores. Além disso, possibilita a produção de componentes para a construção tais como: banheiros, telhados, elevadores e escadas.

Em 1999, construiu-se o primeiro edifício modular, Murray Grove em Londres. Para a construção dos seus 5 andares, passagens de acesso e varandas, foram usados 80 módulos em forma de L de tamanhos padrões, proporcionando uma arquitetura que atendesse as necessidades dos moradores, como mostrada na Figura 06 e 07.

Figura 06 – Fase de montagem do Murray Grove, Norte de Londres.



Fonte: Lawson et al. (2014)

Figura 07 – Construção do Murray Grove, Londres.



Fonte: Lawson et al. (2014)

## 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS TÉCNICOS

Para se construir usando módulos tridimensionais é necessário a compreensão dos principais materiais usados, dos impactos ambientais envolvidos, da produtividade e prazos de entrega e como se comporta a logística de transporte, tanto horizontal quanto vertical. Por fim, é importante identificar quais os exemplos de aplicação no mercado internacional.

### 5.1.1 Materiais

#### 5.1.1.1 Concreto

Os módulos fabricados em concreto podem ser construídos a partir de painéis pré-fabricados 2D que serão usados para compor paredes, piso e teto, e as unidades tridimensionais que podem ser acoplados a uma base aberta. Seu uso está ligado às aplicações que necessitam de alta segurança, pois são mais resistentes que os outros modelos. Um exemplo de instalação desses módulos pode ser visto na Figura 08.

Figura 08 – Instalação de módulos de concreto.



Fonte: Lawson et al. (2014) - Cortesia de *Oldcastle Precast*.

Os módulos possuem espessura de 12,5 cm de paredes e 15,0 cm de laje. Quando produzidos com base aberta, essa é preenchida pelo teto da unidade abaixo, reduzindo assim o peso próprio do módulo. Outra maneira de otimizar o uso das unidades é a possibilidade de unir duas ou mais unidades tridimensionais entre si, ou unidades tridimensionais com as bidimensionais permitindo a criação de áreas de maior extensão.

Entre outras vantagens, estão a produção em escala das unidades em fábrica, na produtividade de instalação dos módulos que variam entre 6 a 10 módulos/dia – considerando a produtividade dos equipamentos e altura de lançamento –, e a instalação dos eletrodutos que podem ser embutidos no concreto. Dentre os modelos de módulos de concreto, destaca-se três: tipo corredor, módulo de laterais abertas e núcleos de concreto.

#### *5.1.1.1.1 Tipo Corredor*

O tipo corredor tem seu uso na construção de hotéis, acomodações de estudantes, quartéis militares pois necessitam do uso repetitivo dessas unidades e de cômodos com dimensões reduzidas. Esse modelo permite a junção com elementos planares para formar ambientes e também acoplar outros módulos conforme a Figura 09.

Figura 09 – Módulos tipo corredor para hotéis.



Fonte: Lawson et al. (2014) - Cortesia de *Oldcastle Precast*.

#### 5.1.1.1.2 Módulos de laterais abertas

Os módulos de laterais abertas são fabricados com uma estrutura de piso e teto rígidos que garantem a sua estabilidade. Seu uso comum é na construção de edifícios escolares de um só andar. Na Figura 10, é possível perceber que a laje de piso é suportada por vigas intermediárias, transversais ao comprimento da laje, tornando essa mais fina que a do teto. Quando fabricado com nervuras, pode alcançar um vão de 12 m.

Figura 10 – Módulos de laterais abertas para escolas.



Fonte: Lawson et al. (2014) - Cortesia de *Oldcastle Precast*.

### 5.1.1.1.3 Núcleos de concreto pré-moldados

Os núcleos de concreto têm seu uso mais comum nas construções que necessitam de ambientes mais amplos. Na sua fabricação, podem ser produzidos com acessórios para escadas e elevadores, sendo possível, a instalação das escadas de forma concomitante a instalação dos módulos, assim como podem ser incorporados dois ou mais unidades para a fabricação de caixas de elevadores com ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Núcleos de concreto para caixa de elevadores.



Fonte: Lawson et al. (2014) – Cortesia de *PCE Design & Build*.

### 5.1.1.2 Wood Frame

O sistema Wood Frame consiste em um

[...] sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o fogo. (MOLINA; CALIL, 2010)

A montagem dos módulos tridimensionais se dá pela união dos painéis de forma a constituir os ambientes projetados, como mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Transporte de módulo em *Light Wood Frame*.



Fonte: Building with frames (2014)

Nesse sistema, usam-se como revestimento placas compensadas ou placas de OSB (*Oriented Strand Board*), acrescidos de uma ou duas camadas de gesso acartunado. A forma mais econômica, afirmam Stricklin, Schiff e Rosowsky (1996), é a construção de edificações de até dois pavimentos, porém podem ser construídas edificações de até cinco pavimentos (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010).

Nos EUA, o uso desse sistema é bastante difundido, alcançando cerca de 95% das construções de casas, além de possibilitar a produção de diversos projetos desde casas populares a construções de alto padrão. (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010).

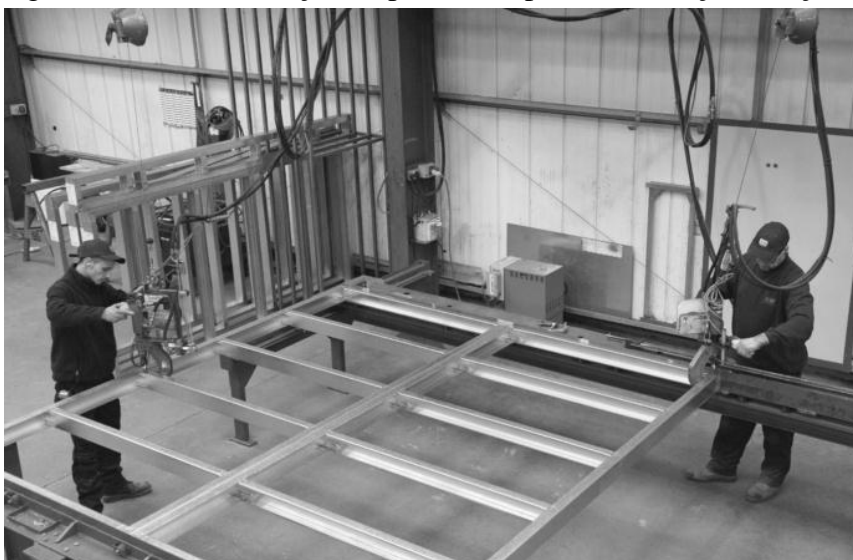
### 5.1.1.3 *Light Steel Frame*

O *Light Steel Frame* é “processo pelo qual compõe-se um esqueleto estrutural em aço formado por diversos elementos individuais ligados entre si, passando estes a funcionar em conjunto para resistir às cargas que solicitam a edificação e dando forma à mesma” (FREITAS e CRASTO, 2006. pág. 12).

Diferentemente do uso convencional do aço nas construções que adotam seções I e H, o uso do *Light Steel Frame* nos módulos são adotados, geralmente, como componentes pré-fabricados de aço galvanizado moldados a frio de seções C para compor parcial, como na produção de painéis para parede, piso e teto, como ilustrado na Figura 13, ou totalmente nas edificações (ALVARENGA, 2002), que quando unidos os painéis formam o módulo 3D.



Figura 13 – Pré-fabricação de painéis de parede com aço de seção C.



Fonte: Lawson et al. (2014) - Cortesia da BW Industries.

Os painéis são, geralmente, revestidos interna e externamente e após sua montagem, são transportados para o canteiro. Os módulos funcionam como a estrutura primária dos edifícios, podendo haver outros componentes que melhoram a estabilidade do conjunto. Em algumas construções, banheiros ou saletas podem ser fabricados separadamente como cápsulas e esses são apoiadas sobre a estrutura principal.

Lawson (2007) no seu trabalho para o Instituto de Construções em Aço (SCI) apresentou algumas possibilidades de módulos que podem ser usados em projetos de edificações usando construção totalmente modular ou formas mistas de construção em aço. Essas possibilidades variam conforme o uso e a distribuição dos carregamentos, além dos tamanhos dos vãos a serem alcançados.

#### *5.1.1.3.1 Módulos de 4 lados*

Os módulos de 4 lados, também conhecidos como de suporte contínuo, são formados por painéis de paredes que recebem as cargas verticais vindas dos módulos acima combinadas com as cargas no plano oriundas da ação do vento. Os módulos são montados a partir de uma estrutura de piso na qual são instalados os painéis 2D de paredes que se assentam sobre os painéis do módulo abaixo e em seguida a colocação do painel de teto conforme Figura 14. O revestimento é pré-fixado e todas as paredes recebem uma camada de isolamento e revestimento externo contra intempéries

Figura 14 – Módulos de quatro lados.



Fonte: Lawson et al. (2014)

Os módulos possuem dimensões limitadas para facilitar o transporte e instalação com largura externa de aproximadamente 4 m e comprimento entre 6 a 10 m. As aberturas para portas e janelas são feitas em suas extremidades.

Os perfis usados são os de aço de seção C postos de forma individual ou em pares distantes de 60 cm dependendo do carregamento que deverão suportar, e a união entre os módulos é através de placas aparafusadas.

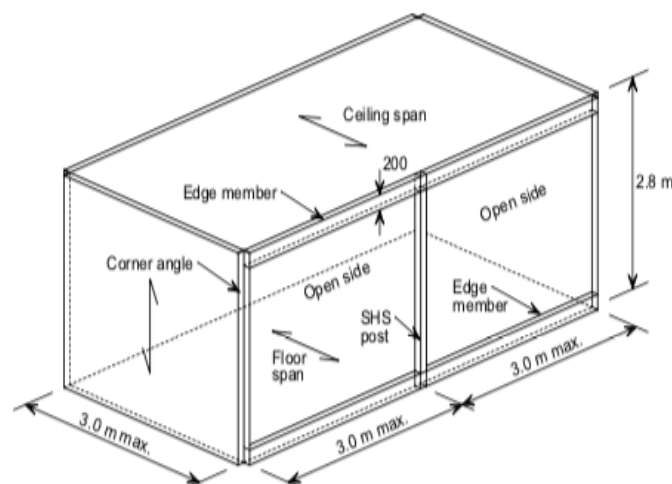
Nesse modelo de construção, além da transferência direta das cargas para as paredes laterais, há uma outra possibilidade de transferência que pode ser de forma indireta com a contribuição das vigas de borda no piso e teto.

A altura máxima da edificação varia com a estabilidade e resistência do grupo de módulos devido a ação do vento e sua localização. Segundo Lawson (2007), o limite para esse tipo de construção modular é entre 6 a 10 andares e geralmente é usado na construção de hotéis, residências estudantis e edifícios residenciais de pequenas dimensões.

#### 5.1.1.3.2 Módulos parcialmente abertos

Os módulos parcialmente abertos são derivados dos módulos de 4 lados, quando a esses é inserido postes de canto e intermediários, quando necessários, de seção quadrada oca que ficaram embutidos nas paredes. Além dessas inserções, adota-se vigas de borda contínua que acompanham a estrutura do piso que são aparafusadas aos postes. As dimensões máximas das aberturas são estabelecidas a partir da resistência a flexão e rigidez dos postes de canto conforme a Figura 15.

Figura 15 – Módulo parcialmente aberto e possíveis dimensões.



Fonte: Lawson (2007)

Esse modelo de módulos permite a criação de espaços mais amplos a partir da junção de dois ou mais módulos. Para módulos muito extensos, sugere-se incluir um corredor de forma a melhorar tanto a velocidade da construção quanto a melhora na estanqueidade

durante as instalações devido a junção de blocos conforme a Figura 16. Varandas ou outros componentes são acoplados os suportes de canto ou intermediários.

Figura 16 – Módulo parcialmente aberto com corredor.

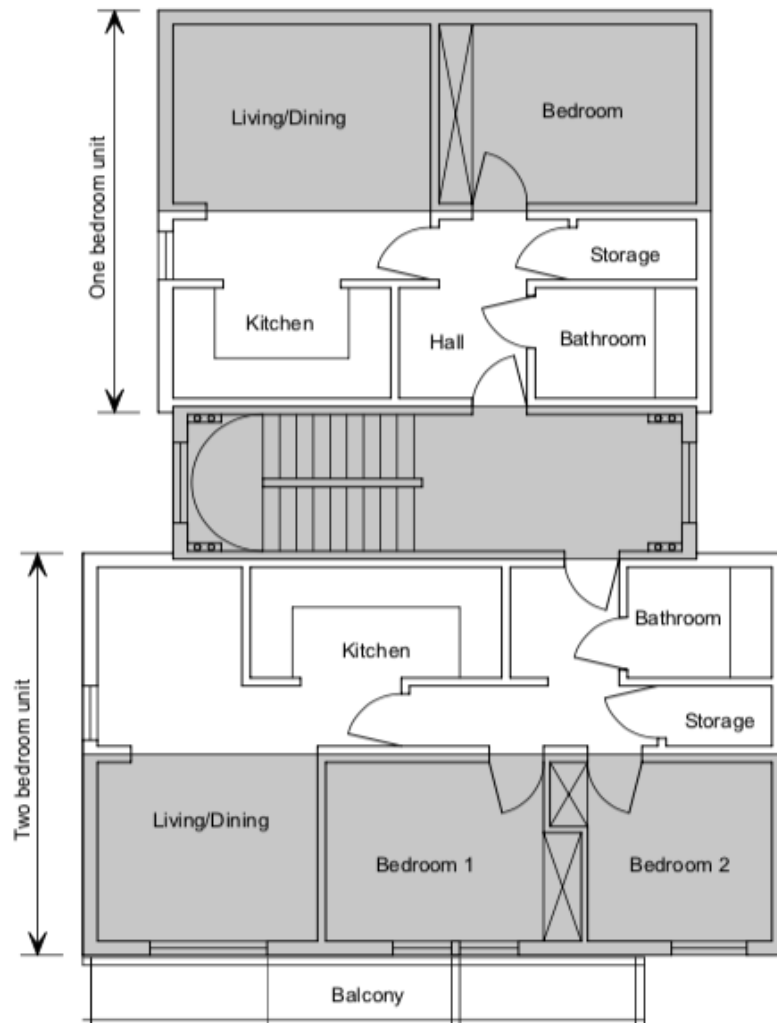


Fonte: Lawson et al. (2014)

Durante o içamento do módulo, faz-se necessário a colocação de suportes temporários para dar maior estabilidade nos lados abertos, assim como, a instalação de sistema de contraventamento separado, devido a possibilidade dos módulos parcialmente abertos não apresentarem resistência ao cisalhamento suficiente em determinadas aplicações.

Esse modelo possibilita edificações que alcancem de 6 a 8 andares e são usados na construção de pequenos apartamentos, hotéis com corredores, áreas comuns em residências estudantis, ampliação de edifícios existentes, inclusive podendo ser usado para a construção das escadas, conforme a planta da Figura 17.

Figura 17 – Planta baixa de apartamento utilizando módulo parcialmente aberto.



Fonte: Lawson (2007)

### 5.1.1.3.3 Módulos com suportes de canto

Os módulos com suportes de canto têm suas cargas verticais transmitidas para os postes localizados nas extremidades dele e dessa maneira os módulos não necessitam dos lados para a distribuição das cargas, permitindo a junção com outros módulos e possibilitando criar espaços maiores. Para facilitar o transporte e para diminuir o tamanho das vigas, pode-se introduzir postes intermediários. Os postes de canto utilizam seções quadradas ocas e as vigas com seções de canais de flange paralelos vencendo vãos de 6 a 12 m de acordo com a imagem 18.

Figura 18 – Módulos com suportes de canto.

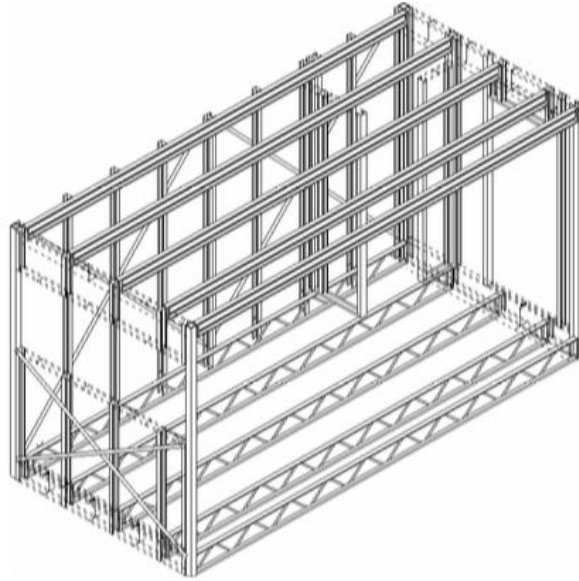


Fonte: Lawson et al. (2014)

Assim como os modelos anteriores, esse permite a colocação de sacadas ou passagens em balanço através de sua estrutura de extremidade rígida, assim como, a concepção de uma fachada envidraçada, pois o apoio no plano da fachada não é necessário.

Esse modelo de construção com módulos de face aberta possui largura que varia entre 3 e 3,6 m e permite a combinação com outros módulos podendo gerar um espaço de 6 a 12 m. Para o sistema de constraventamento conforme a Figura 19 é usado suportes em X nas paredes de divisão entre outros módulos dando maior estabilidade a edificação. O uso desse modelo com módulos abertos ocorre geralmente nos setores de saúde e educação de no máximo 3 andares como representado na Figura 20.

Figura 19 – Módulos com suportes de canto e sistema de contraventamento.



Fonte: Lawson (2007)

Figura 20 – Construção de um hospital com módulos com suportes de canto



Fonte: Lawson (2007)

### 5.1.2 Impactos Ambientais

Além de todos os benefícios técnicos que se espera no uso de uma nova tecnologia, a mesma deve ser sustentável, garantindo um bom desempenho ambiental, social e econômico. Dentre os métodos de avaliação das construções modulares quanto ao desempenho ambiental utilizados no Reino Unido estão o BREEAM, sigla usada para Método de Avaliação Ambiental do *Building Research Establishment* (BRE), e o Código para Casas Sustentáveis (CfSH) usado na certificação de desempenho de novas residências. Do mesmo modo, nos Estados Unidos, uma das certificações que avaliam os aspectos de sustentabilidade das edificações é o LEED, sigla para Liderança em Energia e Design Ambiental.

Dentre as certificações supracitadas, o BREEAM é o principal método de avaliação inglês de desempenho de sustentabilidade de projetos de infraestruturas, edifícios individuais e comunidades que pode ocorrer em todo o ciclo de vida do ambiente construído. Esse método adota uma série de categorias para se determinar o quão sustentável é o ambiente. As categorias abordadas são energia, saúde e bem-estar, inovação, uso do solo, materiais, gestão, poluição, transporte, resíduos e água. Porém, no Brasil, sua utilização ainda é muito recente. (BREEAM, 2017)

O LEED é um sistema de certificação norte-americano de edifícios sustentáveis, aplicado a grande parte dos tipos de projetos de residências, edifícios e comunidades, favorecendo a construção de ambientes ecológicos, eficientes e econômicos em qualquer etapa do ciclo de vida. As categorias analisadas variam conforme o tipo de certificação – Design Integrado, Energia, Água, Resíduos, Materiais, Localização e Transporte, Canteiros Sustentáveis, Impacto Regional e Inovação (USGBC, 2017).

De acordo com a *Buildoffsite* (2013), a construção modular, enraizada nos princípios da construção fora do canteiro, apresenta-se como um sistema sustentável, proporcionando benefícios de caráter social, ambiental e econômico, desde do seu processo construtivo até o desempenho em serviço. Dentre os benefícios, destaca-se a redução de acidentes no canteiro e na produção em fábrica, ambiente fabril de trabalho melhor e mais seguro, assim como, menos impactos no tráfego com a redução de 75% do transporte de material e volume de veículos e equipamentos para o local, conseqüentemente, menos poluição sonora e poeira, menos desperdícios e a possibilidade de se inserir materiais recicláveis e reciclados em sua produção.

Uma característica da construção modular é o uso eficiente dos materiais, pois estes já são fabricados com as dimensões e quantidades específicas para o projeto, sem que haja



desperdícios. De acordo com o *Green Guide to Specification* – BRE, dentro dos vários critérios que mensuram os impactos ambientais em escalas de A\* a E, os modelos de construção modular que usam o *light steel frame* apresentam classificação entre A\* e B. Essa classificação está associada ao alto índice de reciclagem do aço. (ANDERSON e SHIERS, 2009)

Na Europa, segundo Lawson et al. (2014), cerca de 98% de todo aço de uso primário é reciclado e volta para o processo construtivo, assim como, as formas usadas nos módulos de concreto tem seu uso muito mais eficiente comparado a construção convencional.

Outras economias ligadas as vantagens de se construir usando esse sistema são: redução das dimensões das fundações, visto que alguns modelos apresentam módulos mais leves, a possibilidade de ampliação e adaptação de ambientes, podendo até reutilizar tais módulos para construções em outros locais, e quando aliado a tecnologias de energia renovável, apresenta ainda maior desempenho e economia quando comparado a outros sistemas.

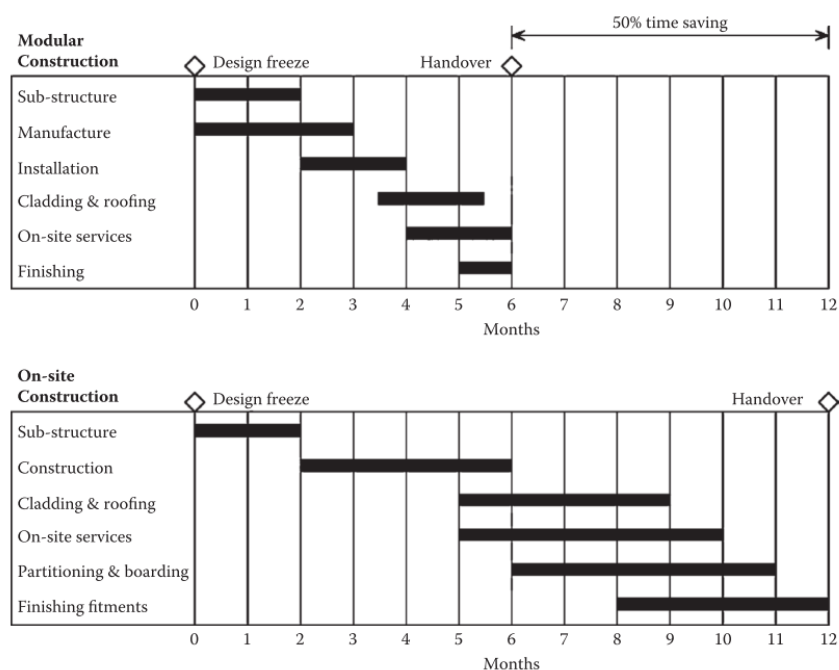
Quanto ao desperdício, a construção modular apresenta baixo índice devido ao seu processo de fabricação e instalação, permitindo a reciclagem dos resíduos, chegando a uma diminuição de 65% comparada a construções convencionais. (JAILLON, POON, 2008). Além disso, há uma redução do consumo de água, principalmente quando utilizados módulos em *light steel frame* e *wood frame* que são considerados processos secos, assim como um maior controle no volume para a fabricação dos módulos em concreto.

### **5.1.3 Produtividade e prazo de execução**

Dentre os benefícios da construção modular, a redução dos prazos de execução das etapas é o mais significativo. De acordo com os estudos de Lawson et al. (2014), para uma construção de 6 andares, é possível se obter uma redução de até 50% do tempo de execução, principalmente devido, a possibilidade da execução do sistema de fundações simultaneamente da produção dos módulos. Além disso, pode ser verificado na Figura 21, um curto prazo de fabricação e instalação dos módulos, e da execução das etapas de revestimento e coberta.

Outros aspectos importantes observados, foi a redução do tempo total em canteiro e da demanda de mão de obra direta, fatores que contribuem para uma maior produtividade e consequentemente, redução do tempo de obra.

Figura 21 – Comparação entre a construção modular fora do canteiro e a construção convencional



Fonte: Lawson et al. (2014)

Da mesma forma, os estudos de Fawcett et al. (2005) do *National Audit Office* sobre o uso de métodos modernos para a construção de habitações constataram que o uso do sistema de construção modular reduz o tempo de construção em quase 60% quando comparado com a construção de alvenaria. No estudo, a construção em alvenaria foi realizada em 39 semanas, e com o uso dos módulos tridimensionais foi realizado em 16 semanas.

#### 5.1.4 Logística de transportes

A logística de transporte horizontal e vertical dos módulos é a principal limitação nas construções com unidades tridimensionais (MEMARI et al., 2014), principalmente, devido às restrições das dimensões dos módulos que devem estar conforme as restrições impostas pelo transporte. Na Figura 22, é possível observar o transporte vertical de um módulo realizado por um guindaste.

Figura 22 – Transporte vertical dos módulos.



Fonte: Paniel Built Incorporações (2018)

O transporte dos módulos se assemelha ao de contêineres, cujo transporte horizontal ocorre através de caminhões de médio porte e o transporte vertical por meio de guindastes ou gruas, sobrepondo uma unidade sobre a outra. Por se tratar de um produto manufaturado, garante um perfeito encaixe entre peças e a outras unidades (ALVARENGA, 2002).

São utilizadas estruturas especiais para garantir a estabilidade e segurança no içamento dos módulos como ilustrado na Figura 23, assim como, a introdução de colunas de canto de aço laminado a quente ou seções quadradas vazadas para melhorar a elevação dos módulos, além de que permitir uma melhor conexão de varandas e entre outros módulos.

Figura 23 – Estrutura de içamento.



Fonte: Lawson et al. (2014)

A importância da logística não deve ser subestimada. Informações como restrições dos canteiros e a integração com instalações já existentes são essenciais, assim como a compreensão da complexidade exigida dos profissionais responsáveis pelo transporte e instalação dos módulos. (KELLY, 2009)

No entanto, a realização de um planejamento eficiente e a concepção do projeto levando em consideração essas limitações do transporte tornará viável o empreendimento, pois é justamente o processo fabril alinhado com a entrega do módulo pronto que garantirão a alta produtividade e menores prazos de execução. (CAIADO, 2005)

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CUSTOS

Comparado aos sistemas convencionais de construção, os sistemas modernos – painéis pré-fabricados, módulos volumétricos e sistemas híbridos – são considerados mais caros, quando analisados os custos de forma isolada. Porém, deve ser levado em consideração os benefícios atrelados ao uso desses sistemas, em especial, o da construção modular em estudo.

A exemplo dos empreendimentos do Programa Minha Casa e Minha Vida do governo federal, os custos diretos estão em torno de 85% do valor total, sendo os insumos que mais oneram são os materiais e a mão de obra, que giram em torno de 66% e 34%, respectivamente. (CUNHA FILHO; SOUZA, 2015)

De acordo com Mullen (2011), para a construção de módulos produzidos com madeira nos EUA, os custos com materiais giram entorno de 45 a 50% e mão de obra 16% dos custos diretos. Esses valores retratam o caráter industrial que o sistema modular trás as construções. Assim como, a mão de obra direta no canteiro é reduzida pela metade, sendo necessária, significativamente, para as etapas de infraestrutura. Já os custos com os serviços preliminares são em torno de 8% em sistemas modulares, contrapondo os 15% em uma construção convencional.

O uso dos módulos para as construções apresenta alto custo-benefício, porém em situações nas quais há deficiência de planejamento e alterações tardias nos projetos, seu uso pode onerar, consideravelmente, o valor total da edificação.

De modo geral, a construção modular aliada as características da construção fora do canteiro apresenta vantagens econômicas quando atrelada a uma economia de escala em construções que haja a padronização de ambientes. A possibilidade de se construir em curtos prazos e a redução de atividades no canteiro reflete diretamente nos custos globais, representando uma redução de um terço desses (FAWCETT et al., 2005).

De acordo com Lawson et al. (2014), em sua produção fabril, o sistema de construção modular permite a redução de 20% dos desperdícios de materiais pois as peças já são produzidas com as devidas dimensões e conseqüente redução dos custos relacionados ao descarte desses resíduos.

A construção civil, devido a seu caráter artesanal, apresenta custos significativos com desperdício e retrabalhos (GROHMANN, 1998). Nos EUA, estudos do Instituto da Indústria da Construção (CII, 2013) constatou que, em média, 5% dos custos totais com a construção são devido a retrabalhos. Estima-se que, em 2014, cerca de US\$ 85 bilhões foram gastos com retrabalho nos Estados Unidos (BEA, 2014), e não diferente, no Brasil esse valor

chegou a R\$ 16,30 bilhões em 2012. (IBGE, 2012). Porém, com o uso da construção modular, o percentual de retrabalho no período de fabricação dos módulos é praticamente nulo, devido ao controle de alto qualidade e os processos envolvidos que são mais sofisticados (LAWSON et al., 2014)

Os custos da construção de uma residência inglesa com sistema convencional em alvenaria variam entre £ 600,00/m<sup>2</sup> e £ 1.000,00/m<sup>2</sup>, em torno de R\$ 2.804,03/m<sup>2</sup> e R\$ 4.673,38/m<sup>2</sup>. Já para o sistema de construção modular, esse valor está entre £ 800,00/m<sup>2</sup> e £ 1.200,00/m<sup>2</sup>, em torno de R\$ 3.738,70/m<sup>2</sup> e R\$ 5.608,05/m<sup>2</sup> (FAWCETT et al., 2005). Vale ressaltar que há um intervalo em comum entre os dois métodos, e é esse intervalo que interessa para a tomada de decisão entre um sistema artesanal e um industrial.

De acordo com a análise de Fawcett et al. (2005), o uso de sistemas industrializados é mais vantajoso que o convencional na construção de edifícios com mais pavimentos. Ou seja, a medida que aumenta o número de pavimentos da edificação, maiores serão os custos totais da construção quando usado o sistema convencional.

Segundo Lawson et al. (2014), a construção de hotéis com até 4 pavimentos tem sido bastante vantajosa quando adotado o sistema de construção modular. Fatores como dimensões dos ambientes, prazo de execução e um rápido retorno financeiro, contribuíram para a adesão do sistema. Em alguns casos, a entrega do empreendimento pode ser antecipada em 3 meses, correspondendo a uma receita de aproximadamente de 3% do custo total da obra.

Ainda segundo o estudo supracitado, o que torna mais competitivo o uso dos módulos é a redução dos custos totais relacionados as atividades fora do canteiro, devido ao processo fabril dos módulos que corresponde, em média, a 65% dos custos totais da obra.

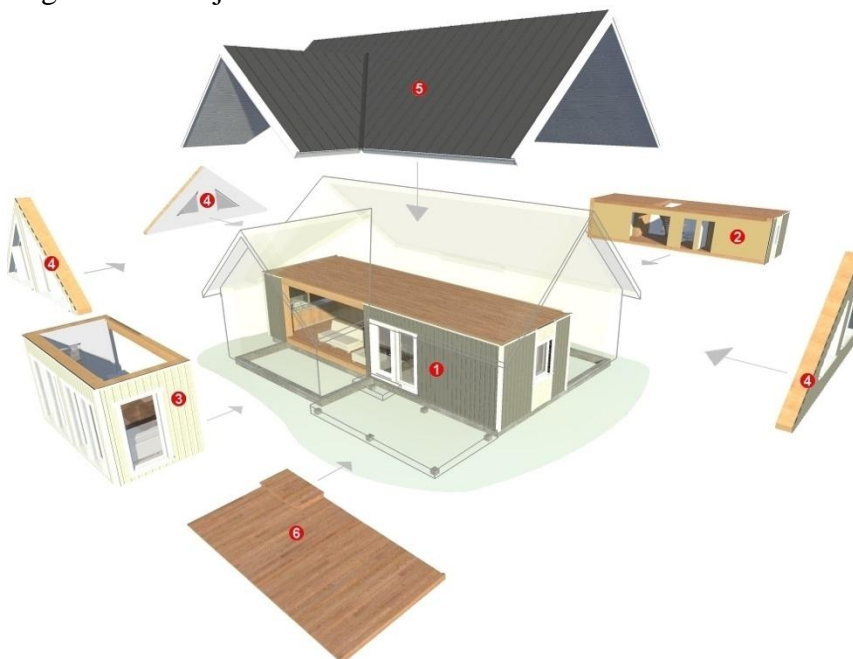
### **5.3 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO NO EXTERIOR**

No mercado exterior, a construção modular juntamente com a painelização tem seu uso ampliando devido, principalmente, os benefícios da pré-fabricação fora do canteiro e a qualidade final dos produtos. Dentre os ramos da construção dos quais esses sistemas têm sido aplicados estão a construção de edifícios residenciais, mistos (comercial e residencial), residências universitárias e no setor de saúde. Dentre essas construções, serão apresentados os principais exemplos relacionados às habitações a partir da classificação do uso.

### 5.3.1 Habitações Unifamiliares

A construção e comercialização de casas modulares é muito comum nos EUA. Há diversas empresas que comercializam seus projetos com catálogos de diferentes *layouts* de produtos pré-estabelecidos, mas permite alterações de materiais e acabamentos. Um modelo simples de construção e que compõe um desses catálogos de vendas está ilustrado na Figura 24, na qual a edificação é composta por três módulos – área social (2), área privativa (2) e área de serviço (3), o sistema de telhado (4 e 5) que também é pré-fabricado e um painel de piso da varanda (6). Outro exemplo de casa modular popular nos EUA é representado na Figura 25.

Figura 24 – Projeto de casas modulares.



Fonte: AIG (2018)

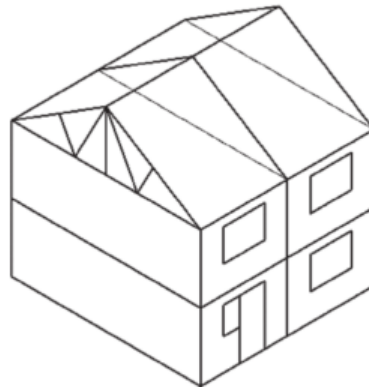
Figura 25 – Modelo de casa modular dos EUA.



Fonte: Champion Homes (201?)

Outro modelo simples de casa familiar é composto por quatro módulos, dois por andar, conforme o exemplo da Figura 26, incluindo escadas, e sistema de cobertas. Dois módulos são compostos por cozinha, banheiro e a escada e os outros dois pela sala e os quartos. Para o uso eficiente dos ambientes, é necessário que as dimensões dos módulos da cozinha, banheiros e escada sejam mais estreitos que os da sala e quartos. As fachadas possuem, aproximadamente, 6,6 m e os comprimento dos módulos variam entre 8 e 10 m de acordo com o *layout* da casa (LAWSON et al., 2014).

Figura 26 – Exemplo de casa modular composta por 4 módulos.



Fonte: Lawson et al.(2014)



Na Figura 27, pode ser observado um exemplo de residência unifamiliar com dois andares no estado da Dakota do Norte, EUA. Para a obtenção de espaços mais amplos e flexíveis, os módulos podem ser fabricados com abertura parcial como ilustrado na Figura 28.

Figura 27 – Residência unifamiliar de dois pavimentos.



Fonte: Champion Homes (201?)

Figura 28 – Ambiente interno mais amplos e com visão do exterior.



Fonte: Champion Homes (201?)

No Japão, as casas modulares possuem de 2 ou 3 andares com módulos relativamente pequenos, geralmente são constituídos por lados abertos e apresentam largura de 2,4 m e comprimentos que variam entre 3,6 a 5,4 m conforme a Figura 29 (LAWSON et al., 2014).

Figura 29 – Residência unifamiliar de dois pavimentos.



Fonte: Lawson et al. (2014)

### 5.3.2 Habitações Multifamiliares

As habitações coletivas ou conjuntos habitacionais são projetos muito comuns em algumas cidades europeias cuja demanda por habitações é grande em determinada região. Em Malmö, no sul da Suécia, foram construídos 1200 apartamentos de 2004 a 2008, com o uso do conceito *Open House* para a produção de conjunto habitacional de vários andares que permite uma liberdade arquitetônica para as edificações. O empreendimento titulado de Annestad constitui de blocos de dois a cinco andares. Os apartamentos possuem de um a quatro quartos além de cozinha e banheiro. Um exemplo típico desse tipo de construção pode ser observado na Figura 30 (LAWSON et al., 2014).

Figura 30 – Residência multifamiliar em Malmo, Suécia.



Fonte: Lawson et al. (2014) – Cortesia de *Open House AB*.

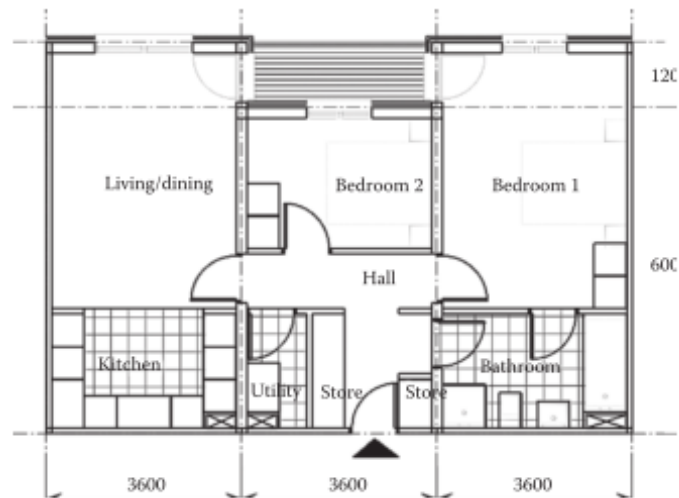
Os apartamentos desses conjuntos habitacionais são compostos, geralmente, por dois módulos para uma configuração de um quarto como na Figura 31 e por três módulos para dois quartos como na Figura 32, além de cozinha, sala de estar e banheiro. Algumas construções como Annestad possuem varandas integradas aos módulos, sendo esses com dimensões de 3,6 m de largura e 7,2 m de comprimento, com largura interna de 3,3 m, cumprindo as exigências da *Lifetime Homes* (LAWSON et al., 2014).

Figura 31 – Exemplo de apartamentos com um quarto.



Fonte: Lawson et al. (2014) – Cortesia de *HTA Architects*.

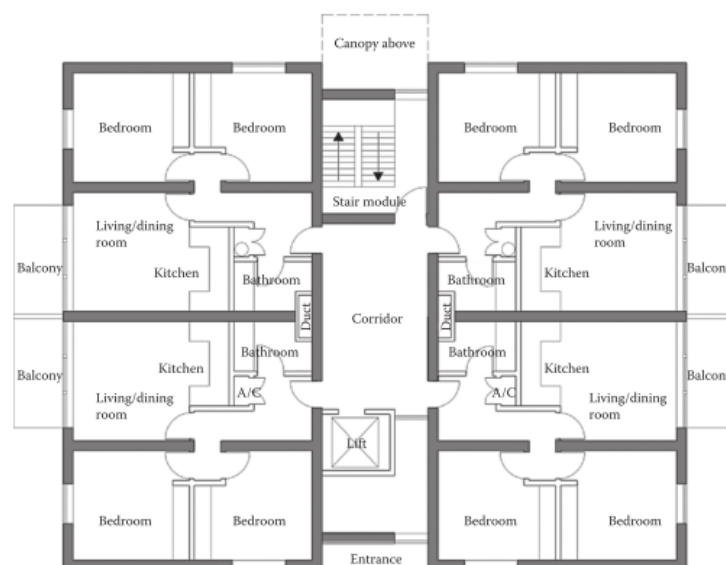
Figura 32 – Exemplo de apartamentos com dois quartos.



Fonte: Lawson et al. (2014) – Cortesia de *HTA Architects*.

De forma a obter uma melhor eficiência dos ambientes, os módulos são dispostos em um formato do tipo corredor conforme a Figura 33, sendo quatro apartamentos por andar, dos quais são compostos por dois quartos, cozinha e banheiro. Quanto às escadas e às caixas de elevadores, essas possuem módulos separados de forma a atender aos quatro apartamentos.

Figura 33 – Exemplo de apartamentos dispostos em formato tipo corredor.



Fonte: Lawson et al. (2014) – Cortesia de *Caledonian Modular*.

Outro exemplo de residências multifamiliares pode ser encontrado no distrito de Stoke Newington, no norte de Londres ilustrado na Figura 34. Raines Court foi o segundo projeto habitacional modular do Peabody Trust e o primeiro projeto de habitação modular financiado pela Corporação de Habitação. Esse projeto revelou a capacidade da construção modular de permitir uma variedade arquitetônica e eficiência no uso dos espaços disponíveis para se construir, pois pretendia-se fornecer habitações de qualidade através de métodos de construção industrializados. Seu projeto e construção foi por meio de uma parceria entre os arquitetos Allford Hall Monaghan Morris, a Wates Construction e a Yorkon. (LAWSON et al., 2014; ALLFORD HALL MONAGHAN MORRIS, 2010)

Figura 34 – Residência multifamiliar em Stoke Newington, no norte de Londres.



Fonte: Lawson et al. (2014) – Cortesia de Yorkon.

Para sua construção, foram utilizados 127 módulos cujas dimensões são de 3,8 m de largura e comprimentos que variam entre de 9,6 a 11,6 m são organizados em forma de T que dá acesso a uma ferrovia e um pátio central. São 42 apartamentos compostos por um ou dois quartos e mais 11 apartamentos com três quartos. Os apartamentos de dois quartos são constituídos por três módulos, sendo um composto por sala de estar, jantar e cozinha e os outros os quartos e banheiros. As dimensões dos módulos seguiram as máximas permitidas de forma a possibilitar o transporte em caminhões convencionais não-escoltados.

Na Figura 35, pode-se observar as varandas cobertas orientadas para o sul que são fabricadas como parte dos módulos cujas dimensões são de 2 m de largura e 3,8 m de

comprimento. Sua instalação ocorreu durante 4 semanas, sendo o período de contrato de apenas 50 semanas, economizando 20 semanas em relação aos métodos de construção convencionais (LAWSON et al., 2014; ALLFORD HALL MONAGHAN MORRIS, 2010).

Figura 35 – Varandas cobertas e acopladas aos módulos do Raines Court.

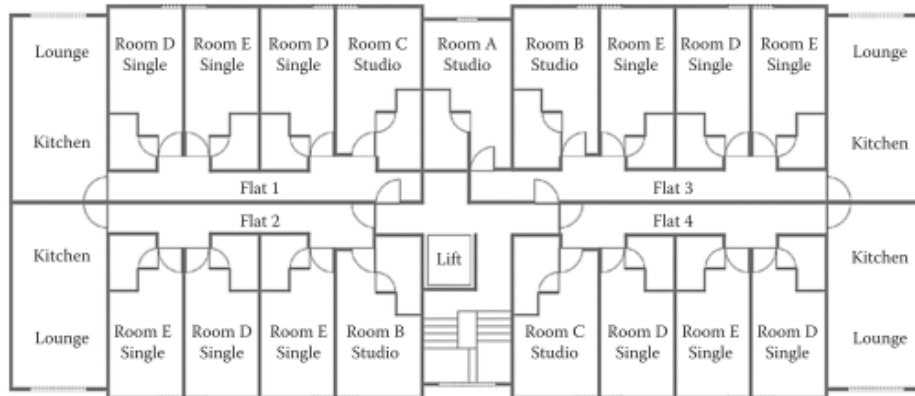


Fonte: Allford Hall Monaghan Morris (2010).

### 5.3.3 Habitações de Uso Institucional

As residências universitárias são outro exemplo de edificações que utilizam a construção modular. São construídas geralmente em estruturas de aço leve e concreto pré-moldados. A organização dos módulos segue o modelo dos edifícios multifamiliares em estilo corredor conforme a Figura 36. Como as habitações para estudantes não requer tantos cômodos, sendo as áreas de serviço e cozinhas geralmente compartilhadas, os módulos de quartos possuem dimensões de 2,7 m de largura e 6 m de comprimento. Para ambientes como que demanda um número maior de pessoas, como sala de estudos e auditórios, projeta-se módulos com dimensões maiores ou agrupa-se dois ou mais unidades. As edificações podem chegar a 12 andares quando criados elementos de contraventamento ou núcleos de concreto que garantam a estabilidade dos módulos (LAWSON et al., 2014).

Figura 36 – Disposição dos quartos de uma residência universitária.



Fonte: Lawson et al. (2014).

Um exemplo de residência universitária construída com módulos pode ser observado na Figura 37, está situada em Holloway Road, no norte de Londres, e foi construída por 669 módulos compostos por quartos, cozinhas e banheiros. A instalação dos módulos durou apenas 17 semanas, ou seja, aproximadamente, uma produção de 8 módulos por dia. Nesse exemplo, os módulos foram alocados em um pódio com estrutura de aço, sendo o piso térreo designado para espaços comuns ou escritórios. Outro exemplo de residência universitária do leste de Londres esta ilustrada na Figura 38. (STEELCONSTRUCTION.INFO, 2018).

Figura 37 – Residência estudantil modular presente no norte de Londres.



Fonte: *SteelConstruction.info* (2018). – Cortesia de *Unite Modular Solution*.



Figura 38 – Residência estudantil modular presente no leste de Londres.



Fonte: *SteelConstruction.info* (2018). – Cortesia de *Unite Modular Solution*.



## 6 LEVANTAMENTO DE OPORTUNIDADES

Com o mercado cada vez mais exigente e competitivo, para se inserir um novo produto não basta que este seja eficiente e com alto custo-benefício. É comum que o público-alvo se sinta inseguro por se tratar do novo, diante de concorrentes já estabelecidos. Logo, no mercado da construção civil com suas inovações não é diferente. Porém, o incentivo do governo e empresas financiadoras à produção de novos itens auxilia a difusão do conhecimento sobre os benefícios técnicos e econômicos desses produtos.

Portanto, é importante entender de que forma a construção modular se tornou um sistema usual nas construções no exterior e em quais setores tem sido aplicado, para se identificar as possíveis aplicações no mercado brasileiro.

### 6.1 MERCADO ESTRANGEIRO E FONTES DE FOMENTO

Na Europa, dentre os principais mercados que optam pelo uso da construção modular estão a rede de saúde, prédios mistos com andares residenciais e térreo ocupado por serviços e os edifícios residenciais para grupos de solteiros com até dois habitantes que vivem nos centros urbanos e que aumentará cerca de 40% até 2020. Esse público necessita de um alto nível de integração de serviços, equipamentos especializados e comissionamento externo (LAWSON et al., 2014).

Assim como, o desenvolvimento de projetos de habitação social, que ocorrem de forma expressiva nas cidades interioranas e que apresentam series de restrições para os sistemas construtivos convencionais. Porém, com o uso da construção modular, a partir dos princípios de construção fora do canteiro, é possível, principalmente, devido a possibilidade da modularização dos ambientes (LAWSON et al., 2014).

No Reino Unido, a partir de uma Avaliação Externa da Habitação realizada pelo Conselho da Industria da Construção (ED MILES, J., e WHITEHOUSE, 2013), incentivou-se o uso de sistemas industrializados de produção fora do canteiro, devido ao ritmo crescente populacional e da demanda de 75.000 unidades habitacionais até 2020. Logo, esse ramo se tornou o maior atrativo para os empresários da construção modular, devido a padronização e velocidade nas entregas.

O governo inglês juntamente com seus empresários do ramo da construção busca incentivar este mercado a produzir casas com um *target* de £ 784,00/m<sup>2</sup>, em torno de R\$ 3700,00/m<sup>2</sup>. Esse incentivo gera uma competição entre construtoras a buscarem os melhores

métodos de construção em escala para a produção de habitações, garantindo o melhor custo-benefício. (FAWCETT ET AL., 2005)

Além disso, alguns órgãos públicos não departamentais executivos, patrocinados pelo Ministério da Habitação, Comunidades e Governo Local inglês como *Homes England* e *Regulator of Social Housing* (RSH) surgem com o intuito de impulsionar mudanças no setor imobiliário, desafiando as normas tradicionais e permitindo a aplicação de tecnologia que construam moradias de forma mais rápida e eficiente. Assim como, o RSH busca promover um setor de habitação social viável, desenvolvendo casas que atendam aos indicadores de qualidade estabelecidos pelo governo. Para a construção das habitações sociais, são usados subsídios do governo inglês através dos programas de financiamento da *Homes and Communities Agency* (HCA).

Outra ação do governo inglês para estimular o mercado imobiliário foi o lançamento de um pacote de 1,5 bilhão de Libras Esterlinas com o intuito de promover o desenvolvimento habitacional em locais estratégicos das cidades, como a criação de Cidades Jardins, gerando oportunidades para a aplicação de tecnologias de pré-fabricação e produção em escala. (ED MILES, J., e WHITEHOUSE, 2013)

Nos Estados Unidos, a desaceleração da economia proporcionou o surgimento de pesquisas que possibilitassem um progresso em tecnologias relacionadas à habitação, assim como, nos processos de projeto e construção. Tais pesquisas financiadas pelo privado que se concentraram em desenvolvimento de produtos próprios no lugar de pesquisas básicas e fundamentais, sendo empecilhos frente ao potencial inovador, foram trocados pelos investimentos público (MEMARI et al., 2014).

De acordo com Memari et al. (2014), as principais áreas de pesquisa em construção residencial estão relacionadas com o uso energético de residências e o principal financiador nos EUA é o Departamento de Energia (DOE) com seus programas de eficiência energética, conservação e energia renovável. Outro departamento com papel primordial no incentivo a novas tecnologias é o Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano (HUD).

Além desses supracitados, há outros apoiadores, principalmente nas áreas de desenvolvimento e difusão, como *Energy Star*, *Building America* e *Better Buildings Challenge*. Segundo Hassell et al. (2001), foram investidos mais de US \$ 236 milhões em pesquisa para habitação pelo governo americano, sendo dois terços desse fundo federal direcionados para desenvolvimento na área de energia e eficiência.

Diferentemente dos EUA cujas as pesquisas são frutos de interesse de particulares, no Canadá e no Japão, os investimentos em pesquisas por tecnologias em construções

residenciais são constantes e apoiados tanto pelo setor público quanto pelo privado. Já na Suécia, Alemanha e no Reino Unido, os investimentos em pesquisa são referência e buscam suprir as necessidades do mercado com base nas prioridades do governo (MANSEAU e SEADEN, 2001).

Uma observação importante levantada por Memani et al. (2014) é que as pesquisas no setor industrial da construção só são mantidas durante os períodos de alta no ciclo econômico e, em períodos críticos, os investidores perdem o interesse, em casos mais extremos, perdem o progresso técnico obtido. Diferentemente de outras indústrias que, em período de recessão, recorrem às pesquisas na busca de novas tecnologias que garantam produtividade em períodos áridos.

## **6.2 MERCADO BRASILEIRO E FONTES DE FOMENTO**

No Brasil, não diferente da situação relatada por Memani et al. (2014), os financiamentos de pesquisas vivem em instabilidades (JUNIOR; MATOS; LIMA, 2011). Nos anos 2000, o Governo Federal Brasileiro lançou o Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) que foi integrado ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) como forma de mitigar o déficit habitacional no país e de superar os níveis de baixo crescimento econômico.

O Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) do Governo Federal tem como objetivo promover condições de aquisição de moradia para famílias cuja renda mensal esteja entre zero e dez salários mínimos. Em parceria com os estados e municípios, o programa “foi um marco na trajetória das Políticas Habitacionais do Brasil. A reconstrução dessas políticas, após a extinção do Banco Nacional de Habitação, pode ser vista como um gradual avanço institucional, no final da década de 1990.” (REIS e SELOW, 2016, p.156). Em junho de 2018, a previsão de investimento foi de R\$ 105 bilhões de reais.

Desde sua criação em 2007, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) impulsionou a execução de obras de infraestrutura social, melhorando a qualidade de vida nas cidades brasileiras. O programa já executou cerca de 37 mil empreendimentos e com o compromisso de investir em novos projetos e obras de infraestrutura em todos os setores nos próximos anos. (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, 2018)

Assim como o MCMV, o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS), juntamente com o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS) são ações de fomento a projetos e de gestão de recursos destinados às políticas habitacionais para a população de baixa renda, viabilizando o acesso a moradia digna (CAIXA, 2018).

Os recursos do FNHIS contemplam a construção, reformas e recuperação ou produção de imóveis em áreas encortiçadas ou deterioradas, centrais ou periféricas, além de produção de equipamentos públicos destinados aos programas de interesse social.

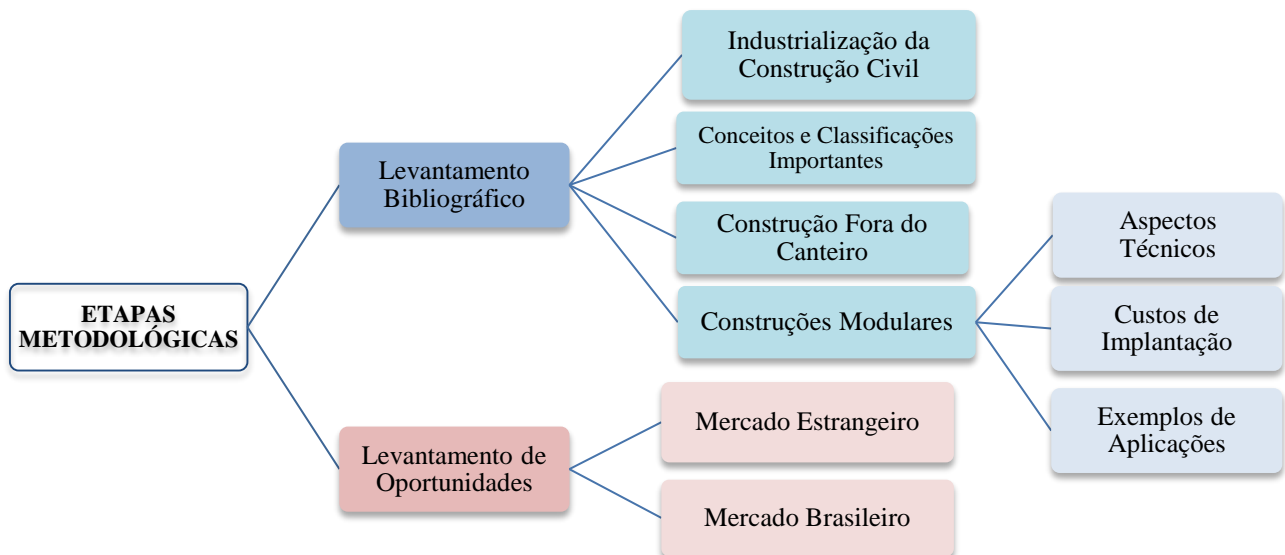
Aliado aos incentivos do governo federal e justificado pelo aumento na demanda por habitação, os empresários da construção civil despertaram o interesse em investir no desenvolvimento de novas tecnologias (NASCIMENTO; SANTOS, 2003; CBIC, 2011; MOURA, 2015).

Com o intuito de fortalecer os investimentos em pesquisas de inovação para a setor, a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) responsável por representar e fortalecer a indústria da construção brasileira, por meio do Programa de Inovação Tecnológica (PIT), busca analisar as inovações tecnológicas propostas para o ramo da construção civil alinhadas ao desenvolvimento sustentável do país (CBIC, 2011).

## 7 METODOLOGIA

A pesquisa em estudo possui caráter exploratório que segundo Gil (2002, p. 41) “tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses”. Logo, para uma melhor compreensão, a pesquisa envolveu levantamento bibliográfico dos principais usos do sistema construtivo e conceitos ligados ao mesmo, além da caracterização dos aspectos técnicos e dos custos com implantação da construção modular. Por fim, foi realizado um levantamento de oportunidades para a aplicação do sistema. As etapas metodológicas adotadas serão apresentadas conforme o fluxograma da Figura 39.

Figura 39 – Etapas Metodológicas



Fonte: Próprios autores.

## 7.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A primeira etapa constituiu do levantamento bibliográfico que foi fundamental para o entendimento de termos e de conceitos ligados a construção modular. Para isso, foram analisadas literaturas norte-americanas e europeias, pois são referência nesse modelo de construção, além de artigos e teses brasileiras contextualizando o processo de industrialização no Brasil. Os principais assuntos abordados, estão apresentados a seguir:

- i. **Industrialização da Construção Civil:** foram confrontadas as definições de industrialização no setor da construção civil, realizando comparações entre outros setores industriais e contextualizando esse processo no Brasil e no mundo;
- ii. **Conceitos e Classificações Importantes:** foi realizado um levantamento das principais definições ligadas aos processos construtivos industriais, por meio da análise de definições presentes na literatura;
- iii. **Construção Fora do Canteiro:** foram apresentados conceitos e benefícios do seu uso de processos fora do canteiro, a partir da análise de documentos e estudos realizados no exterior;
- iv. **Construção Modular:** foi realizado uma breve contextualização e caracterização dos aspectos gerais do sistema a partir da visão de alguns estudiosos da área.

## 7.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS TÉCNICOS

Nesta etapa, buscou-se compreender os diferentes aspectos técnicos envolvidos no processo construtivo, usando os módulos tridimensionais, em especial, nas edificações norte-americanas e nas europeias, por meio da caracterização dos fatores técnicos presentes em artigos e manuais relacionados a construção modular. Os aspectos que foram analisados estão listados a seguir:

- a. **Principais Materiais:** foram apresentadas as vantagens e as características de aplicações dos materiais mais comuns usados na fabricação dos módulos, tais como:
  - i. Concreto;
  - ii. *Wood Frame*;
  - iii. *Light Steel Frame*.

- b. **Impactos ambiental:** foram abordados os métodos de avaliação do desempenho ambiental, os impactos ambientais e os índices de desperdício do sistema;
- c. **Produtividade e prazos de execução:** foram analisados a produtividade e prazos de execução do sistema em estudo por meio de comparação com os sistemas convencionais;
- d. **Logística de transporte:** foram apresentados os procedimentos e as limitações da logística de transporte desde seu deslocamento da fábrica até seu içamento e montagem no canteiro de obras:
  - i. Transporte Horizontal;
  - ii. Transporte Vertical.
- e. **Exemplos de aplicações:** foram ilustrados os principais exemplos de empreendimentos no mercado exterior que adotaram o sistema em sua construção. Esse mapeamento foi realizado por meio de descrições das edificações presentes em sites de construtoras estrangeiras e de artigos que abordaram as tecnologias adotadas na construção.

### 7.3 CARACTERIZAÇÃO DOS CUSTOS

Nesta etapa, foram coletados dados obtidos de estudos sobre os custos dos insumos e serviços inerentes à implantação do sistema de construção modular com unidades tridimensionais aplicados a construção de habitações. A partir dessa coleta, foi realizada uma análise dos dados de forma a concentrar as principais informações sobre os seguintes custos:

- a. Materiais e mão de obra;
- b. Desperdícios;
- c. Descarte de resíduos;
- d. Retrabalhos;
- e. Produção dos Módulos.

Por meio dessa análise, foi possível fazer comparação quanto as vantagens do uso do sistema modular em detrimento do sistema convencional, levando em consideração os custos supracitados e apresentando as diferenças percentuais dos custos entre os dois sistemas.

## **7.4 LEVANTAMENTO DE OPORTUNIDADES**

Nesta etapa, foram levantados dados sobre os principais mercados de aplicação do sistema de construção modular no exterior e das demandas do setor. Assim como, foram identificadas as principais fontes de fomento à pesquisa e os principais programas do governo europeus e norte americano que incentivam o uso de sistemas industrializados de produção fora do canteiro.

No segundo momento, foi analisado mercado brasileiro e as fontes de fomento, em especial, o programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) e Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do governo federal que buscam mitigar o déficit habitacional no país, por meio do levantamento de investimentos em construções de habitações e de equipamentos públicos. Além dos programas governamentais, foi levantado característica do Programa de Inovação Tecnológica da Câmara Brasileira da indústria da Construção (CBIC) de regulação e incentivo à inovação no setor da construção.

A partir da identificação dos principais modelos de habitações construídas com o sistema modular no exterior e das principais fontes de investimentos no Brasil, será possível determinar em quais setores da construção de habitação o sistema de construção modular apresenta potencial de uso.



## **8 RESULTADOS**

### **8.1 PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

A partir da contextualização do processo de industrialização da construção civil, pode-se perceber que mesmo diante da necessidade de se integrar novas tecnologias para se atender a demanda do mercado, os empresários do ramo ainda apresentaram resistência na adoção de processos industrializados. Essa resistência se deu, principalmente, pela inexperiência e desconhecimento dos novos moldes de construção.

No entanto, com o advento de muitos empreendedores estrangeiros familiarizados com os sistemas industrializados no exterior, foi demandado ao mercado brasileiro as mesmas condições de qualidade e tecnologia aos produtos. Com isso, reconheceu-se a necessidade da intervenção de processos industriais nas atividades rudimentares da construção, principalmente no que diz respeito ao “caráter semi-artesanal” (COLOMBO e BAZZO, 2001, p.137) e não homogêneo das construções, assim como, a variabilidade dos prazos de execução devido a natureza meteorológica e de disponibilidade de materiais e mão de obra qualificada, e a não simultaneidade de etapas.

Portanto, a adoção dos processos da construção fora canteiro elevará os níveis de industrialização do setor, garantindo maior confiabilidade dos processos industriais, gerando uma produção em escala dos componentes e/ou elementos e obtendo maior velocidade de construção. Além disso, a difusão desse conhecimento contribui para o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas que garantam uma maior competitividade de mercado e produtos de qualidade mais acessíveis.

### **8.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS TÉCNICOS**

A construção modular apresenta diversos benefícios de caráter social, ambiental e econômico, principalmente, devido ao seu processo de fabricação que contribui para uma redução, significativa, do volume de resíduos e desperdício de materiais. Além disso, tal sistema apresenta construções com alto desempenho em serviço, permitindo, inclusive, a reutilização das edificações ao final do ciclo de vida. Outro aspecto importante é a possibilidade de construções utilizando estruturas híbridas por meio de combinação de elementos planos com os módulos tridimensionais.

Dentre outras reduções significativas, destacam-se o menor índice de acidentes quando comparado aos riscos presentes no canteiro, pois adota um controle mais intenso e eficiente no ambiente fabril; menores impactos no tráfego, com redução de até 75% dos transportes necessário nas construções convencionais, favorecendo um ambiente com menos poluição sonora e poeiras.

Na fabricação dos módulos em *light steel frame* e *wood frame*, há uma redução do consumo de água, pois são considerados processos secos. Além disso, as construções modulares que utilizam o sistema de *light steel frame* apresentam alto índice de reciclagem do aço como ocorre em alguns países da Europa.

De acordo com o estudo de Gibb (1999) a respeito dos níveis de fabricação fora do canteiro, verificou-se que quanto mais elevado o nível de fabricação dos sistemas, menor o tempo total de construção em relação ao modo convencional, assim como, menor o índice de improdutividade oriundo das condições difíceis de trabalho no canteiro e da variabilidade das condições climáticas. Logo, propor um sistema no qual as atividades com grande demanda artesanal sejam substituídas por processos fabris, garante uma maior eficiência e agilidade na produção.

Quanto a logística de transporte dos módulos, é importante ressaltar que mesmo sendo a principal limitação do sistema de construção modular (MEMARI et al., 2014) demanda um planejamento eficiente que atente para a execução de cada etapa, informando os pontos críticos do processo e as soluções mais assertivas e viáveis. No entanto, ressalta-se as inúmeras vantagens do sistema que perpassam pela qualidade e controle dos processos, custo de produção e tempo de execução.

### **8.3 CARACTERIZAÇÃO DOS CUSTOS**

A partir da identificação dos aspectos técnicos da construção modular, pode-se observar que atrelada aos princípios da construção fora do canteiro, apresenta benefícios não só quanto aos processos construtivos, mas quanto aos custos intrínsecos a sua implantação e aos setores da construção nos quais foram adotados.

Dentre os sistemas que utilizam os princípios da construção fora do canteiro, a construção modular é a que mais se desenvolveu, pois apresenta, em média, 65% do valor da obra associado ao processo fabril, contribuindo para uma considerável velocidade de construção, melhor qualidade e confiabilidade nos processos. (LAWSON et al., 2014).

Devido ao menor tempo de construção, o sistema permite um retorno antecipado dos investimentos, além da redução dos custos atrelados ao menor número de mão de obra direta, sem perder a produtividade. E, para projetos que possibilitem a replicação dos módulos, é possível maximizar o uso da produção gerando uma economia de escala.

O custo de produção dos módulos é fator de decisão para a escolha do sistema de construção modular. Logo, a competitividade do sistema está justamente no controle dos custos do processo fabril, dos insumos aplicados a essa etapa e da produção em escala. A expansão do mercado e os incentivos do governo federal contribuirão para a redução dos custos com a fabricação dos módulos e, conseqüentemente, a difusão das vantagens do uso do sistema.

Contudo, é necessário atentar para o investimento inicial atrelado as instalações da infraestrutura fabril. Porém o sistema de construção modular é o modelo ideal para suprir as demandas de um mercado exigente quanto a qualidade, a sustentabilidade e velocidade nas construções.

#### **8.4 LEVANTAMENTO DE OPORTUNIDADES**

Diferentemente dos EUA e dos países europeus, durante períodos de crise econômica no Brasil, os investimentos em pesquisas e tecnologias avançadas são negligenciados, no entanto, é por meio da melhoria dos processos que é possível se contornar os efeitos da crise e fortalecer a economia do país.

Exemplos a serem seguidos são os programas de financiamento da *Homes and Communities Agency* (HCA) de incentivo ao desenvolvimento do setor de habitação social inglês que desafia as normas tradicionais e introduz novas tecnologia na construção de moradias mais eficiente a baixos custos.

Semelhante aos programas ingleses, no Brasil, há o programa Minha Casa Minha Vida que, desde de 2009, já beneficiou mais de 14,4 milhões de pessoas e construiu mais de 3,6 milhões de moradias em todo o país. E, o governo brasileiro prevê mais investimentos para os próximos anos (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2017).

Portanto, a partir da identificação dos principais modelos de habitações construídas com o sistema modular nos EUA e na Europa, e dos investimentos realizados no Brasil, o mercado que mais se adapta ao uso do sistema modular é a construção de residências unifamiliares e multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida do Governo Federal.

O grande potencial dessas construções está na grande demanda por unidades padrão, com cômodos de dimensões compatíveis com as propostas do sistema, além do

cumprimento dos requisitos básicos exigidos pelos financiadores. Esse mercado permite a produção em escala dos módulos e, conseqüentemente, a redução dos prazos de entrega, garantindo o uso eficiente dos materiais e mão de obra e, produzindo habitações de qualidade mais acessíveis a população de baixa renda.

## 9 CONCLUSÃO

Por meio do levantamento bibliográfico, compreendeu-se os principais conceitos relacionados ao sistema de construção modular, em especial, a tecnologia de construção fora do canteiro que norteia todo o processo fabril. Foi possível se identificar em qual nível de industrialização (GIBB, 1998) está inserido o sistema construtivo em estudo – nível 4, sendo o mais industrializado dos sistemas – e que os principais sistemas convencionais aplicados no Brasil se enquadram entre o nível 0 e 1, com baixos índices de industrialização.

Quanto aos aspectos técnicos da construção modular, destaca-se o uso do concreto, da madeira e do aço sendo adotado aquele que atender as condições de uso, de desempenho estrutural demandado, projeto arquitetônico escolhido e do número de pavimentos da edificação.

Assim como, constatou-se o bom desempenho ambiental, social e econômico do sistema, contribuindo para um ambiente de trabalho mais seguro e com redução de desperdícios, devido ao seu caráter fabril. Além disso, obteve-se uma redução significativa dos prazos de execução quando comparado a outros sistemas, além de possibilitar a execução de atividades de infraestrutura no canteiro de forma simultânea a produção das unidades tridimensionais na fábrica.

Quanto a logística de transportes, apesar de ser o ponto crítico do sistema, quando atrelada a um planejamento criterioso do processo executivo e dos controles de transporte e içamento dos módulos, é possível atingir altos níveis de produtividade, além dos custos dessas etapas serem compensados pelos benefícios do rápido retorno financeiro.

Dos custos envolvidos com a adoção do sistema, houve uma redução dos relacionados com os materiais e mão de obra, incluindo os custos com a produção dos módulos e com desperdícios. O maior controle do processo de produção dos módulos garante um baixo índice de retrabalhos, ocorrência muito comum nas atividades realizadas no canteiro.

A partir da identificação dos principais mercados de atuação da construção modular no exterior e das fontes de fomento à pesquisa e construção no Brasil, constatou-se que há um potencial para a aplicação da construção modular na produção de habitações do Programa Minha Casa e Minha Vida. Fatores como demanda do mercado, previsão de investimentos no setor e características dos projetos das edificações contribuem para a aplicação dos padrões da construção modular.

Portanto, é possível se atender os desafios do mercado através dos benefícios no uso de sistemas industrializados e da padronização de componentes, como também, no uso de

materiais mais leves e resistente, e da fabricação fora do canteiro, em especial a tecnologia da construção modular.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Manual da Construção Industrializada. Conceitos e Etapas: Estrutura e Vedação**, Vol. 1. Brasília-DF, 2015. Disponível em: [https://old.abdi.com.br/Paginas/manual\\_construcao\\_login.aspx](https://old.abdi.com.br/Paginas/manual_construcao_login.aspx). Acesso em: 08 de setembro de 2018.

ANDERSON, Jane; SHIERS, David. **Green guide to specification**. John Wiley & Sons, 2009.

ALVARENGA, Augusto: **Habitação de Aço Leve e Componentes Reciclados: Um Ensaio Projetual**. 2002. 183f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002.

ALVARENGA, Augusto. **Habitação em estrutura de aço leve e componentes reciclados: um ensaio projetual**. Orientação de João Luiz Calmon Nogueira da Gama. 226 f., Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002.

ALLFORD HALL MONAGHAN MORRIS. **Raines Court**, 2010. Disponível em: <[https://www.ahmm.co.uk/resources/res.aspx?p=/CC780DC6A72CBB91561736C60DFECB696C562C377FBA302442D7A46C72ACA7BC/Raines%20Court%202010\\_LR.pdf](https://www.ahmm.co.uk/resources/res.aspx?p=/CC780DC6A72CBB91561736C60DFECB696C562C377FBA302442D7A46C72ACA7BC/Raines%20Court%202010_LR.pdf)> Acesso em: 17 de outubro de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

BREEAM. **What is BREEAM?**, 2017. Disponível em: <https://www.breeam.com/> Acesso em: 17 de outubro de 2018.

BUILDOFFSITE. **Offsite construction: Sustainability characteristics**. London, UK, 2013. Disponível em: <[https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2015/03/BoS\\_offsiteconstruction\\_1307091.pdf](https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2015/03/BoS_offsiteconstruction_1307091.pdf)> Acesso em: 31 de outubro de 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Caderno de casos de inovação na construção civil**. Salvador: CBIC, 2011.

CAIADO, Kneipp de Figueiredo. **Estudo e concepção de edifícios em módulos pré-fabricados estruturados em aço**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2005.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social – FNHIS**, 2018. Disponível em: <<http://fundosdegoverno.caixa.gov.br/sicfg/fundos/FNHIS/detalhe/sobre/>> Acesso em: 21 novembro 2018.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Minha casa minha vida beneficia 896 famílias em americana**, 2017. Disponível em: <  
<http://www20.caixa.gov.br/Lists/Release/DispForm.aspx?ID=1253&ContentTypeId=0x0100C3A929DBA1ED4389865470500410EAD900D3B607B97A60B4478828C38300F9C5D7>>.  
 Acesso em: 21 novembro 2018.

CALIL JUNIOR, Carlito; MOLINA, Júlio Cesar. **Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo**. São Paulo: Pini, 2010.

CENSO DEMOGRÁFICO 2010. **Características da população e dos domicílios: resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: <  
[biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/92/cd\\_2010\\_aglomerados\\_subnormais.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/92/cd_2010_aglomerados_subnormais.pdf)>.  
 Acesso em: 15 agosto 2018.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE – CII. **Best productivity practices implementation index infrastructure projects**. Texas: The University of Texas, 2013

COLOMBO, Ciliana Regina; BAZZO, Walter Antônio. **Desperdício na construção civil e a questão habitacional: um enfoque CTS**. Roteiro (Joaçaba), Joaçaba - SC, v. XXVI, n.46, p. 135-154, 2001.

CUNHA FILHO, C. S.; SOUZA, A. R. L. **Análise dos Custos Envolvidos na Construção de Unidades Habitacionais Vinculadas ao Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV): Estudo de um Empreendimento Imobiliário na Região Metropolitana da Capital do Estado do Rio Grande do Sul**. Pensar Contábil, v. 17, n. 62, p. 34-44, 2015.

DO VALLE, Ivan M. R.; INO, Akemi; FOLZ, Rosana Rita; CALLIL, João. **Pré-fabricação na construção em madeira**. REMADE, Revista da madeira. Ed. nº 133. 2012.

EASTMAN, C. M. and SACKS, R. **“Relative Productivity in the AEC Industries in the United States for On-Site and Off-Site Activities.”** Journal of Construction Engineering and Management, 134(7), 517-526, 2008.

ED MILES, J., and WHITEHOUSE, N., **Offsite Housing Review February**, 2013. Disponível em: <  
<http://cic.org.uk/download.php?f=offsite-housing-review-feb-2013-for-web.pdf>>.  
 Acesso em: 05 de setembro de 2018.

EGAN, John. **Re-Thinking Construction: Report of the Construction Industry Task Force**. London: DETR, 1998.

EL DEBS, MOUNIR KHALIL. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EESC-USP, p. 17, 2000.

FAWCETT, R.; ALLISON, K.; CORNER, D. **Using modern methods of construction to build homes more quickly and efficiently**. National Audit Office, 2005.

FIPZAP. **VENDA RESIDENCIAL**, 2018. Disponível em: <  
<http://fipezap.zapimoveis.com.br/wp-content/uploads/2018/10/fipezap-201809-residencial-venda.pdf>> Acesso em: 13 de outubro de 2018.



FRANCO, L.S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva**. 319p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1992.

FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; CRASTO, Renata Cristina Moraes de. **Steel Framing: Arquitetura**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia, Centro Brasileiro da Construção em Aço. 2006.

GIANINO, Andrew. **The Modular Home**, United States: Jeff Beneke, 2005.

GIBB, A.; PENDLEBURY, M. **Glossary of terms, buildoffsite**: Promoting construction offsite. UK, Retrieved June, v. 4, 2006

GIBB, Alistair GF. Off-site fabrication: prefabrication, pre-assembly and modularisation. John Wiley & Sons, p.1-2 1999.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, p. 61, 2002.

GROHMANN, Márcia. **Redução do desperdício na construção civil**: levantamento das medidas utilizadas pelas empresas de Santa Maria. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998, Rio de Janeiro. Anais Rio de Janeiro: Abepro, 1998.

HASSELL, S., FLORENCE, S., ETTEDGUI, E. **Summary of federal construction, building, and housing-related research and development in Science and Technology Policy Institute**, Arlington, VA, 2001.

HOMES AND COMMUNITIES AGENCY (HCA). **Design for Manufacture Lessons Learnt 2**, HCA. London, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2012**, 2012. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> > Acesso em: 13 de outubro de 2018.

JAILLON, L., POON, C.S. **Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment**: A Hong Kong case study. *Construction Management and Economics*, v.26, n. 9, p. 953–966, 2008.

JOHN, V M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 113p. Tese (livro Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

JUNIOR, S; MATOS, E. A.; LIMA, I. A. **Fontes de fomento à inovação**. Curitiba: Aymar, 2011.

KELLY, A. **Your guide to specifying off-site manufacture**: Maximising value and minimising risk. Rep. Revision, v. 2, 2009.

LAWSON, Mark; OGDEN, Ray; GOODIER, Chris. **Design in modular construction**. CRC Press, 2014.

LAWSON, R.M. **Building design using modular construction**. Steel Construction Institute P348, 2007.

LOUGHBOROUGH UNIVERSITY. IMPREST Toolkit, “**Glossary**”, Loughborough, UK (ISBN: 0-947974-13-X), 2003. Disponível em: <[www.lboro.ac.uk/research/imprest/index.htm](http://www.lboro.ac.uk/research/imprest/index.htm)>. Acesso em: 17 de outubro de 2018.

MANSEAU, A., SEADEN, G., eds. **Innovation in construction: An international review of public policies**. New York: Spon Press, 2001.

MEDEIROS, Heloísa. **Quebre recordes, seja fast**. *Téchne*, São Paulo, ed. 79, ano 11, p. 40-47, 2003.

MEMARI, Ali M.; HUELMAN, Patrick H.; IULO, Lisa D.; LAQUATRA, Joseph; MARTIN, Carlos; MCCOY, Andrew; NAHMENS, Isabelina; WILLIAMSON, Tom. **Residential Building Construction: State-of-the-Art Review**. *Journal of Architectural Engineering*, v. 20, n. 4, p. B4014005-1–B4014005-38, 2014.

MESEGUER. AG. **Controle e garantia da qualidade na construção**. Trad. Roberto Falcão Bauer, Antônio Carmona F., Paulo Roberto do Lago Helene, São Paulo, Sinduscon-SP/Projeto/PW, 1991.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. **Programa de Aceleração do Crescimento (PAC)**, 2018. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/sobre-o-pac>>. Acesso em: 21 de novembro de 2018.

MOURA, R. S. L. M. **Catálogo de inovações tecnológicas na construção civil**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

MULLEN, M.A. **Factory design for modular home building**. Constructability Press, Winter Park, FL, 2011

NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. **A indústria da construção na era da informação**. Porto Alegre: Ambiente Construído, v.3, p. 69-81, 2003.

PAINEL BUILT INCORPORAÇÕES. **How Similar are Modular Construction and Legos?**, 2018 Disponível em: <<https://www.panelbuilt.com/blog/how-similar-are-modular-construction-and-legos/>>. Acesso em: 17 de outubro de 2018.

PAN, W.; GOODIER, C. **Housebuilding business models and offsite construction take-up**, 2012. *Journal of Architectural Engineering*, 18 (2), pp. 84 – 93, 2012.

PEARCE, D. **The Social and Economic Value of Construction: The Construction Industry’s Contribution to Sustainable Development**. London: nCRISP, 2003.

REIS, José C. dos; SELOW, Marcela L. C. **PROGRAMA " MINHA CASA MINHA VIDA"**. *Vitrine de Produção Acadêmica Produção de Alunos da Faculdade Dom Bosco*, v. 4, n. 2, 2016.

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

SILVA, Maria Angélica Covelo. **A inevitável lógica da produtividade entrevista concedida a Cyro F. Andrade**. Revista Qualidade na Construção, 1999, p. 24-26

STEELCONSTRUCTION.INFO. **Education buildings**, 2018. Disponível em: <[https://www.steelconstruction.info/Education\\_buildings](https://www.steelconstruction.info/Education_buildings)> Acesso em: 17 de outubro de 2018.

STRICKLIN, D. L.; SCHIFF, S. D.; ROSOWSKY, D. V. **Uplift capacity of light-frame wood stud walls**. In: Proceedings of International Wood Engineering Conference. p. 28-31, 1996.

STEELCONSTRUCTION.INFO. **Types of modules**, 2018. Disponível em: <[https://www.steelconstruction.info/Modular\\_construction#Types\\_of\\_modules](https://www.steelconstruction.info/Modular_construction#Types_of_modules)>. Acesso em: 15 agosto 2018.

UNITED STATES BUREAU OF ECONOMIC ANALYSIS – BEA. **Gross Domestic Product by Industry and Input-Output Statistics**, 2014. Disponível em: <<https://www.bea.gov/data/special-topics/integrated-industry-level-production-account-klems>> Acesso em: 16 agosto 2018.

USGBC. **LEED is green building**, 2017. Disponível em: < <https://new.usgbc.org/leed> > Acesso em: 17 de outubro de 2018.

VENABLES, T., BARLOW, J., GANN, D., POPA-OLA, S., et al. **Manufacturing excellence: UK capacity in offsite manufactured**. UK: Housing Forum, 2003.