



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE BACABAL
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

SÂMYO RODRIGUES COSTA

O AVANÇO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL: a importância da construção modular no Brasil para os próximos anos e seus impactos.

Bacabal

2023

SÂMYO RODRIGUES COSTA

O AVANÇO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL: a importância da construção modular no Brasil para os próximos anos e seus impactos.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^ª. Esp. Célio Honorato de Oliveira

Bacabal

2023

C834a Costa, Sâmyo Rodrigues.

O avanço da industrialização da construção civil: A importância da construção modular no Brasil para os próximos anos e seus impactos / Sâmyo Rodrigues Costa – Bacabal-MA, 2023.

57 f: il.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil Bacharelado - Universidade Estadual do Maranhão-UEMA/ Campus Bacabal-MA, 2023.

Orientador: Prof.º Esp. Célio Honorato de Oliveira

1. Concreto 2. Construção Modular 3. Canteiro de Obras 4. Pré-Fabricados 5. Industrialização da Construção.

CDU: 624.012.45

Elaborada por Poliana de Oliveira J. Ferreira CRB/13-702 MA

SÂMYO RODRIGUES COSTA

O AVANÇO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL: a importância da construção modular no Brasil para os próximos anos e seus impactos.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente

gov.br

CELIO HONORATO DE OLIVEIRA

Data: 12/03/2024 11:01:06-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Esp. Célio Honorato de Oliveira (Orientador)

Especialista em Gestão de Projeto
Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Esp. Vitor Affonso Sandes Lira

Especialista em Estruturas de Concreto Armado e Fundações
Universidade Estadual do Maranhão



Francisco Raonny Ferreira Silva
Especialista em Engenharia de Produção
Universidade Estadual do Maranhão

Dedico este trabalho a todos aqueles que me ajudaram a chegar até aqui, seja direta ou indiretamente, sobretudo aos meus pais, que foram fundamentais nessa jornada (orientadores de uma vida inteira).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me ajudado a chegar até aqui, sempre me dando forças tanto nas situações boas quanto nas situações adversas.

Agradeço aos meus pais, Teresa e Raimundo, duas pessoas incríveis e que foram fundamentais para eu ter me tornado quem sou hoje e também à minha irmã, a qual sempre foi uma pessoa com quem eu sempre pude contar.

Agradeço também aos meus amigos, desde os de longa data até os mais recentes, pois caminharam junto comigo e, assim como eu, superaram desafios ao longo dessa jornada.

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo analisar o processo de industrialização da construção civil no Brasil. Com o avanço da tecnologia e a necessidade de otimização e eficiência na construção de edificações, a industrialização surge como uma alternativa promissora. O estudo busca identificar as principais vantagens desse sistema construtivo, assim como os aspectos relacionados aos custos, relacionados ao meio ambiente, sobre as principais técnicas do mesmo, assim como o impacto que poderia gerar caso fosse amplamente incrementado na realidade da construção nacional. Para alcançar esses objetivos, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangendo artigos científicos, teses, dissertações e outras publicações relacionadas ao tema. Os resultados revelaram que a industrialização da construção civil no Brasil pode trazer benefícios como redução de prazos, aumento da qualidade e produtividade, além de contribuir para a sustentabilidade. No entanto, também foram identificados desafios como resistência à mudança, falta de padronização e necessidade de capacitação da mão de obra. Por fim, o estudo conclui que a industrialização da construção civil no Brasil apresenta um potencial significativo para impulsionar o setor, mas requer investimentos em tecnologia, capacitação profissional e estímulo à adoção de novas práticas construtivas.

Palavras-chave: Concreto. Construção modular. Canteiro de obras. Pré-fabricado. Industrialização da construção.

ABSTRACT

This course completion work aims to analyze the process of industrialization of civil construction in Brazil. With the advancement of technology and the need for optimization and efficiency in the construction of buildings, industrialization emerges as a promising alternative. The study seeks to identify the main advantages of this constructive system, as well as aspects related to costs, related to the environment, on the main techniques of the same, as well as the impact that it could generate if it were widely increased in the reality of national construction. To achieve these objectives, a bibliographic review was carried out covering scientific articles, theses, dissertations and other publications related to the subject. The results revealed that the industrialization of civil construction in Brazil can bring benefits such as reducing deadlines, increasing quality and productivity, in addition to contributing to sustainability. However, challenges such as resistance to change, lack of standardization and the need for workforce training were also identified. Finally, the study concludes that the industrialization of civil construction in Brazil has significant potential to boost the sector, but requires investments in technology, professional training and encouragement to the adoption of new construction practices.

Keywords: Concrete. Modular construction. Construction site. Pre-made. Construction industrialization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Aplicação de madeira em construção modular.....	18
Figura 2 - Aplicação de estrutura de aço em uma construção modular.....	20
Figura 3 - Concreto empregado na construção civil.....	22
Figura 4 - Estrutura modular tridimensional.....	24
Figura 5 - Estrutura contendo pilares, vigas e laje pré-fabricados.....	25
Figura 6 - Instalação de painel de drywall.....	27
Figura 7 - Poliestireno expandido aplicado na construção civil.....	29
Figura 8 - Estrutura residencial aplicada com Wood Frame.....	32
Figura 9 - Estrutura executada em Light Steel Frame.....	35
Figura 10 - Residência com utilização de contêiner.....	38
Figura 11 - Casa container.....	40
Figura 12 - Montagem de hospitais de campanha.....	41

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1.	Justificativa	11
1.2.	Objetivos (Geral e específicos)	11
1.2.1.	Objetivo geral	11
1.2.2.	Objetivos específicos.....	12
2.	METODOLOGIA	12
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1.	Industrialização da construção	13
3.1.1.	Graus de industrialização	13
3.2.	O que é a construção modular	14
3.2.1.	Aspectos relacionados aos custos.....	15
3.2.2.	Aspectos relacionados aos impactos ambientais	16
3.2.3.	Logística de transporte até o canteiro de obras	16
3.3.	Tipos de materiais empregados na construção modular	17
3.3.1.	Madeira.....	18
3.3.2.	Aço	19
3.3.3.	Concreto	20
3.4.	Técnicas de construções modulares	22
3.4.1.	Módulos de concreto	23
3.4.2.	Drywall.....	26
3.4.3.	Poliestireno expandido (EPS).....	28
3.4.4.	Wood Frame	30
3.4.5.	Steel Frame.....	32
3.4.6.	Contêiner	35
3.5.	Aplicações da construção modular	38
3.5.1.	Aplicações residenciais das construções modulares	39
3.5.2.	Utilização de módulos em espaços comerciais e institucionais	40
3.6.	Vantagens e desvantagens da construção modular	41
3.6.1.	Vantagens	42
3.6.2.	Desvantagens.....	42
3.7.	Desafios e limitações das construções modulares	43
3.7.1.	Resistência cultural e preconceito	44
3.7.2.	Necessidade de mão de obra qualificada.....	44
3.7.3.	Limitações arquitetônicas.....	46

3.8.	Industrialização da construção civil e a construção modular no Brasil	47
3.8.1.	Perspectivas futuras e recomendações	48
3.8.2.	Potencial de crescimento e desenvolvimento no Brasil	49
4.	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor da construção civil no Brasil tem passado por transformações significativas impulsionadas pela busca incessante por métodos mais eficientes, sustentáveis e econômicos. Nesse contexto, as construções modulares têm ganhado destaque como uma alternativa inovadora e promissora para enfrentar os desafios enfrentados pela indústria da construção, seja no que diz respeito ao meio ambiente, devido ao fato de contribuírem de forma significativa para a redução aos impactos ambientais (desde no que se refere à redução de extração de material da natureza até à diminuição de lixo proveniente do ramo da construção civil) quanto no que tange ao aprimoramento da forma de se construir diferentes tipos de edificações em relação aos métodos tradicionais.

Um dos maiores e mais importantes setores industriais de um país é o ramo da construção civil, o qual propicia benefícios tanto no que diz respeito à infraestrutura gerada quanto nas melhorias das condições de bem estar e lazer, assim como na geração direta e indireta de empregos, por exemplo, fato este levantado pela ONU (2015, apud CARVALHO, 2020, pág. 22), a qual menciona que para cada trabalho gerado no ramo industrial são gerados cerca de 2,2 trabalhos em outros setores. Assim, entende-se que o processo de industrialização da construção civil é um dos principais objetivos para que o sistema construtivo possa evoluir cada vez mais e tornar-se mais eficiente e organizado, conforme a afirmação da Agencia Brasileira de desenvolvimento Industrial (2015), a qual menciona é fundamental importância que haja inovação, aplicação dos processos industriais, gestão de produção e planejamento.

Algumas indagações podem surgir quanto ao porquê desse tipo de sistema não ter sido amplamente difundido em território nacional, visto que o mesmo pode proporcionar diversos benefícios. Conforme a construção civil se torna, em parte, um processo cada vez mais industrial, percebe-se que é necessário, segundo Carvalho (2020, pág. 26) que seja destacado a importância da industrialização da construção, para que o setor construtivo seja mais produtivo, assim como afirma Costa (2013), conforme citado por Alves (2021, pág. 2), o qual evidencia que esse tipo de construção como sendo uma solução vantajosa em comparação com os métodos tradicionais, pois garante aspectos importantes para o que se busca num sistema construtivo que garanta as mesmas condições de conforto, segurança e lazer, assim como sustentabilidade, versatilidade e possibilidade de utilização de variados materiais.

Neste contexto, este trabalho de conclusão de curso se propõe a explorar a realidade da industrialização da construção no Brasil, com enfoque específico nas construções modulares. Logo, é preciso analisar a viabilidade, os desafios e as perspectivas dessa abordagem construtiva em território nacional. Dessa forma, busca-se contribuir para o enriquecimento do debate acerca da industrialização da construção e seus reflexos no cenário nacional. Espera-se que os resultados aqui apresentados possam inspirar e auxiliar na tomada de decisões estratégicas por parte de profissionais, empresas e demais órgãos, visando a construção de um futuro mais sustentável, eficiente e inovador para o setor da construção civil brasileira.

1.1. Justificativa

O Brasil, por ser um país de dimensões continentais, tem a capacidade de gerar muitos tipos de bens e serviços, dentre os quais destaca-se o setor da construção civil, visto que esse é um dos principais setores de fomento econômico de um país e, por esse motivo, torna-se necessário que este setor esteja constantemente atualizado a respeito das principais técnicas construtivas no mundo, especialmente acerca daquelas que apresentam maior grau de desempenho associado a menor custo. Dessa forma, percebe-se a necessidade de aumento da produtividade nas obras (necessidade de suprir demandas em menos tempo, assim como render mais com menos), pois o sistema construtivo atual conta com diversos problemas de cunho ambiental, os quais estão relacionados à geração de diversos tipos de resíduos e em grande quantidade, culminando assim ao aumento da degradação do meio ambiente.

Assim, faz-se necessário o estudo acerca da construção modular pré-fabricada, pois esse tipo de construção possibilita um maior controle da qualidade na execução de edificações, uma vez que há maior organização na execução de cada etapa do processo construtivo assim como dos materiais utilizados para tal, possibilitando assim que as normas regulamentadoras de controle de qualidade sejam seguidas mais fielmente.

1.2. Objetivos (Geral e específicos)

1.2.1. Objetivo geral:

- Promover um estudo que demonstre as vantagens da aplicação da construção modular, como ela é vista no Brasil, quais as principais técnicas e materiais empregados assim como os benefícios de sua aplicação em território nacional, sobretudo no que diz respeito à importância da industrialização da construção no Brasil e à demanda por construções de qualidade e com um menor impacto ao meio ambiente.

1.2.2. Objetivos específicos:

- Identificar as vantagens e desvantagens do uso de sistemas construtivos modulares e quais seus impactos na economia;
- Listar as principais técnicas e materiais empregados no ramo da construção modular;
- Verificar os benefícios ao meio ambiente que podem ser obtidos através da adoção desse tipo de construção;
- Constatar o ganho por parte da indústria da construção nacional com a maior aceitação e prática desse modo de execução de edificações em comparação com o tradicionalismo do método de construção ainda predominantemente vigente.

2. METODOLOGIA

Para a metodologia desse projeto foi utilizado como fundamentação a pesquisa bibliográfica de artigos, teses, dissertações, publicação em revistas eletrônicas e outros documentos relacionados ao tema em questão para que assim fosse realizada a revisão de literatura do tema abordado. Para tal, foi empregado a pesquisa nas bases de dados Google Acadêmico, Scielo, Oasisbr e repositórios de universidades. Dessa forma, foram selecionados os artigos e documentos necessários para a elaboração da fundamentação teórica por leitura dos mesmos com a finalidade de coletar informações que pudessem agregar de forma satisfatória para a análise e interpretação dos mesmos, e com isso fosse possível identificar os aspectos necessários de forma consistente com o tema e a problemática abordada.

A pesquisa bibliográfica desempenhou um papel fundamental na construção do embasamento teórico do trabalho, fornecendo um suporte conceitual sólido e atualizado. Ao explorar uma variedade de fontes de informações, foi possível obter uma visão abrangente e precisa sobre o assunto, permitindo uma análise crítica e embasada dos aspectos relevantes sobre a construção modular e a situação atual no Brasil. Portanto, a metodologia de pesquisa adotada neste trabalho proporcionou um aprofundamento teórico consistente e atualizado, permitindo a obtenção de informações relevantes e a elaboração de uma fundamentação teórica sólida.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Industrialização da construção

Com o intuito de melhorar as condições da qualidade das construções aliado a um melhor aproveitamento dos materiais e mão de obra para a execução de determinados tipos de edificações, houve, com o passar dos anos, a necessidade de proporcionar uma melhor forma de construir aliada a uma melhor forma de pensar a construção civil, uma vez que conceitos sistematizados do ramo industrial começaram a ganhar espaço nesse meio, fazendo com que surgisse um rompimento com a ideia de construção exclusivamente no canteiro de obras, como afirma Girmscheid e Scheublin (2010), conforme citado por Carvalho (2020, pág. 60.), os quais mencionam que o desenvolvimento da indústria voltada às atividades relacionadas à construção tem como objetivo proporcionar maior qualidade no produto final assim como o aumento de produtividade em todo o processo.

3.1.1. Graus de industrialização

A industrialização da construção civil como um todo possui algumas classificações ou graus que especificam o tipo de pré-fabricação envolvida ou mesmo se há pré-fabricação em uma determinada obra. A construção civil como um todo possui cinco subdivisões, se for levado em conta a construção convencional, contudo, no que se refere às classificações dentro da construção pré-fabricada, tem-se, segundo Alves (2021, pág. 39) e Carvalho (2020, pág. 62), quatro tipos de graus de industrialização da construção, os quais são componentes (grau 1), painéis (grau 2), estruturas híbridas (grau 3) e estruturas modulares volumétricas (grau 4).

Desse modo, é importante salientar que, ainda segundo os referidos autores, os componentes são tidos como elementos feitos de madeira, treliças para telhados ou mesmo elementos estruturais pré-fabricados (pilares e vigas, por exemplo) e, por este motivo, são muito utilizados em diversos tipos de edificações, o que necessita de um maior cuidado por parte de sua utilização a fim de evitar o surgimento de qualquer tipo de patologia decorrente de seu uso, enquanto que, segundo Horta (2021, pág. 36), os painéis estão relacionados a elementos de duas dimensões, ou seja elementos que possuem determinada área e que, por conta desta característica, são utilizados em diferentes tipos de situações de vedação como, por exemplo, estruturas de pisos, de paredes de vedação ou até mesmo cobertura, porém, a sua utilização depende do material a ser empregado e a sua finalidade de uso.

Já no que diz respeito às estruturas híbridas ou mistas, segundo Carvalho (2020, pág. 62), são compostas por elementos de grau 2 e grau 4, ou seja, por estruturas de painéis e estruturas volumétricas, sendo estas, de grau 4, segundo Horta (2021, pág. 37) e Alves (2021, pág. 39), estruturas tridimensionais produzidas em ambientes controlados em fábrica e que possuem um alto grau de pré-fabricação podendo ficar até cerca de 80% a 95% prontas no ambiente de fábrica, constituindo um dos fundamentos da construção modular.

3.2. O que é a construção modular

De acordo com Jorge e Ravache (2021, pág. 86), a construção modular é o processo quase que inteiramente de cunho pré-fabricado, ou seja, no qual boa parte da construção ocorre fora do canteiro de obras, desse modo, a estrutura é quase inteiramente produzida em fábrica com todos os procedimentos e técnicas necessários para que os módulos sejam enviados ao canteiro com o intuito de serem apenas montados.

Sendo assim, a construção modular pode ser compreendida por meio da caracterização feita pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2015, pág. 44), a qual menciona que trata-se de um sistema que se utiliza de técnicas e métodos característicos da pré-fabricação em meio industrial para produção de módulos (estruturas em 3D) podendo conter elementos como painéis ou mesmo componentes (vigas, pilares, etc.), os quais são feitos sob medida de projeto e enviados ao canteiro de obras montados ou divididos em algumas partes (limitadas pela capacidade de transporte até a obra em função do tamanho da estrutura em questão), ao passo em que, ao chegarem no canteiro, são montados e evitam a necessidade de um maior intervalo de tempo para a produção dos mesmos in loco.

Apesar de possuir boa parte de seus procedimentos realizados em fábrica, a construção modular não é um método exclusivamente pré-fabricado, pois Bastos (2019, pág. 54) evidencia que a superestrutura produzida em fábrica ainda necessita (em alguns casos) que a fundação seja realizada in loco (muito no que tange ao processamento de alocação e fixação da fundação), a qual é construída com base nas características da estrutura modular a ser empregada, o que permite ser constatado que ainda perdura um pouco da construção tradicional em meio à construção modular.

Nesse sentido, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2015, pág. 36), evidencia que a industrialização pode ser dividida em dois tipos distintos, os quais são o ciclo fechado e aberto. No ciclo aberto, observa-se a transferência da maior parte das atividades do canteiro de obras para o ambiente fabril, resultando em uma maior aplicação de princípios de

organização e controle da produção. Assim, são utilizados processos que são centrados em um tipo de construção específica. Já Bruna (1976) afirma que quando a produção dos componentes é voltada ao mercado em geral, e não apenas para as necessidades específicas de uma empresa, classifica-se como ciclo aberto, ou seja, o foco é que os elementos e componentes possuam uma maior padronização e capacidade de aplicação em diferentes situações e com produtos de diferentes fabricantes, o que torna sua utilização mais flexível para diferentes situações.

Ainda segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2015, pág. 43), o processo construtivo industrializado pode abranger tanto os componentes, quanto os elementos ou até mesmo sistemas construtivos completos, logo, isso implica que, no caso de aplicação de sistemas construtivos híbridos, é possível contratar componentes e elementos de forma separada para a obtenção de uma nova solução construtiva.

3.2.1. Aspectos relacionados aos custos

Uma das qualidades evidenciadas por esse tipo de construção são os fatores relacionados aos custos, pois é graças ao controle rigoroso do manuseio dos materiais em meio fabril que é possível que haja um melhor controle no uso de materiais e um melhor gerenciamento de resíduos, como afirma Artico (2020, pág 24), o qual destaca que os procedimentos de repetição e padronização característicos na execução dos módulos em fábrica permitem que seja possível obter menores custos e maior qualidade do produto final. Essa afirmação é coerente com Alves (2021, pág. 80), o qual menciona que a construção pré-fabricada torna propício que uma estrutura tenha uma menor quantidade de sistemas de ligação a serem ligadas no canteiro de obras, o que reduz o número de juntas e, por consequência, material relacionado a vedação, o que implica tanto em redução de custos quanto na redução do tempo de montagem.

Sob uma perspectiva relacionada ao tempo de duração de produção dos módulos, Parente (2017, apud MARTINS, 2022, pág. 49) afirma que é importante que haja controle no cumprimento dos prazos, para que assim os custos sejam considerados uma vantagem, como pode-se observar:

[...] o controle de prazos é uma das mais importantes atividades na gestão de uma obra, estando indiretamente associada ao controle dos custos. [...] o controle de prazos permite acompanhar o desenvolvimento das atividades e identificar desvios, possibilitando reajustar o plano de trabalhos, evitando assim o prolongamento de prazos e, portanto, o aumento de custos.

3.2.2. Aspectos relacionados aos impactos ambientais

Os impactos ambientais gerados pela construção civil devem ser encarados de forma séria e precisa, uma vez que, segundo WEF (2016, apud CARVALHO, 2020, pág. 22) é um dos principais consumidores de matérias-primas assim como um dos maiores geradores de resíduos e emissor de poluentes, uma vez que cerca de 25% a 45% das emissões de carbono no meio ambiente são provenientes de edificações já construídas.

Diante dessa situação, percebe-se a necessidade de criar soluções no meio da construção que possam mitigar esses efeitos, e assim, levando em conta os benefícios da industrialização da construção civil, Gauzin-Muller (2011), conforme citado por Senário (2022, pág. 68), afirma que os resíduos gerados na construção civil podem ser melhor trabalhados, uma vez que a pré-fabricação condiciona a redução do tempo total de obra, o que, conseqüentemente, permite uma redução nos ruídos gerados no canteiro, a quantidade de partículas suspensas no ar também são reduzidas, assim como a diminuição da quantidade de máquinas e o tempo em que elas operam no canteiro de obras, o que, conseqüentemente, reduz a poluição do ar em decorrência da emissão de gases.

De forma análoga, Loizou *et al.* (2021, pág. 13) afirma que a construção modular tem capacidade de reduzir os impactos significativamente, uma vez que ela possibilita uma redução de desperdício em torno de 83,2% e 81,3%, em peso, em grandes e pequenas estruturas, respectivamente, o que indica que a adoção de sistemas construtivos que tenham como base a pré-fabricação tem grande potencial de redução de impactos, uma vez que propicia tanto a redução de matéria-prima utilizada quanto a quantidade de resíduos gerados.

3.2.3. Logística de transporte até o canteiro de obras

Uma das fases necessárias ao longo do processo da construção modular que deve ser encarada de forma não menos importante trata-se do transporte dos elementos pré-fabricados, os quais são encaminhados da fábrica até o canteiro de obras, para que seja realizado o processo de montagem. Dessa forma, Alves (2021, pág. 40) evidencia que essa é uma das etapas mais importantes, uma vez que essa fase tem influência direta nas dimensões e nos pesos dos elementos que serão encaminhados ao canteiro de obras, assim como afirma Varela (2015), conforme citado por Gonçalves (2020, pág. 9), sobre a necessidade de garantia do transporte no que diz respeito às dimensões dos elementos, pois, caso necessário, quanto menor as dimensões dos elementos maior serão as chances de transporte em veículos mais acessíveis, o que pode contribuir para tornar o processo menos oneroso.

Dessa forma, a logística de transporte desses elementos é bem complexa, uma vez que tanto as dimensões dos elementos e dos módulos a serem transportados quanto os meios utilizados para transportar os mesmos são de grande relevância, pois a depender do local da obra e da fábrica, diferentes formas podem ser necessárias de serem adotadas para o transporte, como afirma Salama (2017, apud CARVALHO, 2020, pág. 64):

A logística de transporte dos módulos e os respectivos planos de transporte incluem estudos sobre os métodos a serem utilizados, com diferentes aspectos que envolvem movimentações com características locais, interestaduais ou até mesmo internacionais, além de alternativas de utilização em diferentes modais de transporte, tais como, marítimo, ferroviário ou rodoviário, sendo que rotas e opções das vias de transporte e os equipamentos de içamento são informações importantes na definição dos recursos que serão utilizados no planejamento do transporte dos módulos.

3.3. Tipos de materiais empregados na construção modular

Os materiais utilizados na construção modular são variados, uma vez que, dependendo do tipo e finalidade de construção, diferentes tipos de materiais podem ser empregados, como afirma Alves (2020, pág. 18-22), quando evidencia possíveis materiais como a pedra, madeira, aço, concreto e alvenaria, dentre os quais, há aqueles que, segundo afirmativas de Smith (2015, apud CARVALHO, 2020, pág. 63) e Horta (2021, pág. 50), são os principais materiais utilizados nos sistemas estruturais modulares, sendo eles a madeira, o aço e o concreto. Vale ressaltar que, ainda segundo o último autor, a disponibilidade de material na região, assim como as características de projeto e de estrutura são os responsáveis por ditar qual o tipo de material a ser utilizado.

Dessa forma, segundo Wilson (2020, pág. 11), os componentes da construção modular podem ser fabricados utilizando-se uma variedade de diferentes tipos de materiais, os quais, como citado anteriormente, podem ser a madeira, o aço e o concreto como sendo os principais ou mais utilizados. Ainda segundo o referido autor, um projeto de construção modular tem a capacidade de combinar uma variedade de materiais, assim como o tipo de montagem, porém, é importante salientar que, para maximizar a eficiência no processo de fabricação, muitas fábricas de estruturas pré-fabricadas para construções modulares se especializam em um tipo de construção e acabam não oferecendo uma maior variedade de opções de materiais.

Com base no que foi exposto e, segundo Soares (2022, pág. 36), independentemente do tipo de construção a ser executada, é o projeto que determinará que tipo de material será

empregado, pois, dependendo das exigências contidas no mesmo, determinados materiais serão mais vantajosos de serem aplicados. Tendo isso em vista, a seguir, tem-se algumas características dos principais materiais utilizados na construção modular:

3.3.1. Madeira

Dentre os materiais mais utilizados no ramo da construção modular, tem-se a madeira, a qual é caracterizada, segundo Soares (2022, pág. 36), como sendo um material de resistência considerável aliada a uma menor densidade em relação a outros materiais, o que a torna muito atrativa para aplicação em edificações de dimensões de tamanho razoável a pequenas. Isso fica evidente conforme as observações de Gjzen, R (2017) e Ferdous, W *et al.* (2019), conforme citados por França (2021, pág. 21), os quais afirmam que a madeira é amplamente utilizada na construção modular por possuir características peculiares que tornam sua aplicação atrativa em diversos aspectos, seja no que diz respeito à característica estrutural quanto estética, pois, por possuir baixa densidade e alta resistência à flexão, a mesma pode ser empregada em edificações de vários pavimentos – até 8 – além de ser amplamente utilizada em fachadas e escadarias.

Alves (2021, pág. 19) afirma que o material em questão é comumente reconhecido por suas propriedades notáveis, o que torna a viabilidade de sua aplicação como vantajosa em relação a diversos aspectos. Sua versatilidade permite a fabricação em uma ampla variedade de formas e tamanhos, garantindo facilidade de uso e boa resistência mecânica. No entanto, é importante destacar que suas características e comportamento estão sujeitos a fatores como, por exemplo, disponibilidade de água ou o tipo de solo no qual será empregado.

Figura 1 – Aplicação de madeira em construção modular



Fonte: BPK (2019).

Levando em consideração os aspectos relacionados à utilização da madeira no meio da industrialização da construção, é importante afirmar que, de acordo com Soares (2022, pág. 2), a construção modular oferece benefícios significativos em termos ambientais, contribuindo de forma considerável para a mitigação da produção dos resíduos gerados pelas atividades associadas à construção convencional, como a poluição sonora e atmosférica. Isso se deve à necessidade de uma quantidade consideravelmente menor de materiais de construção, e o uso de materiais como a madeira possibilita estruturas mais leves, mantendo propriedades isolantes satisfatórias, o que resulta em emissões reduzidas de nitrogênio, por exemplo.

3.3.2. Aço

O aço é um dos materiais mais utilizados no ramo da construção civil, seja no sistema construtivo convencional quanto no sistema construtivo industrializado. Isso ocorre por conta das características únicas que este material proporciona, como é afirmado por Soares (2022, pág. 36), ao mencionar que ele é utilizado em construções de diversos tipos, seja das mais simples até as de maior grau de complexidade.

Desse modo, Lawson *et al.* (2008) defende que o aço é amplamente empregado na indústria da construção, seja como material primário ou secundário nas obras. Sua utilização proporciona diversas vantagens no meio da construção civil, como, por exemplo, maior flexibilidade nas diferentes alternativas e opções a serem aplicadas (pois, devido às suas características físicas, é capaz de resistir a esforços com uma menor quantidade de material se comparado a outras opções sujeitas à mesma situação), além de permitir a sua aplicação com outros materiais, bem como a otimização do consumo de materiais, tal qual será menor o carregamento direcionado até as fundações. Além disso, o uso do aço também contribui para o aprimoramento do controle de qualidade e das padronizações na construção.

Isso é corroborado com as afirmações de Corrêa e Zehnder (2017, pág. 60), os quais, por sua vez, afirmam que o aço desempenha um papel fundamental ao proporcionar versatilidade e durabilidade às construções. Além disso, ele está em total consonância com o conceito de desenvolvimento ambientalmente sustentável, uma vez que a utilização de estruturas de aço na construção emprega tecnologia limpa, resultando em uma redução significativa dos impactos ambientais durante a fase de construção. Além disso, ao finalizar a obra, a segurança e o conforto dos ocupantes da edificação são assegurados (que, em grande parte, é proporcionada pela utilização do aço).

Figura 2 – Aplicação de estrutura de aço em uma construção modular



Fonte: AÇOMAIS (2022).

É afirmado ainda pela CBCA (2017, apud CORRÊA e ZEHNDER, 2017, pág. 61) que, na área da construção civil, os aços estruturais de média e alta resistência mecânica são os mais amplamente utilizados. Essa categoria engloba todos os tipos de aços que, devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequados para serem empregados em elementos da construção sujeitos a cargas. Os principais requisitos para os aços destinados a aplicações estruturais são características como elevada tensão de escoamento, assim como alta tenacidade, boa soldabilidade, bem como deve possuir homogeneidade microestrutural, além da capacidade de ser cortado por chama sem endurecimento excessivo e deve possuir boa trabalhabilidade em operações como corte, furação e dobramento, sem que ocorram fissuras ou outros tipos de patologias.

3.3.3. Concreto

Dentre os principais materiais mais utilizados no ramo construtivo até aqui citados, o mais pesado trata-se do concreto, o qual é bastante recomendado para estruturas com um maior grau de reforço assim como fundações de edificações, conforme Soares (2022, pág. 36). Em consonância disso, Helene e Andrade (2010, pág. 905), afirmam que o concreto de cimento Portland é amplamente reconhecido como o material estrutural mais significativo e utilizado na construção civil atualmente. Os referidos autores ainda afirmam que, embora seja uma inovação relativamente recente no contexto dos materiais de construção estrutural, o concreto pode ser considerado uma das descobertas mais relevantes na história do desenvolvimento humano e no aprimoramento da qualidade de vida, pois revolucionou a forma de construir e promoveu melhores condições de conforto e segurança às pessoas.

Desse modo, Alves (2021, pág. 1) afirma que o concreto é uma das substâncias mais consumidas no mundo, independentemente do setor de produção, de modo que seu consumo esteja atrás somente do consumo de água. Todavia, é importante ressaltar que (para efeito de uma visão mais ambientalmente correta) essa utilização provoca efeitos negativos, pois, para suprir a demanda de tamanho consumo é necessário que a produção desse material ocorra na mesma proporção, o que acaba refletindo nos impactos ambientais em decorrência de sua produção, e isso se comprova devido ao fato de que a produção de uma tonelada de concreto resulta na emissão de aproximadamente uma tonelada de CO₂ para a atmosfera terrestre.

De acordo com Aguiar (2009, apud ALVES, 2021, pág. 20), o concreto é descrito como uma pedra artificial composta por um aglomerado de pedras naturais, que variam desde areias até britas, unidas por meio de um ligante. A fabricação do concreto envolve a mistura de areia, brita, cimento e água, basicamente, com o objetivo de obter uma mistura homogênea e de fácil moldagem.

Callister e Rithwisch (2018), ressaltam sobre uma das substâncias necessárias para a composição do concreto, o qual é a pasta de cimento, sendo esta obtida ao adicionar água ao cimento, forma-se uma pasta que pode ser moldada e posteriormente endurece. Essa característica possibilita a criação ágil de estruturas sólidas. O resultado final da hidratação do pó de cimento, conhecido como pasta de cimento endurecida, é um material rígido, capaz de resistir à compressão e apresentar baixa permeabilidade à água. Além disso, o cimento demonstra boa estabilidade química quando exposto à ação da água, o que explica seu amplo uso na construção civil.

Em conformidade com as ideias anteriores e sobre a composição do concreto e demais substâncias e materiais que o compõe, Neville e Brooks (2013) afirmam que existem uma grande variedade de distintos tipos de cimento (ou aglomerantes) que podem ser utilizados na produção de concreto (os quais possuem diferentes materiais constituintes e peculiaridades), sendo o cimento Portland o mais amplamente empregado. Com base nisso, os referidos autores evidenciam que (além do já citado aglomerante mais utilizado, ou seja, o cimento Portland) a composição do concreto também inclui outros elementos, os quais são os agregados miúdos e graúdos, bem como aditivos, os quais são adicionados com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas tanto no estado fresco quanto endurecido do material em questão.

No que diz respeito às propriedades do concreto, e, segundo afirmativas de Neville e Brooks (2013), tem-se que, no estado endurecido, é essencial que o concreto apresente uma

resistência à compressão satisfatória. Diversas propriedades do concreto, como densidade, impermeabilidade, durabilidade, resistência à abrasão, ao impacto e à tração, estão relacionadas diretamente com sua resistência à compressão. Em linhas gerais, o concreto com maior resistência à compressão tende a exibir melhores propriedades globais. Em função disso, a resistência à compressão é considerada um indicativo da qualidade do concreto, e com isso, serve de parâmetro para diversas classificações de uso.

Figura 3 – Concreto empregado na construção civil



Fonte: Mapa da Obra (2018).

3.4. Técnicas de construções modulares

Em virtude do que foi dito anteriormente, é possível perceber que há uma variedade de materiais que são empregados em diferentes tipos de aplicações modulares na construção civil, tanto no que diz respeito à parte estrutural quanto na parte de acabamento, uma vez que esses materiais podem ser empregados como sistemas de vedação, cobertura e, conforme o que foi dito, como um elemento estrutural.

Desse modo, os diferentes tipos de materiais a serem utilizados estão diretamente relacionados à destinação ao qual os mesmos serão empregados, o que corresponde ao tipo de construção modular a ser aplicada, e com isso, diferentes técnicas podem ser utilizadas, como afirma Farmer (2016) e Rogan (2000), conforme citados por Silveira (2021, pág 4), os quais evidenciam que os módulos autoportantes (por exemplo) desempenham tanto a função de vedação quanto a de estrutura e que os mesmos são fabricados em um ambiente fabril com um alto nível de controle de qualidade, utilizando amplamente equipamentos e maquinário, tudo

isso fora do local da obra, e ainda, esses módulos podem ser feitos por diferentes materiais, como chassis metálicos ou perfis de madeira maciça associados a placas de gesso acartonado como base para a construção de cada unidade.

Com base nisso, Jorge e Ravache (2021, pág.81) ressaltam que diferentes métodos construtivos modulares para diferentes situações e necessidades estão pouco a pouco ganhando espaço no meio da construção civil, como é o caso do empreendimento em métodos relacionados ao uso de diferentes materiais, tais como o uso da madeira em Wood Frame, assim como casas contêineres, paredes totalmente de concreto e até mesmo casas totalmente modulares.

Em virtude disso, serão apresentados alguns materiais/técnicas de diferentes aplicações para construções modulares, os quais possuem diferentes funções e aplicações e peculiaridades que favorecem sua utilização em diversos aspectos. Eles são:

3.4.1. Módulos de concreto

No que diz respeito aos elementos pré-fabricados em concreto, Vasconcelos (2018, pág. 28) resalta a importância de dar ênfase à necessidade de ter conhecimento e compreensão acerca dos materiais a serem utilizados, uma vez que vários fatores devem ser levados em consideração, como é o caso dos impactos ambientais envolvidos, assim como a produtividade relacionada ao trabalho com esse material, bem como os prazos de entrega e a logística de transporte envolvendo esses materiais, tanto horizontal quanto vertical.

Alves (2021, pág. 46) ainda afirma que na construção pré-fabricada, os elementos de concreto armado são preparados, moldados e curados em fábricas, o que proporciona maior segurança e controle durante a execução das peças. Além disso, a produção dos elementos é realizada de forma mais rápida, pois não depende das condições climáticas ou do local da obra, e não é necessário o uso de estruturas de suporte para reter o concreto até possuir certo grau de cura.

Ainda segundo Vasconcelos (2018, pág. 28), os módulos feitos de concreto podem ser fabricados a partir de painéis pré-fabricados bidimensionais, os quais são utilizados na construção de estruturas como paredes, assim como pisos e estruturas de cobertura, além de unidades produzidas em três dimensões que podem ser fixadas a uma base aberta. Esses módulos são frequentemente utilizados em aplicações que requerem alta segurança, devido à sua maior resistência em comparação com outros modelos disponíveis. Desse modo, ao serem

produzidos com base aberta, a área vazia é preenchida pelo teto da unidade inferior, resultando na redução do peso próprio do módulo. Além disso, uma forma de otimizar o uso das unidades é a possibilidade de combinar duas ou mais unidades tridimensionais entre si, ou unidades tridimensionais com as bidimensionais, o que permite a criação de espaços maiores.

Alves (2021, pág. 47) ressalta ainda as qualidades desse tipo de estrutura modular, pois confirma que esse material possui diversas aplicações, podendo ser utilizado na forma planar, como painéis estruturais ou mesmo de fachada, assim como sua utilização em armações estruturais, ou aplicado como estrutura isolada, como é o caso dos pilares, vigas, lajes e, em alguns casos, fundações. Essa versatilidade torna-o um material adequado para uso em todas as fases da construção. Além disso, sua dimensão é limitada apenas pela capacidade de transporte e armazenamento.

Para Soares (2022, pág. 38-39) a metodologia de construção em questão demonstra ser economicamente vantajosa a longo prazo em comparação com as técnicas convencionais, pois os moldes utilizados podem ser reutilizados em várias ocasiões. Na verdade, essa abordagem não é totalmente inovadora, mas sim uma evolução dos produtos pré-fabricados em concreto há muito tempo utilizados, como unidades tubulares de drenagem de águas, blocos de cimento e vigas. Apesar do seu peso considerável, há um esforço na comunidade para desenvolver novas técnicas mais leves, como a introdução do poliestireno expandido para a produção de painéis sanduíche. Isso permitirá melhorar o desempenho do material em termos de isolamento térmico, além de possibilitar o projeto de edifícios mais altos ou até mesmo competir diretamente com a utilização de painéis de madeira ou Light Steel Framing (LSF) para revestimento de fachadas.

Figura 4 – Estrutura modular tridimensional



Fonte: Casa e Mercado (2022).

Em vista disso, Marco (2015, pág. 23-24), evidencia alguns dos elementos pré-fabricados de grande utilidade e fundamentais no ramo da construção civil, como é o caso dos pilares, vigas e lajes, como pode ser visto a seguir:

- **Pilar:** A utilização de pilares pré-fabricados em concreto armado na construção civil permite a adoção de seções retangulares ou quadradas. Esses pilares podem ser projetados com um duto central para escoamento das águas pluviais e estrutura de apoio para as vigas (consolo), os quais podem apresentar formatos trapezoidais ou retangulares. Essa variedade de configurações oferece flexibilidade no projeto estrutural e atende às necessidades específicas de cada construção.
- **Viga:** No contexto da construção civil, as vigas pré-fabricadas desempenham um papel importante, podendo ser fabricadas em concreto armado ou protendido. Essas vigas estão disponíveis em várias seções, incluindo as retangulares, do tipo I e do tipo calha. Sua utilização é voltada para o suporte de lajes, vedações e para o travamento geral do sistema construtivo, contribuindo para a estabilidade e resistência da estrutura.
- **Laje:** No âmbito da construção com lajes alveolares pré-fabricadas, destaca-se a sua característica de serem protendidas, conferindo-lhes alta resistência e durabilidade. Essas placas são fabricadas com uma largura média de 1,25m, podendo atingir comprimentos de até 14,00m. Após a montagem das lajes, é necessário realizar a equalização e chaveteamento entre elas (ligação longitudinal entre as lajes), visando garantir o alinhamento adequado. Para finalizar, é imprescindível realizar um capeamento utilizando concreto com resistência de 30 MPa, com uma espessura mínima de 5 cm, a fim de obter um acabamento consistente e de qualidade.

Figura 5 – Estrutura contendo pilares, vigas e laje pré-fabricados.



Fonte: Máxime Pré-fabricados (2020).

3.4.2. Drywall

Antes de discorrer sobre o sistema construtivo utilizando o drywall, é necessário fazer uma distinção entre ele e os outros materiais também utilizados no meio da construção pré-fabricada, pois quando se trata de sistemas construtivos industrializados, é possível distinguir dois tipos principais, conforme a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2015, pág. 26), o qual menciona que o primeiro tipo engloba os sistemas leves utilizados para vedações internas, que possuem pesos que não ultrapassam 60 kgf/m² e são empregados na compartimentação de espaços. Já o segundo tipo compreende os sistemas destinados tanto às estruturas quanto aos fechamentos, desempenhando funções tanto estruturais quanto de vedação. Essa diferenciação permite uma abordagem mais precisa e direcionada na seleção e utilização dos sistemas construtivos de acordo com as necessidades específicas de cada projeto.

Desse modo, ainda segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2015, pág. 26), o sistema de drywall é referente aos sistemas leves, e o mesmo surgiu no Brasil por volta de 1970 e ganhou maior destaque a partir dos anos 1990, especialmente com a tecnologia de painéis de gesso acartonado. Essa solução consiste em perfis e guias de aço galvanizado, que são utilizados como estrutura de suporte para as chapas de gesso acartonado. Atualmente, o drywall é amplamente empregado em edifícios comerciais e infraestrutura, sendo utilizado para fechamento de espaços internos, além de ser uma opção popular para divisórias em edifícios residenciais.

Além disso, Ribas (2006) e Santiago (2008), conforme citado por Oliveira (2013, pág. 93), afirmam que o sistema conhecido como drywall compartilha os mesmos componentes do Light Steel Frame (LSF), porém, diferentemente deste, não possui função estrutural, sendo utilizado principalmente como fechamento interno em edificações. Esse sistema tem sido amplamente adotado em obras no Brasil e é considerado pioneiro na introdução da industrialização na construção, pois contribuiu para romper a barreira cultural em relação ao uso de elementos não maciços, como alvenaria e concreto, nas construções.

No que se refere ao material constituinte desse material e a forma de como o mesmo é produzido, Ribas (2013, pág. 73) afirma que as placas de gesso acartonado (ou painéis de drywall) são produzidas de forma industrial por meio de um processo contínuo de laminação, envolvendo uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de papelão. Essa configuração confere aos painéis uma combinação de resistência à compressão, fornecida pelo gesso, e resistência à tração, proporcionada pelo papelão, que atuam de forma semelhante ao

concreto armado. Geralmente, as placas possuem dimensões nominais de 1,20 m de largura, comprimentos variando de 1,80 m a 3,60 m e espessuras de 9,5 mm, 12,5 mm e 15,0 mm. É importante ressaltar que o fechamento com placas de gesso acartonado deve ser utilizado apenas em áreas protegidas de exposição às condições climáticas.

Assim, Gaspar (2013, apud ALVES, 2021, pág. 72) esclarece que os painéis de drywall são comumente utilizadas para revestir sistemas de Light Steel Frame (LSF) e para aplicação interna em edifícios. Essas placas são fixadas à estrutura por meio de parafusos ou colagem direta em paredes de alvenaria de tijolo. Após a fixação, os acabamentos finais, como a pintura, por exemplo, são realizados. Ribas (2013, pág. 74) afirma ainda que esses painéis não propícios para execuções sem planejamento prévio (improvisos), exigindo que sejam montados somente em conformidade com o que foi projetado. Devido à cavidade existente em seu interior, esses painéis oferecem a vantagem de permitir a instalação de dutos. Dessa forma, as instalações hidráulicas, elétricas e outras devem ser previstas antecipadamente, incluindo a criação de aberturas nos painéis e montantes para passagem dessas instalações.

Ainda segundo Ribas (2013, pág. 74), as vantagens da utilização de painéis de gesso acartonado incluem sua alta capacidade de absorção de deformações, o que reduz a incidência de trincas, esmagamento de paredes e descolamento de revestimentos. Além disso, esses painéis possuem menor massa e peso em comparação com os fechamentos convencionais, mantendo a mesma resistência a impactos. A facilidade de acesso às instalações hidráulicas e elétricas sem a necessidade de rasgos, juntamente com a qualidade superficial dos painéis que permite a aplicação direta de acabamento, são características valorizadas. Outros benefícios incluem a redução de perdas de material, a rapidez na execução e a flexibilidade arquitetônica proporcionada por esse sistema construtivo.

Figura 6 – Instalação de painel de drywall



Fonte: Drywall rio 2023.

3.4.3. Poliestireno expandido (EPS)

De acordo com informações fornecidas pela Associação Brasileira do Poliestireno Expandido (2014, apud LACOMBE, 2015, pág. 13), o EPS pode ser descrito como um material que não possui odor, não apresenta impacto negativo no solo, na água ou no ar, além de ser totalmente aproveitável e reciclável. Por meio de tecnologias conhecidas e de fácil aplicação, é possível reciclar o EPS e transformá-lo novamente em matéria-prima, retornando às suas condições iniciais.

Já Tessari (2006, pág. 17) descreve o poliestireno expandido como sendo uma espuma rígida produzida por meio da expansão da resina PS durante a polimerização, sendo essa expansão alcançada por meio da injeção de um agente químico durante a reação. O pentano é frequentemente utilizado como agente de expansão. O mesmo autor ainda afirma que o EPS encontra suas principais aplicações no setor de embalagens de proteção e isolamento térmico.

Quanto ao processamento do material constituinte do poliestireno expandido até sua utilização, Gabriel *et al.* (2021, pág. 5) esclarece que, assim como outros materiais plásticos, o EPS é derivado do petróleo, o qual passa por processo de refinamento para remoção de impurezas e obter a nafta. Esse material é encaminhado para a Indústria Petroquímica para obter monômeros (sendo o monômero de estireno obtido por meio da combinação de benzeno, etileno e nafta). Em seguida, a Indústria Química recebe o monômero de estireno na forma de esferas e injeta o gás pentano, passando pelo processo de pré-expansão, onde o vapor penetra nas esferas mais rápido que o pentano, resultando no poliestireno expandido. Após um período de repouso, o EPS é injetado nos moldes por ar comprimido e, em seguida, as peças são expostas ao vapor para fusão e acabamento final antes de serem disponibilizadas ao consumidor.

Tessari (2006) afirma que, devido às suas notáveis propriedades isolantes, o EPS oferece um isolamento eficiente para os ambientes, resultando na redução ou até mesmo eliminação da demanda por sistemas de climatização. Essa capacidade de isolamento térmico proporciona maior conforto aos usuários e, ao mesmo tempo, gera economia significativa nos gastos anuais com energia elétrica.

Gabriel *et al.* (2021) ainda afirma que, o Poliestireno Expandido (EPS) apresenta viabilidade econômica devido à sua resistência a insetos, fungos e bactérias, além de ser notavelmente leve e totalmente reciclável. No entanto, sua principal desvantagem reside no espaço ocupado pelo material, o que pode dificultar seu armazenamento. Felizmente, o EPS pode ser reciclado no próprio canteiro de obras, facilitando seu reaproveitamento. Em vista

disso, o mesmo autor afirma que a maior utilização desse material é no setor a construção civil, abrangendo desde a estrutura até os detalhes finais da construção, assim o mesmo é aplicado em telhas térmicas, forros, sancas, molduras, revestimentos, assentamento de estradas e rodovias, além de ser utilizado em concretos leves e contrapisos. Desse modo, a sua versatilidade e ampla gama de aplicações tornam o EPS um material indispensável na construção civil.

Assim, é possível afirmar, conforme as afirmações de Tessari (2006, pág. 28), que o EPS é um material plástico que se apresenta na forma de espuma, com células microscópicas fechadas, composto predominantemente por 2% de poliestireno e 98% de espaços vazios preenchidos com ar. Sua cor branca, capacidade de reciclagem e ausência de poluentes o tornam um isolante de alta qualidade. Ao longo dos últimos anos, o EPS conquistou uma posição consolidada na indústria da construção civil, não apenas devido às suas propriedades isolantes, mas também devido à sua leveza, resistência e facilidade de manuseio. Esse material proporciona economia nos processos de corte, mão de obra, utilização de equipamentos e tempo de execução.

Figura 7 – Poliestireno expandido aplicado na construção civil



Fonte: Casa.com.br (2020).

3.4.4. Wood Frame

Dentro do ramo da construção modular, o uso do Wood Frame destaca-se por ter aplicabilidades bastante versáteis e eficazes, e com isso, a Diretriz SiNAT 005 (2011, apud AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2015, pág. 180) traz informações a respeito desse material, ao mencionar que trata-se de um sistema construtivo que utiliza peças de madeira maciça serrada como estrutura, combinadas com fechamentos em chapas delgadas. Os componentes de fechamento externo podem ser compostos por diferentes tipos de chapas, como OSB, madeira compensada, entre outras opções de chapas de madeira ou chapa cimentícia. Esse sistema oferece uma alternativa versátil e eficiente para a construção, utilizando a madeira como elemento principal da estrutura e proporcionando uma variedade de opções para os fechamentos externos.

Molina e Calil (2010, apud VASCONCELOS, 2018), reitera o exposto ao afirmar que, de acordo com as características do Wood Frame, pode-se afirmar que se trata de um sistema construtivo industrializado e durável. Esse sistema é estruturado por perfis de madeira reflorestada tratada, que formam painéis de pisos, paredes e telhado. Esses painéis podem ser combinados ou mesmo revestidos com outros materiais, com o objetivo de melhorar o conforto térmico e acústico da edificação, além de proporcionar proteção contra intempéries e incêndios, de modo que se mostra como uma solução construtiva que valoriza a sustentabilidade, utilizando madeira proveniente de reflorestamento e permitindo a aplicação de isolamentos e revestimentos para atender às exigências de desempenho da edificação.

Essas características podem ser explicadas conforme alguns fatores, os quais são ressaltados pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2015, pág. 180), o qual afirma que o Wood Frame é considerado um sistema construtivo seco, o que resulta em um baixo consumo de recursos hídricos. Além disso, destaca-se o ótimo desempenho térmico da habitação, o qual está associado ao baixo consumo de energia tanto no processo produtivo quanto no construtivo, bem como durante a ocupação do imóvel. Essas características fazem do Wood Frame uma opção mais eficiente em termos energéticos. É importante ressaltar que a utilização desse sistema construtivo, aliada à industrialização e à modularidade, possibilita uma redução de até 90% dos resíduos sólidos produzidos por metro quadrado construído, o que contribui para uma construção mais sustentável.

Esse mesmo órgão deixa claro que o sistema de estruturas de fundação do sistema Wood Frame geralmente é realizado por meio de um radier de concreto, o que é facilitado

devido à leveza dos componentes do sistema. Além disso, é destacado o tratamento químico aplicado nas madeiras provenientes de florestas plantadas, visando à sua preservação. É importante ressaltar que todas as peças de madeira são protegidas por chapas e membranas, garantindo uma maior durabilidade e resistência ao sistema. Essas medidas de proteção são adotadas para assegurar a integridade estrutural do Wood Frame e preservar suas propriedades ao longo do tempo.

Vale destacar ainda que a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2015, pág. 181) evidencia a importância de utilizar madeira proveniente de fontes legais, como florestas plantadas ou nativas, cujo desmatamento ou manejo florestal tenha sido aprovado pelo IBAMA. Essa orientação busca assegurar a procedência adequada da madeira utilizada no sistema construtivo em questão, de modo que vise garantir a origem responsável da madeira utilizada, contribuindo para a preservação ambiental e evitando o uso de materiais provenientes de atividades ilegais ou prejudiciais ao meio ambiente.

Assim sendo, o método construtivo com a utilização de madeira pode proporcionar diversos benefícios, como foi o caso da utilização do Wood Frame. Em vista disso, é importante destacar a importância de um método que também se utiliza de madeira e outros materiais, uma vez que se assemelha ao Wood Frame, o qual denomina-se Light Wood Frame, o qual, segundo Silva (2010) caracteriza-se por possuir uma estrutura formada por perfis leves de madeira maciça proveniente de reflorestamento, sendo comumente utilizado o pinus spp. Esses perfis são devidamente tratados para garantir sua durabilidade e resistência. Além disso, o sistema é contraventado com o uso de chapas estruturais de madeira transformada, como o OSB (Oriented Strand Board). Esses componentes são essenciais para proporcionar estabilidade e rigidez à estrutura do Light Wood Frame.

Ainda sobre o Light Wood Frame, Thallon (2008, apud SOTSEK e SANTOS, 2018, pág. 310), afirmam que esse sistema tem desempenhado um papel importante e conquistado grande popularidade em países desenvolvidos da Europa, Oceania e América do Norte ao longo de várias décadas. É notável que atualmente mais de 90% das novas construções nos Estados Unidos adotem alguma forma desse sistema, o que evidencia sua ampla aceitação e relevância no setor da construção.

Figura 8 – Estrutura residencial aplicada com Wood frame.



Fonte: Iben Engenharia (2018).

3.4.5. Steel Frame

Um dos materiais mais utilizados na construção civil é o aço que, devido a sua ampla gama de aplicações, foi desenvolvido a técnica de Steel Frame, sobre a qual foi desenvolvida, posteriormente a técnica Light Steel Frame, e, tendo isso em vista, França (2021, pág. 23), afirma que essa técnicas consistem em utilizar uma estrutura composta por perfis de aço galvanizado, os quais formam painéis, vigas, tesouras de telhado, entre outros elementos, com o objetivo de sustentar as cargas aplicadas na edificação. É importante ressaltar que a estrutura de aço não atua isoladamente, mas sim em conjunto com componentes secundários, como isolantes termoacústicos, fechamentos internos e externos, além das instalações elétricas e hidráulicas, que estão presentes no processo construtivo. O autor ainda afirma que, por esses motivos, esse é um dos sistemas construtivos mais utilizados no mundo.

Abordando de forma mais específica sobre o Light Steel Frame, Soares (2022, pág. 38) menciona que ao analisa o termo de forma mais detalhada, é possível identificar suas características distintas. A palavra "Steel" remete à utilização do aço como matéria-prima principal, enquanto o termo "Light" destaca a característica de peso reduzido, uma vez que os perfis são fabricados a partir de chapas de aço galvanizado de espessura reduzida, enformados a frio em formato de C para conferir maior resistência à torção. Por fim, o termo "Frame"

descreve a essência do sistema, ou seja, o esqueleto estrutural composto por uma variedade de perfis interconectados, que atuam em conjunto para sustentar o edifício como um todo.

Alves (2021, pág. 71) afirma que no sistema construtivo Light Steel Frame, a estrutura em si é composta apenas pelo esqueleto de perfis de aço, sendo necessário utilizar outros materiais em conjunto para a finalização do edifício. Nesse sentido, a combinação com materiais como placas OSB (Oriented Strand Board) ou placas de gesso cartonado desempenha um papel fundamental. Esses materiais são utilizados para complementar a estrutura, proporcionando elementos estruturais e não estruturais ao edifício.

Freitas e Castro (2006, apud VASCONCELOS, 2018, pág. 20), evidenciam o Light Steel Frame como sendo a formação de uma estrutura em aço que serve de esqueleto para a composição do restante dos materiais constituintes, os quais são elementos individuais interligados, que atuam de forma conjunta para suportar as cargas aplicadas à edificação e dar forma ao projeto construtivo. Nesse processo, o esqueleto estrutural é composto por diversos elementos de aço, os quais trabalham em conjunto para conferir resistência à construção.

Alves (2021, pág. 71), por sua vez, explica que a execução de construções que envolvam o sistema Light Steel Frame é baseada na utilização de estruturas de aço moldadas a frio. Essas estruturas são compostas por perfis de aço de baixa espessura, que são unidos de forma a criar um esqueleto estrutural para o edifício. Esses perfis de aço moldados a frio são responsáveis por definir a forma da construção e por fornecer suporte estrutural, seguindo o conceito expresso pelo próprio nome do sistema. Ao utilizar perfis de aço enformado a frio, é possível obter uma construção mais leve, porém resistente, otimizando o uso do material. A união dos perfis de aço forma uma estrutura esquelética que proporciona estabilidade e suporte ao edifício, permitindo a construção de diversos tipos de projetos.

Vasconcelos (2018, pág. 66) deixa claro que na fabricação dos módulos em Light Steel Frame e Wood Frame, observa-se uma redução significativa no consumo de água devido ao fato de serem processos considerados secos. Além disso, as construções modulares que adotam o sistema de Light Steel Frame têm sido associadas a um alto índice de reciclagem do aço, seguindo práticas semelhantes às de alguns países europeus. Essas abordagens sustentáveis refletem a preocupação em minimizar o impacto ambiental, promovendo a conservação dos recursos hídricos e a reutilização de materiais, como o aço, que podem ser reciclados e reintegrados em novos projetos. Essas características destacam o potencial do Light Steel Frame e do Wood Frame para uma construção mais sustentável e eficiente.

Alves (2021, pág. 71) ainda afirma que no sistema construtivo com Light Steel Frame, os perfis de aço desempenham um papel fundamental. Esses perfis são fabricados a partir de chapas de aço galvanizado e passam por um processo de moldagem a frio. Essa moldagem confere aos perfis a resistência necessária para suportar cargas elevadas. Além disso, o aço galvanizado utilizado nos perfis oferece uma proteção adicional contra a corrosão, garantindo maior durabilidade e vida útil aos elementos estruturais. Entre os perfis mais comumente empregados nesse sistema estão os perfis L, U e C, que proporcionam versatilidade na construção e permitem a criação de diferentes configurações e geometrias.

Em relação ao alto desempenho em termos de rigidez estrutural, Soares (2022, pág. 37-38) evidencia que as construções em aço são comumente associadas a vãos longos, projetos arquitetônicos exclusivos e edifícios de grande altura. Nesse contexto, o aço galvanizado é um dos materiais mais empregados na industrialização da construção civil, seja por meio da utilização de painéis pré-fabricados ou da construção modular. Sua resistência e durabilidade o tornam uma escolha frequente para esses métodos construtivos avançados, oferecendo benefícios significativos para a eficiência e a qualidade das edificações.

No que diz respeito a algumas vantagens relacionadas à adoção desse tipo de técnica construtiva, Vasconcelos (2018, pág. 41) evidencia algumas, como é o caso da redução das dimensões das fundações devido aos módulos mais leves empregados. Além disso, a flexibilidade de ampliação e adaptação dos ambientes permite até mesmo a reutilização desses módulos em construções em diferentes locais. Quando combinado com tecnologias de energia renovável, o sistema apresenta um desempenho ainda maior e proporciona economia significativa em comparação com outros sistemas construtivos. Essas características destacam a eficiência e a sustentabilidade do uso desse sistema na construção civil.

Em virtude do que foi apresentado, Corrêa e Zehnder (2017, pág. 23) levando em consideração as demandas de uma sociedade em crescimento, deixam claro que o Light Steel Frame surge como uma alternativa de construção que oferece benefícios como baixo custo, economia de mão de obra, rapidez na execução, flexibilidade e preocupação com a preservação ambiental. Dessa forma, o sistema se torna uma tendência natural na indústria da construção civil, atendendo às necessidades atuais e futuras da sociedade. A busca por soluções mais eficientes, sustentáveis e econômicas impulsiona o crescimento e a adoção desse método construtivo.

Figura 9 – Estrutura executada em Light Steel Frame



Fonte: Alves (2021, pág. 72).

3.4.6. Contêiner

Nunes, Rosa e Moraes (2015), conforme citados por Steil e Roedel (2022), diante da problemática ambiental urbana, afirmam que é essencial que todas as ações urbanísticas, em diferentes setores, se unifiquem em torno de um objetivo comum, o qual está relacionado à construção de cidades que sejam mais justas ambientalmente e socialmente, no que diz respeito às próximas gerações. Nesse contexto, a reutilização de contêineres marítimos surge como uma alternativa para a construção de Habitações de Interesse Social (HIS), buscando atender a essas necessidades. A proposta de utilizar contêineres como estrutura habitacional representa um movimento que visa aproveitar recursos existentes de forma sustentável, contribuindo para a resolução dos desafios enfrentados pela sociedade atual. Essa abordagem busca promover soluções inovadoras e conscientes para o desenvolvimento urbano.

Sendo assim, no âmbito da construção civil, Sousa e Santos (2021, pág. 200) frisam que o contêiner, originalmente uma caixa de metal amplamente empregada no transporte de cargas pela indústria náutica e ferroviária, tem ganhado destaque como uma alternativa construtiva inovadora. Em um primeiro momento o mesmo foi adotado em empreendimentos comerciais e, posteriormente, sua utilização expandiu-se para o campo das habitações. Esse novo enfoque na utilização de contêineres como elemento estrutural na construção civil

evidencia uma busca por soluções criativas e sustentáveis, aproveitando recursos disponíveis de maneira diferenciada e conferindo novas possibilidades ao setor. A incorporação dos contêineres no contexto construtivo representa uma tendência emergente que visa atender às demandas contemporâneas de forma eficiente e versátil.

Santos (2017, pág. 14) levanta a questão sobre o descarte de contêineres, pois, diante da significativa quantidade dos mesmos disponíveis e acumulados nos portos marítimos globais, surgiram diversas iniciativas para explorar outras aplicações para essas estruturas, devido à sua vida útil como caixa transportadora, que varia de dez a quinze anos. Inicialmente, encontrou-se uma alternativa em utilizar os contêineres como áreas de armazenamento em fazendas e fábricas, até que, posteriormente, ganharam espaço como opção habitacional. Essa transição ocorreu devido à busca por soluções criativas e sustentáveis que aproveitassem o excedente de contêineres, transformando-os em opções viáveis e versáteis para o uso como moradias, constituindo uma solução de baixo custo e rápido desenvolvimento para determinados contextos construtivos.

Dessa forma, Barbosa *et al.* (2017, apud STEIL e ROEDEL, 2022, pág. 272) acrescenta que a crescente valorização dos contêineres que seriam originalmente descartados tem impulsionado seu uso como matéria-prima em outras áreas, especialmente na construção civil. Esses contêineres são reaproveitados para a criação de novos empreendimentos, como residências, lojas, restaurantes, entre outros. Essa abordagem não apenas permite a execução rápida das obras e a redução de custos, mas também está alinhada com as preocupações ambientais atuais. A reutilização dos contêineres representa uma forma inovadora e sustentável de aproveitar essas estruturas, oferecendo benefícios tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Embora os contêineres sejam projetados para suportar cargas elevadas, Souza, França Júnior e Sarmanho (2021, pág. 9) comentam que seu comportamento estrutural na construção civil é uma área de estudo ainda limitada. Acredita-se que as cargas típicas de edificações sejam adequadamente absorvidas pela estrutura dos contêineres. No entanto, é importante considerar que as modificações necessárias, como aberturas e alterações nas condições de apoio, impostas pelo projeto arquitetônico, podem ter um impacto significativo no comportamento estrutural do contêiner. É fundamental compreender essas alterações e, com base nisso, realizar análises adequadas para garantir a segurança e a estabilidade desse tipo de estrutura.

Segundo Steil e Roedel (2022, pág. 273), a crescente popularidade do uso de contêineres na construção civil está relacionada à sua disponibilidade abundante e facilidade de aquisição, além da sua notável versatilidade. A capacidade de reutilizar contêineres para diversos fins tem sido um dos principais atrativos desse material. Sua adaptabilidade permite que sejam transformados em estruturas habitacionais, comerciais e até mesmo em projetos arquitetônicos inovadores. Essa flexibilidade de uso dos contêineres tem contribuído para sua crescente aceitação como uma alternativa sustentável e econômica na construção.

A utilização de contêineres na arquitetura e construção civil tem se destacado devido à diversidade de modelos disponíveis, abrangendo diferentes tamanhos, capacidades e tipos. No Brasil, os modelos mais comuns utilizados são os Standard e High Cube de 20 e 40 pés. Esses contêineres foram projetados para suportar cargas pesadas e resistir a ambientes adversos, como alta umidade e maresia, o que os torna uma opção ideal para a construção. Ao incorporar os contêineres como elemento construtivo, a visão da construção modular é ampliada, permitindo a criação de soluções arquitetônicas mais versáteis e sustentáveis, conforme é apresentado por Santos (2017, pág. 15).

Barbosa *et al.* (2017, apud STEIL e ROEDEL, 2022, pág. 273) aborda ainda o fato de que ao adaptar um contêiner para a construção civil, é possível obter uma economia significativa de aproximadamente 30% em relação ao método convencional de construção. Além disso, essa abordagem permite a construção de edificações de forma rápida e eficiente, com um prazo médio de três meses. A utilização de contêineres também oferece maior flexibilidade, permitindo a adição de unidades adicionais e a possibilidade de realocação para outro local, proporcionando versatilidade ao projeto.

A corrosão é considerada a principal patologia enfrentada pelos contêineres, porém, Gilioi (2006) e Petronila (2015), conforme citado por Santos (2017, pág. 18), afirmam que os produzidos com aço corten na sua composição são conhecidos por sua resistência à corrosão e podem ser facilmente reparados. Quando há o surgimento de alguma parte oxidada (ferrugem), ela geralmente afeta somente a camada superficial do metal, sem afetar a estrutura dos pilares e vigas. Nem todas as formas de corrosão são graves o suficiente para tornar o contêiner inutilizável, e existem testes disponíveis para avaliar a extensão das patologias e determinar se o contêiner pode ser reparado ou não.

Santos (2017, pág. 18) ressalta que a limpeza e descontaminação adequadas do contêiner são aspectos de extrema importância, pois influenciam diretamente na sua vida útil.

A manutenção adequada, incluindo a limpeza regular, o tratamento, a pintura e o revestimento corretos, podem estender a vida útil de um contêiner por um período de 40 a 70 anos. Portanto, garantir a realização desses procedimentos de maneira adequada é crucial para a preservação e durabilidade do contêiner ao longo do tempo.

Desse módulo, Souza, França Júnior e Sarmanho (2021, pág. 23) mencionam o fato de que a viabilidade do uso de contêineres marítimos na construção civil está condicionada à análise criteriosa de aspectos arquitetônicos, cronograma, sustentabilidade e estruturais. Ao considerar que esses contêineres são submetidos a carregamentos menores do que em sua função logística original, torna-se possível explorar seu potencial construtivo. Mesmo quando utilizados em situações de balanço estrutural, os contêineres demonstram uma resposta satisfatória, o que os torna uma opção atraente para projetos arquitetônicos que buscam soluções sustentáveis e eficientes.

Figura 10 – Residência com utilização de contêiner.



Fonte: CBIC (2020).

3.5. Aplicações da construção modular

Esse tipo de construção, ainda pouco explorado no Brasil, já é realidade em diversos países europeus e em outras partes do mundo, pois, segundo Jorge e Ravache (2021, pág. 85) e Bastos (2019, pág. 8), esse sistema surgiu na Europa, em meados do século XIX, e passou a ser

muito utilizado por lá e em países como Estados Unidos, Japão e Austrália. Dessa forma, a construção modular passou a ser utilizada com mais frequência, com o passar dos anos, e com isso, houve um crescente desenvolvimento tecnológico a respeito desse tipo de construção, pois Soares (2022, pág. 46-47), afirma que esse ramo construtivo tornou-se uma das melhores alternativas às metodologias tradicionais, uma vez que a crescente conscientização em relação à preservação ambiental tem nesse tipo de construção uma alternativa menos agressiva e que cumpre as mesmas condições de segurança que uma casa construída por métodos tradicionais.

3.5.1. Aplicações residenciais das construções modulares

A construção modular criou impactos em diversos segmentos do ramo da construção civil, pois pôde transformar a forma de como era vista o modo de construir os mais diversos tipos de construções, abrindo um leque de possibilidades, ao passo em que os métodos construtivos mais padronizados começaram a ganhar mais notoriedade, como é o caso mencionado por Ramos (2007, apud PATINHA, 2011, pág. 13) ao comentar que durante a segunda década do século XX, em resposta ao avanço da industrialização global e à necessidade do setor da construção de se adaptar ao espírito de racionalismo e industrialização, vários arquitetos proeminentes, incluindo Le Corbusier, Walter Gropius e Alfred Farwell Bemis, voltaram sua atenção para a pré-fabricação e construção modular.

Nesse sentido, no que diz respeito às edificações de cunho residencial construídas com a utilização de técnicas modulares, muitas são as formas de aplicações que podem ser utilizadas, visto que, dependendo do tipo de obra e da etapa na qual a mesma se encontra, determinados tipos de técnicas melhor se enquadram, uma vez que dependendo do tipo, pode ser que envolvam diferentes materiais e os mesmos podem proporcionar ganhos tanto estéticos quanto funcionais, sobretudo no que diz respeito ao acabamento, como afirma Crasto (2005, apud PEREIRA, 2021, pág. 231) ao mencionar que a entrega das construções modulares pode incluir todos os acabamentos internos necessários, tais como revestimentos, louças sanitárias, bancadas, mobiliário fixo, metais, bem como as instalações hidráulicas e elétricas correspondentes.

Além disso, os benefícios que esse tipo de empreendimento pode trazer são notáveis, uma vez que podem oferecer qualidades semelhantes às que são proporcionadas por residências construídas com técnicas tradicionais. Nesse sentido, Vasconcelos (2002, apud PEREIRA, 2021, pág. 231) evidencia alguns benefícios que o uso cada vez mais frequente de componentes pré-fabricados traz, como a eficiência e economia proporcionadas por esses

elementos, assim como a redução dos resíduos gerados pelo uso de concreto e a diminuição dos prazos de entrega, resultando em menor impacto ambiental, além do fato de que esse sistema contribui para a melhoria da qualidade das estruturas construídas, devido à sua resistência e facilidade de aplicação.

A imagem a seguir ilustra um exemplo de uma edificação residencial utilizando-se do método construtivo modular, sobretudo no que diz respeito à utilização de contêineres:

Figura 11 – Casa container



Fonte: Silva e Silva (2021).

3.5.2. Utilização de módulos em espaços comerciais e institucionais

As construções modulares têm se mostrado uma solução eficiente e versátil para edificações comerciais e institucionais. Com a possibilidade de pré-fabricação e montagem rápida no local, essas estruturas oferecem agilidade na construção, permitindo que estabelecimentos comerciais e instituições entrem em operação mais rapidamente. Além disso, a modularidade proporciona flexibilidade no layout e na expansão futura do espaço, adaptando-se às necessidades em constante mudança. A qualidade dos materiais e a padronização da produção garantem um alto padrão construtivo, aliado a um bom desempenho térmico e acústico. Com custos controlados e menor impacto ambiental, as construções modulares são uma opção atraente para diversos empreendimentos comerciais e institucionais.

Nesse sentido, Damasceno (2021, pág. 42) aponta que devido à pandemia do vírus Covid-19, vários países tomaram medidas de contenção e tratamento, incluindo a criação de hospitais de campanha para aumentar a capacidade de atendimento. Essas estruturas são

frequentemente utilizadas em momentos de crises e emergências, exigindo rapidez na construção, mas também demandam uma estratégia bem planejada para garantir eficiência e segurança. O sistema construtivo a seco com Steel Frame tem se destacado nesses contextos, permitindo a construção de hospitais de campanha com grandes metragens em prazos reduzidos, tornando-se exemplos de produtividade e sucesso. A seguir, um exemplo de uma construção de hospital de campanha por meio de técnicas modulares:

Figura 12 – Montagem de hospitais de campanha.



Fonte: OCTARTE (2023).

3.6. Vantagens e desvantagens da construção modular

Esse tipo de construção vem rompendo paradigmas ao longo dos anos, sobretudo no que concerne à barreira imposta pela resistência de mudança do método tradicional de fazer construção, uma vez que há pontos a serem ressaltados, de fato, como é reforçado por Carvalho (2020, pág. 104), ao afirmar que a construção modular tem certa dificuldade em situações específicas onde a demanda requer pouca repetibilidade, ou seja, pouca padronização dos ambientes, além do fato de que a dimensão dos módulos possam acabar limitando o design desejado, o que condiz com os pontos citados por De la Torre (1994, apud Carvalho, 2020, pág. 20), o qual afirma que esse sistema construtivo possui maior custo inicial, se comparado com o tradicional, além de fatores como a distância entre da fábrica até a obra, complexidade nas ações de coordenação de execução, além do fato de não possibilitar grandes alterações no projeto.

Em contrapartida, os benefícios gerados por esse tipo de construção são imensuráveis, se comparados com a construção in loco, pois, segundo Buildoffsite (2013),

conforme mencionado por Vasconcelos (2018, pág. 40), a construção modular caracteriza-se por ser um sistema que garante maior sustentabilidade, com impactos positivos na esfera ambiental, social e econômica, pois propicia redução da quantidade de veículos necessários para transportar material até a obra, gera menor quantidade de resíduos e poluição sonora nos arredores do canteiro, diminui a quantidade de acidentes no local de trabalho e os desperdícios de materiais são reduzidos, fato este que é afirmado também por Fernandes (2009, apud ALVES, 2021, pág. 34), o qual menciona que trata-se de um sistema mais coerente, com maior rigor técnico, com maior capacidade de cumprir metas em menores prazos e é menos nocivo ao meio ambiente.

3.6.1. Vantagens

As construções modulares, como foi apresentado até aqui, possui diversos tipos de vantagens e aplicações, as quais podem proporcionar uma melhor qualidade em determinados tipos de construções, visto que a mesma envolve uma variada quantidade de materiais e técnicas para diferentes situações. Nesse contexto, Sebba, Santos e Roriz (2020, pág. 2) destacam algumas das vantagens proporcionadas pela aplicação de construções modulares, as quais podem ser listadas a seguir:

- Conforto térmico e acústico aprimorado;
- Economia de tempo de execução da obra devido à fabricação prévia e montagem rápida das peças;
- Redução da necessidade de mão de obra devido ao esquema de montagem mais prático e especializado;
- Utilização de matéria-prima selecionada, garantindo um produto final de alta qualidade.
- Redução de resíduos e desperdícios de materiais devido à pré-fabricação dos componentes;
- Modelo mais sustentável, evitando cortes, ajustes ou demolições durante o andamento da obra.

3.6.2. Desvantagens

Desse modo, apesar de apresentar características que são atrativas às diversas aplicações às quais esse tipo de construção pode ser empregado, há também características adversas, as quais, em determinadas situações acabam por ser um impeditivo para o uso da construção industrializada. Assim sendo, Mello *et al.* (2015, apud SEBBA, SANTOS e RORIZ,

2020, pág. 2-3) exemplifica algumas características desvantajosas acerca do uso desse tipo de construção, como pode ser visto a seguir:

- Limitação na arquitetura de empreendimentos devido à metodologia de padronização das peças pré-fabricadas.
- Dificuldade em adaptar o método para construções personalizadas ou de projetos arquitetônicos mais complexos.
- Restrição ao uso em grande escala de empreendimentos com modelos idênticos, como no caso de casas populares.
- Desafio logístico no transporte dos componentes pré-fabricados até o canteiro de obras, exigindo cuidados especiais para evitar danos durante o transporte, como trincas, cortes ou outros problemas.
- Dependência de fábricas especializadas na produção dos módulos, o que pode limitar a disponibilidade e aumentar os custos em determinadas regiões.
- Necessidade de investimento inicial significativo na criação ou adaptação de fábricas para produção dos componentes modulares.

3.7. Desafios e limitações das construções modulares

Um dos maiores desafios da engenharia desde sempre trata-se da tentativa de conciliar uma obra de qualidade e segurança aliada a um curto prazo de execução da mesma, pois a tendência é de que para que um desses quesitos seja cumprido, o outro necessariamente acaba por não ser possível de obtenção de bons resultados, e, para contornar essa situação, muito investiu-se no desenvolvimento de estudos acerca de metodologias construtivas que pudessem ser capazes de ultrapassar barreiras e atingir esse dois objetivos simultaneamente.

Em razão disso, um dos métodos de construção que visa atingir esse tipo de situação e que atende aos dois critérios trata-se, segundo França (2021, pág. 55), da construção modular, a qual apresenta vantagens significativas, tais como redução do tempo de entrega, maior controle de qualidade devido à fabricação industrializada de elementos construtivos em ambiente controlado, melhor aproveitamento dos materiais, e maior segurança, entre outros benefícios. No entanto, a implementação da construção modular no Brasil ainda enfrenta desafios a serem superados.

3.7.1. Resistência cultural e preconceito

Lara (2015, pág. 47) afirma que o sistema pré-fabricado enfrentou um período em que foi alvo de preconceitos, especialmente por parte dos arquitetos, que o consideravam como um fator limitante para a liberdade de criação, pois seria um impeditivo para um maior número de possibilidades de um projeto. Além disso, a crença de que sua aplicação se restringia a obras industriais ou edifícios de baixo padrão também contribuiu para essa visão negativa, o que, durante determinado tempo, mitigou o desenvolvimento desse tipo de construção (o que, de certo modo, ainda ocorre).

No que diz respeito aos desafios de aplicação desse tipo de método construtivo, Vloger (2015, apud SILVEIRA, 2021, pág. 26-27) afirma que ao analisar as construções industrializadas, percebe-se que um dos motivos que provoca essa desconfiança por parte da maioria dos consumidores é fundamentada em experiências passadas, onde algumas edificações não atenderam às expectativas dos compradores, apresentando problemas como isolamento térmico e acústico inadequados. Além disso, a associação desses empreendimentos com construções temporárias utilizadas em situações de emergência, como pós-desastres naturais ou guerras, reforça a percepção de que a rapidez na construção pode estar relacionada à baixa qualidade. Esses fatores contribuem para uma visão desfavorável das construções industrializadas por parte dos consumidores.

França (2021, pág. 56) afirma que a questão da industrialização na construção modular ainda enfrenta desafios significativos, pois é notável que poucas empresas atuam nesse segmento e o nível de pré-fabricação de materiais construtivos é considerado relativamente baixo. Isso se explica porque, conforme aponta Bertram *et al.* (2019) e Vloger (2015), citados por Silveira (2021, pág. 56), existem investidores que demonstram receio em aplicar capital e recursos em um sistema totalmente diferente dos métodos tradicionais e amplamente aplicados, como é o caso da construção modular, devido à falta de conhecimento e ao temor de enfrentar a concorrência de construtoras regionais que já estão estabelecidas e utilizam processos amplamente difundidos.

3.7.2. Necessidade de mão de obra qualificada

Uma das preocupações no que diz respeito ao ramo da construção modular trata-se da boa capacitação técnica dos profissionais envolvidos, visto que isso refletirá na qualidade do produto final. Sabendo-se disso, França (2021, pág.18) afirma que a indústria da construção civil desempenha um papel crucial na geração de empregos, tanto de forma direta quanto

indireta, e representa um setor fundamental para a economia do Brasil. É importante ressaltar que, à medida que o tempo avança, a construção civil passa por transformações, incorporando novos métodos construtivos e materiais, que visam aprimorar a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade das edificações. Essas mudanças são reflexo da busca contínua por inovação e aperfeiçoamento no setor.

Assim, para a confecção de um determinado empreendimento que seja aplicado algum tipo de técnica de construção modular, dependendo da complexidade de manuseio do material, é necessário um maior rigor técnico por parte de quem irá conduzir o procedimento, como afirma Marco (2015, pág. 15) sobre os ganhos no que diz respeito à adoção de um sistema construtivo industrializado, quando afirma que é essencial contar com mão de obra especializada e selecionar cuidadosamente a matéria-prima utilizada, a fim de assegurar a qualidade do produto final.

No que diz respeito à mão de obra em estruturas modulares de madeira, LACOMBE (2015, pág. 11) diz que o uso de sistemas construtivos nesse tipo de empreendimento é particularmente vantajoso em regiões onde há uma abundância de matéria-prima disponível. No entanto, é importante destacar a necessidade de um manejo adequado, uma vez que o beneficiamento da madeira requer atenção especial para evitar o desperdício excessivo devido à falta de treinamento da mão de obra. Kokubun (2014, apud SOTSEK e SANTOS, 2018, pág. 312) complementa o exposto ao afirmar que a capacitação dos trabalhadores nesse contexto é crucial para garantir uma utilização eficiente dos recursos naturais, sobretudo no uso da madeira, pois, nesse contexto, é imprescindível que haja mão de obra qualificada para as operações de fabricação de painéis e montagem e desmontagem desses tipos de estruturas.

França (2021, pág. 18) evidencia um estudo realizado em Chapecó - SC sobre a capacitação da mão de obra na construção civil, no qual foi constatado que a qualificação dos trabalhadores é baixa. A pesquisa, que entrevistou 83 trabalhadores do setor, revelou que 69% deles nunca haviam participado de cursos de capacitação na área. No entanto, surpreendentemente, 93% dos entrevistados consideraram os cursos de capacitação necessários e cerca de 84% demonstraram disposição em realizar cursos profissionalizantes e buscar qualificação para desempenhar suas atividades de maneira adequada.

Em consequência a isso, França (2021, pág. 56) afirma que uma das principais dificuldades enfrentadas no contexto da construção modular é a falta de qualificação da mão de obra. Nesse tipo de construção, é necessária uma equipe altamente especializada, porém,

atualmente, o mercado da construção civil depende principalmente de mão de obra com menor especialização e custo mais baixo. No entanto, é conhecido que muitos trabalhadores do setor têm interesse em realizar cursos de qualificação, o que sugere uma disposição em adquirir habilidades mais avançadas para atender às demandas do segmento.

Nesse mesmo contexto, Moreira (2009, apud LARA, 2015, pág. 16-17) buscou verificar os problemas que mais afetavam o setor de produção em uma fábrica de estruturas modulares, no qual o estudo foi conduzido com o intuito de examinar os principais problemas relacionados à produção e controle de qualidade na fabricação de estruturas pré-fabricadas, incluindo pilares, vigas e postes. Durante a análise, foram identificados diversos problemas, tais como o uso inadequado de desmoldante, o surgimento de manchas indesejadas, a formação de bolhas de ar decorrentes de uma má dosagem do concreto, a presença de falhas de concretagem conhecidas como "ninhos" e o aparecimento de fissuras resultantes de práticas inadequadas de cura e secagem. Essas manifestações patológicas em comum têm como causa fundamental a falta de capacitação dos trabalhadores envolvidos nesse processo.

Assim, a contratação de profissionais capacitados e o uso de materiais de alta qualidade são aspectos fundamentais para garantir a excelência e a durabilidade dos produtos na indústria da construção. Essa abordagem reflete o compromisso com a entrega de resultados finais de alto padrão, que atendam às expectativas dos clientes e promovam a satisfação geral no processo construtivo.

3.7.3. Limitações arquitetônicas

Algumas das limitações nesse tipo de sistema construtivo estão relacionadas ao fator arquitetônico, pois, levando em consideração que a padronização tão presente nesse sistema é o mesmo fator que diminui a capacidade criativa nos projetos, pois, por possuírem formatos pré-estabelecidos, isso acaba se tornando um limitante nas possibilidades de moldagem da construção que se utiliza desse sistema. Nesse contexto, Relvas (2018, apud BASTOS, 2019, pág. 4), menciona que o design desempenha um papel crucial ao traduzir os aspectos funcionais e visuais, buscando proporcionar sensações de conforto e satisfação aos consumidores. No contexto do design modular, ele se relaciona diretamente com a engenharia, sendo responsável por definir as formas geométricas que constituem a base do desenvolvimento conceitual de novos produtos.

Já os autores Deakin (2020) e Bertram *et al.* (2019), conforme citados por Silveira (2021, pág. 27), na construção tradicional, o enfoque está no design personalizado dos

ambientes, sendo realizado por profissionais qualificados como arquitetos. Somente após a finalização do projeto é iniciada a fase de construção, seguindo a ideia de uma construção que esteja em função do design adotado. Por outro lado, na construção modular, o desenho pode ser adaptado na fábrica, uma vez que o foco principal é o produto. Logo, isso implica em uma padronização parcial dos empreendimentos, o que alguns profissionais da área acreditam que possa limitar a criatividade e a adaptabilidade do produto aos usuários. Essa perspectiva é vista como um motivo para a não adesão a esse método construtivo.

Nesse sentido, BOZEDA e FIALHO (2016), conforme apresentados por Steil e Roedel (2022, pág. 274), mencionam sobre a estrutura dos contêineres, a qual é notavelmente resistente a várias condições climáticas adversas, apresentando uma longa vida útil e sendo projetada para suportar grandes cargas sem a necessidade de outros elementos estruturais. Desse modo, é importante ressaltar que essa característica é de extrema importância na construção civil, pois garante a segurança das edificações, permitindo o uso de módulos sobrepostos, possibilitando uma diversidade de formas e viabilizando diferentes designs. Logo, diferentemente de outras situações, esse tipo de módulo proporciona alguma flexibilidade para diferentes escolhas.

3.8. Industrialização da construção civil e a construção modular no Brasil

No Brasil, o método de construção convencional ainda é predominante e a indústria da construção ainda caminham a passos lentos, se comparado a outros países desenvolvidos, como afirma Nascimento e Santos (2003), conforme citado por Carvalho (2020, pág. 60), o qual evidencia que o Brasil ainda convive com a resistência de aplicação de novas ideias, tornando-se assim refém das atividades artesanais, cedendo a novas ideias somente quando as mesmas são unanimidade.

Ribeiro (2002, apud MARCO, 2015, pág. 29-30) destaca ainda que, no contexto da construção civil brasileira, observa-se a predominância de dois modelos construtivos distintos, os quais têm impactos significativos no desenvolvimento do país. No primeiro modelo, que representa uma parcela menor do total, as construções seguem um planejamento detalhado, cumprindo todas as etapas prévias à execução da obra, como o desenvolvimento de projetos, a definição de cronogramas e o acompanhamento por profissionais qualificados. Nesse modelo, a aquisição dos materiais de construção ocorre de maneira ordenada e controlada, em conformidade com as especificações presentes nos projetos e cronogramas de obra.

Ainda segundo Ribeiro (2002, apud MARCO, 2015, pág. 30), no que tange ao cenário construtivo brasileiro, o segundo modelo, que abrange a maioria das construções, envolve aqueles que realizam suas edificações por conta própria, sem a presença de projetos, habilidades específicas ou planejamento prévio. Nesse contexto, a aquisição dos materiais ocorre de forma desordenada, em quantidades geralmente pequenas, de acordo com a capacidade financeira do proprietário, sem a existência de cronogramas ou prazos a serem cumpridos. Além disso, a compra dos materiais é realizada no comércio local, próximo à obra, permitindo que os compradores transportem seus próprios materiais na quantidade desejada, evitando despesas adicionais com fretes.

Para romper com esse panorama, Senário (2022, pág. 71) afirma que uma das formas de mudar a situação é o fomento e o estímulo de incentivo e investimento na construção modular, disseminando o conhecimento acerca do mesmo, a fim de eliminar equívocos, investir em qualificação profissional e promover medidas que facilitem a implantação desse tipo de sistema. Em contrapartida, Silveira (2021, pág. 47), ressalta que, apesar de apresentar inúmeras vantagens em relação ao sistema tradicional de construir, há alguns fatores que impedem um maior avanço desse sistema em território nacional, uma vez que o elevado valor dos materiais utilizados pode ser um impeditivo para que o sistema de construção modular tenha um desenvolvimento cada vez mais rápido em território nacional.

3.8.1. Perspectivas futuras e recomendações

Com o crescimento da demanda por construções mais eficientes e sustentáveis, a construção modular surge como uma alternativa viável para atender a essas necessidades. Além disso, a industrialização do processo construtivo permite um maior controle de qualidade e padronização dos componentes, resultando em estruturas mais duráveis e seguras.

Apesar desse cenário de avanço a passos lentos, os estudos acerca da coordenação modular no Brasil já estão em andamento há alguns anos, pois, segundo o Banco de Desenvolvimento Econômico e Gerencial (1976, pág. 77), citado por Artico (2020, pág. 32) alguns trabalhos a respeito tiveram início por volta da década de 1940, em que foram iniciados procedimentos dentro da Comissão de Estudos dos Elementos da Construção, assim como na Associação Brasileira de Normas Técnicas, com o intuito de estimular o desenvolvimento dessa inovação em território brasileiro, visto que, em outros países, como França e Estados Unidos, já estava sendo amplamente estudada.

De acordo com a análise realizada sobre a cultura construtiva brasileira e a cadeia de suprimentos da construção civil, França (2021, pág. 55) concluiu que o aço, especialmente o empregado no sistema Light Steel Frame, e o concreto armado pré-moldado são os materiais mais apropriados para viabilizar a adoção da construção modular no Brasil. Isso se deve à ampla disseminação desses materiais no país, bem como ao conhecimento já consolidado sobre sua obtenção e processamento. Além disso, o cenário apresenta oportunidades promissoras, pois o Brasil possui capacidade produtiva e uma demanda crescente por soluções inovadoras na indústria da construção.

3.8.2. Potencial de crescimento e desenvolvimento no Brasil

As perspectivas futuras para a construção modular no Brasil são bastante promissoras. A tendência é que essa modalidade construtiva ganhe cada vez mais espaço no mercado devido aos benefícios que oferece, como maior rapidez na execução, redução de custos e sustentabilidade. Porém, é necessário que barreiras culturais sobre o preconceito em relação a esse tipo de técnica construtiva sejam rompidas.

Considerando a abundância de recursos naturais, tanto renováveis quanto não renováveis, França (2021, pág. 55-56) comenta que o Brasil possui um potencial significativo para utilizar esses materiais na fabricação de elementos destinados à construção modular, como é o caso da aplicação da madeira para fins estruturais, como o Light Wood Frame, sendo este ainda pouco difundido no cenário atual, mas acredita-se que o desenvolvimento de conhecimentos e tecnologias nessa área, levando em consideração os requisitos locais, poderia ser um projeto sustentável a longo prazo. Além disso o mesmo autor ainda acrescenta sobre o uso do gesso, o qual desempenha um papel importante na construção modular, principalmente por meio das placas de Drywall, visto que por possuir uma das maiores reservas mundiais de gipsita, tem a possibilidade de expandir a fabricação de Drywall caso a demanda por esse produto aumente.

Desse modo, é importante salientar que para que um país possa se desenvolver e tornar-se cada vez mais influente é necessário que o ritmo de sua capacidade do ramo construtivo esteja à altura, pois o crescimento econômico de uma sociedade tem muita influência do seu setor de construção civil, como afirma Jorge e Ravache (2021, pág. 80) quando menciona que o processo convencional de construção no Brasil gera um cenário que deve ser alterado, o qual conta com altos custos, assim como baixos níveis de planejamento, falta de capacitação técnica por parte dos trabalhadores e considerável impacto ambiental.

4. CONCLUSÃO

A construção modular é uma das maiores revoluções da indústria da construção civil, uma vez que consegue alinhar padronização com segurança e redução de custos e de tempo necessário para execução de obras. No que diz respeito ao Brasil frente a esse tipo de construção, ainda é um país onde a forma de aplicar as técnicas construtivas são um tanto tímidas, nesse contexto, visto as qualidades e vantagens proporcionadas por esse tipo de técnica construtiva. Nesse sentido, apesar de possuir grande potencial no ramo da construção modular (por possuir uma grande quantidade de recursos naturais disponíveis), o Brasil ainda está longe de ser referência no setor, pois ainda há uma certa rejeição do seu uso em alguns tipos de empreendimentos, se comparados aos métodos tradicionais.

Frente a isso, destaca-se que o referido trabalho empenhou-se em verificar, de um modo geral, quais as vantagens que esse tipo de construção pode proporcionar, assim como os benefícios ambientais, as técnicas utilizadas e como isso tudo, somado aos ganhos de conhecimento na área da engenharia, pode impactar na indústria da construção assim como seria sua aceitação numa esfera nacional, frente às tendências do método tradicional. Com base nisso, foi possível constatar que alguns dos objetivos foram alcançados de forma satisfatória, pois, no que diz respeito ao impacto que esse tipo de construção poderia gerar ainda é um pouco complexo de direcionar uma afirmativa, visto que são poucos os tipos de métodos de construções modulares de sucesso presentes no Brasil, uma vez que a grande maioria de técnicas e métodos de construção desse ramo ainda são vistos com um certo receio no território nacional.

Esse tipo de abordagem é de suma importância em todos os aspectos e em todas as esferas, uma vez que faz parte de um dos ramos mais importantes de um país, seja no aspecto técnico, ambiental e econômico, pois é possível inferir que até mesmo o nível de aceitação ou confiança por parte das pessoas é capaz de impedir que esse tipo de construção se desenvolva de maneira mais rápida em território nacional, uma vez que as grandes empresas do ramo tenham receio de trabalhar com algo que possa não dar retorno financeiro, além do fato da baixa mão de obra especializada com esse tipo de construção.

No entanto, é importante ressaltar que a implementação da construção modular no Brasil ainda enfrenta desafios. É necessário um maior investimento em pesquisa e desenvolvimento para que o país tenha melhores condições de proporcionar a implementação de atividades voltadas a esse tipo de construção e seus diferentes métodos construtivos, bem como a disseminação do conhecimento sobre esse sistema, uma vez que é necessário que

determinados paradigmas sejam rompidos, principalmente no que diz respeito à desconfiança e à falsa ideia de que não são tão bons quanto os métodos construtivos tradicionais.

Ao considerar essa constatação, percebe-se a importância de investir em um maior desenvolvimento e adoção de técnicas industrializadas no setor da construção. Essa abordagem busca potencializar os benefícios proporcionados por métodos construtivos industrializados, como a redução de prazos, maior controle de qualidade, otimização de recursos e sustentabilidade. O avanço nesse sentido é essencial para impulsionar a modernização e a eficiência da indústria da construção, atendendo às demandas do mercado e promovendo melhorias significativas na qualidade e no desempenho das edificações.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Manual da Construção Industrializada**. Conceitos e Etapas: Estrutura e Vedação, v. 1, 2015.
- AGÊNCIA CBIC. **CBIC**. 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/construcao-em-container-e-realidade-aumentada-sao-destaques-da-construtech-week/>. Acesso em 10 de jun. de 2023.
- ALVES, Ângela Guiomar Ferreri de Gusmão e Silva. **Desenvolvimento e análise de um sistema modular para a construção de edifícios**. 2021. Dissertação de mestrado (Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Braga, 2021.
- ARTICO, Rafael. **MÓDULOS VOLUMÉTRICOS PRÉ-FABRICADOS: Avaliação da funcionalidade de leiautes residenciais**. 2020. Dissertação de mestrado (Arquitetura) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2020.
- BASTOS, Pedro Manuel Alves. **Desenvolvimento de uma solução de construção modular para um módulo habitacional**. 2019. Dissertação de mestrado (Engenharia Mecânica) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2019.
- BRUNA, Paulo Julio Valentino. *Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento*. São Paulo: **Editora Perspectiva**, 1976. 312p.
- CALLISTER, William D. Jr.; RETHWISCH, David G. **Materials science and engineering: an introduction**. 2018.
- CARVALHO, Bruno Soares de. **Um método de entrega de projeto para construção modular baseado nos princípios *Lean***. 2020. Tese de doutorado (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.
- CBCA, Aço Brasil. **Construção em Aço: Estatísticas**. 2017. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-estatisticas.php>. Acesso em: 05 out. 2017.
- CONCRETO COM PEGA PROGRAMADA PODE SER A SOLUÇÃO PARA A SUA OBRA. **Mapa da Obra**. 2018. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/negocios/concreto-com-pega-programada/>. Acesso em 25 de maio de 2023.

CONSTRUÇÃO MODULAR: UMA NOVA TENDÊNCIA NO BRASIL. **Casa e Mercado**. 2022. Disponível em: <https://casaemercado.com.br/construcao-modular-uma-nova-tendencia-no-brasil/>. Acesso em 30 de maio de 2023.

CONSTRUÇÕES EM EPS: VALE A PENA INVESTIR NO MATERIAL?. **CasaAbril**. Disponível em: <https://casa.abril.com.br/construcao/construcoes-em-eps-vale-a-pena-investir-no-material>. Acesso em 04 de jun. de 2023.

CONSTRUÇÕES MODULARES EM AÇO. **Açomais**. 2022. Disponível em: <https://acomais.com.br/construcoes-modulares-em-aco/>. Acesso em 24 de maio de 2023.

CORRÊA, Daiane Fernandes; ZEHNDER, Luan. **Estudo comparativo entre sistemas construtivos industrializados: light steel frame e light wood frame**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017.

DAMASCENO, Mariane. Previsões na construção civil pós pandemia e a absorção das construções industrializadas no mercado. **Boletim do Gerenciamento**, v. 25, n. 25, p. 37-46, 2021.

FRANÇA, Erich Takashi Ychisawa. **Materiais empregados na construção modular: cenário atual e potencialidades**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Materiais) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos.

GABRIEL, Adriane Honório *et al.* **Estudo da Viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na Produção de Edificações**. Universidade Una de Catalão, Santo Antônio, 2021.

GONÇALVES, Luís Miguel Neves. **Desenvolvimento estrutural de um componente habitável de construção modular**. 2020. Dissertação de mestrado (Engenharia Mecânica) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2020.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. **Isaia, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, v. 2, p. 905-944, 2010.

HORTA, Bernardo de Andrade. **Construção Modular Tridimensional: Pré-Fabricação, Tecnologia, Trabalho, Obsolescência e Arquitetura**. 2021. Dissertação de mestrado (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

INSTALAÇÃO DE DRYWALL NO RIO DE JANEIRO. **Drywallrio**. Disponível em: <https://www.drywallrio.com.br/>. Acesso em 03 de jun. de 2023.

JORGE, Liliam Pederneiras; RAVACHE, Rosana Lia. Construção modular pré-fabricada, o futuro da arquitetura no brasil. **Conexão online - Revista eletrônica do Univag**, n. 24, 2021.

LACOMBE, J. E. A. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil**. 2015. 193 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.

LARA, Debora Marques de. **Análise do sistema de gestão de empresas de pré-fabricados e desenvolvimento de estudo de caso com implementação de manual de processos**. 2015. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

LAWSON, P. M. *et al.* **Robustness of light steel frames and modular construction**. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings**, v. 161, n. 1, p. 3– 16, 2008.

LIMA, Weber Antonio de. O que é Wood Frame?. **Iben Engenharia**. Disponível em: <http://www.ibenengenharia.com.br/blog/o-que-e-wood-frame/>. Acesso em 12 de jun. 2023.

LOIZOU, Loizos *et al.* Quantifying Advantages of Modular Construction: Waste Generation. **Buildings**, v. 11, ed. 12, 2021.

MARCO, Marina Drummond De. **Industrialização na construção civil: pré-fabricados em concreto armado**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia e Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MARTINS, Cláudio Daniel Miranda. **Construção Modular: Controle de Prazos e Estudo de Rentabilidade**. 2022. Tese de mestrado (Engenharia Civil) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2022.

Montagem de hospitais de campanha. **Octarte Arquitetura em Eventos**. Disponível em: <https://www.octarte.com.br/montagem-de-hospital-de-campanha-27>. Acesso em 29 de junho de 2023.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do Concreto - 2ed. 2. ed. Porto Alegre: **Bookman Editora Ltda.**, 2013.

OLIVEIRA, Ana Beatriz de Figueiredo. **Inserção de sistemas construtivos industrializados de ciclo aberto estruturados em aço no mercado da construção civil residencial brasileira**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

PATINHA, Sérgio Miguel Pinto de Almeida. **Construção modular – desenvolvimento da ideia: casa numa caixa**. 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2011.

PEREIRA, Bruno Henrique Chaves; NÓBREGA, Ludmilla Santos Rabelo; FARIAS, Bruno Matos de. Aplicação do Sistema Construtivo Light Steel Frame em Construções Residenciais. Estudo de Cenário: Residência Unifamiliar. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 6, p. 227-248, 2021.

RIBAS, Rovadavia Aline de Jesus. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

SANTOS, Carolina Neiva. **Construção modular: utilização de containers como ambiente construído**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído) - Produção e Gestão do Ambiente Construído, Belo Horizonte, 2017.

SEBBA, P.; SANTOS, R. S.; RORIZ, T. R. P. Principais vantagens do uso de construção modular de concreto armado, para habitações populares. **PUC Goiás**, Goiânia, p. 1-10, 2020.

SENÁRIO, Ana Paula Fernandes. Construção modular: modelo de edificação que tem conquistado o mercado brasileiro. **Vértice Técnica - Economia e Preservação Ambiental**, p. 66 - 71, 2022.

SILVA, Fernando Benigno da. Wood Frame construções com perfis e chapas de madeira. **Revista Técnica**, São Paulo, v. 18, 2010.

SILVA, Jullia Aparecida Melo de; SILVA, Tamires Morais da. **Casa container - método de construção sustentável**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Edificações) - ETEC - Centro Paulo Souza, Santo André, 2021.

SILVEIRA, Alice de Almeida. **Construção modular off-site no brasil: desafios e revisão de custos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

SISTEMA DE CONSTRUÇÃO. **BPK Casas de Madeira**. Disponível em: <https://bpk.pt/sistema-de-construcao>. Acesso em 22 de maio de 2023.

SOARES, Luís Felipe Oliveira. **Roadmap de implantação de um sistema de produção para a indústria da construção modular**. 2022. Dissertação de mestrado (Engenharia e Gestão Industrial) - Universidade do Minho, Braga, 2022.

SOLUÇÕES EM PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO. **MÁXIME PRÉ-FABRICADOS**. Disponível em: <https://www.maximeengenharia.com.br/>. Acesso em 02 de jun. de 2023.

SOTSEK, N. C.; SANTOS, A. de P. L. Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 309-326, jul./set. 2018.

SOUSA, L. F.; SANTOS, M. L. L. O.. Sistemas construtivos para habitações sociais: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.3, p.194-206, 2021.

SOUZA, F. T. de; FRANÇA JUNIOR, A. M. de; SARMANHO, A. M. C. Análise estrutural de contêineres marítimos utilizados na construção civil. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 24, n. 2, p. 6-26, 2021.

STEIL, Jamiel; ROEDEL, Tamily. Reutilização de contêineres marítimos na construção civil: uma alternativa ecológica para habitações de interesse social. **Revista UNIFEBE**, Brusque, v. 1, n. 27, p. 267-298, 2022.

TESSARI, Janaina. **Utilização de Poliestireno Expandido e Potencial de Aproveitamento de seus Resíduos pela Construção Civil**. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VASCONCELOS, Caio Felipe Nunes. **Avaliação do potencial de uso da construção modular com unidades tridimensionais para as habitações no brasil**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

WILSON, James. **Design for modular construction: an introduction for architects**, 2020. American Institute of Architects, National Institute of Building sciences, 2020.