

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL LOCATELLI

**CONSTRUÇÃO MODULAR: ANÁLISE DE CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO EM
UMA OBRA**

TOLEDO

2024

GABRIEL LOCATELLI

**CONSTRUÇÃO MODULAR: ANÁLISE DE CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO EM
UMA OBRA**

**MODULAR CONSTRUCTION: COST ANALYSIS AND EXECUTION TIME IN A
WORK**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof.^a Dra. Lucia Bressiani.

**TOLEDO
2024**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GABRIEL LOCATELLI

**CONSTRUÇÃO MODULAR: ANÁLISE DE CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO EM
UMA OBRA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 03/outubro/2024

Lucia Bressiani
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Desirè Coraça Possa
Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Manuele Regina Harnich
Especialização em Segurança Contra Incêndio e Pânico
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

TOLEDO

2024

AGRADECIMENTOS

Ao longo desta caminhada, muitos me ofereceram apoio, inspiração e orientação. Este trabalho é fruto de um esforço conjunto, e sou grato a todos que estiveram ao meu lado durante essa trajetória, a qual foi marcada de dúvidas, desafios, mas também de muita superação.

A Deus, agradeço por iluminar meu caminho, por fortalecer minha fé nos momentos difíceis e por guiar cada passo desta jornada.

A minha mãe, Marli Ana Pandini Locatelli, por estar ao meu lado em todos os momentos, me ouvindo e me aconselhando nos momentos de incerteza, estendendo a mão em cada dificuldade. Sua fé e mansidão para superar os desafios junto comigo são exemplos que levarei por toda a minha vida.

Ao meu pai, Paulo Renato Locatelli, que mesmo diante de dificuldades sempre me estendeu a mão, me apoiando emocionalmente e financeiramente, acreditando na minha capacidade. Agradeço pelo incentivo e por sempre estar disposto a ajudar seus filhos.

Aos meus irmãos, Henrique Locatelli e Paulo Renato Locatelli Junior, por estarem sempre ao meu lado demonstrando amparo e encorajamento. Continuarei levando seus exemplos em minha caminhada.

Aos demais familiares, por demonstrarem apoio e torcida.

Aos fiéis amigos de graduação, por todos os momentos compartilhados, conversas, risadas, conselhos e também momentos de descontração.

Ao corpo docente da UTFPR, por todo o conhecimento compartilhado, dedicação e paciência. Através do conhecimento transmitido, também me inspiraram a buscar sempre mais, a superar desafios com determinação e a encarar o aprendizado como um processo transformador.

A minha orientadora, professora Dra. Lucia Bressiani, minha profunda gratidão, não apenas pelo conhecimento e orientação essenciais que me ofereceu, mas também por sua amizade e lealdade, sempre me incentivando com suas palavras otimistas, e nunca me deixando desanimar ou preocupar. Sua alegria e disposição contagiante tornaram o processo muito mais enriquecedor e inspirador.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma comparação entre o custo e prazo de execução de uma sala comercial utilizando dois sistemas construtivos: o sistema convencional, com estrutura de concreto armado e vedação de alvenaria de tijolos cerâmicos, e um sistema modular com estrutura de aço galvanizado e fechamento com paredes de concreto reforçado com fibras de vidro. Os custos do projeto convencional foram calculados com base na tabela do SINAPI, enquanto os custos do projeto modular foram fornecidos por uma empresa especializada em edificações modulares. O prazo de execução do sistema convencional foi calculado utilizando os coeficientes de produtividade do orçamento por meio do método PERT/CPM. Já o prazo do projeto modular foi definido pela empresa responsável pela execução modular. Os resultados indicaram que o sistema modular é mais ágil, apresentando prazo aproximadamente 8 vezes menor em relação a execução da mesma obra por meio do sistema convencional. Porém, o sistema modular apresentou um custo aproximadamente 2,5 vezes superior ao sistema convencional.

Palavras-chave: orçamento; modulação; pré-fabricação.

ABSTRACT

This paper presents a comparison between the cost and execution time of a commercial space using two construction systems: the conventional system, with reinforced concrete structure and ceramic brick masonry sealing, and a modular system with galvanized steel structure and glass fiber reinforced concrete walls. The costs of the conventional project were calculated based on the SINAPI table, while the costs of the modular project were provided by a company specialized in modular buildings. The execution time of the conventional system was calculated using the productivity coefficients of the budget through the PERT/CPM method. The deadline for the modular project was defined by the company responsible for the modular execution. The results indicated that the modular system is more agile, presenting a deadline approximately 8 times shorter than the execution of the same work through the conventional system. However, the modular system presented a cost approximately 2.5 times higher than the conventional system.

Keywords: budget; modulation; prefabrication.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Módulo autoportante.....	17
Figura 2 - Módulos suportados por estrutura.....	17
Figura 3 - Estrutura de painéis combinada com estrutura em esqueleto	19
Figura 4 - Esquema da construção com sistema celular.....	20
Figura 5 - Esquema estrutural de uma residência em LSF.....	22
Figura 6 - Esquema estrutural de um contêiner	24
Figura 7 - Tipos de sistemas construtivos modulares em madeira	26
Figura 8 - Esquema de uma edificação em <i>light wood frame</i>	27
Figura 9 - Disposição dos módulos do Hospital M'Boi Mirim	29
Figura 10 - Etapas da pesquisa.....	33
Figura 11 - Dimensões modulares	34
Figura 12 - Projeto modular.....	35
Figura 13 - Projeto convencional	36
Figura 14 - Exemplo de custos de serviços do SINAPI.....	39
Figura 15 - Elemento de fundação	42
Figura 16 - Esquema do piso.....	43
Figura 17 - Esquema da estrutura de aço galvanizado	44
Figura 18 - Chapa metálica para junção	44
Figura 19 - Telhas metálicas.....	45
Figura 20 - Camadas da cobertura.....	46
Figura 21 - Detalhe do sistema de vedação	47
Figura 22 - Estrutura de montantes	47
Figura 23 - Acabamento interno.....	48
Figura 24 - Proporção de cada grupo de serviço	55
Figura 25 - Cronograma de execução	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativas de custos por etapa de obra (%).....	38
Tabela 2 - Custo total do projeto modular.....	49
Tabela 3 - Custos dos serviços preliminares e infraestrutura	50
Tabela 4 - Custos da superestrutura	51
Tabela 5 - Custos da alvenaria	51
Tabela 6 - Custos da cobertura	52
Tabela 7 - Custos dos revestimentos	52
Tabela 8 - Custos dos pisos	53
Tabela 9 - Custos das esquadrias.....	53
Tabela 10 - Custos de louças e metais.....	54
Tabela 11 - Custos dos serviços complementares	54
Tabela 12 - Custo total do projeto convencional.....	54
Tabela 13 - Resumo dos custos dos dois projetos	56
Tabela 14 - Etapas da construção do projeto modular	57
Tabela 15 - Definição das equipes e durações das etapas do projeto convencional	57
Tabela 16 - Dependências entre as etapas do projeto convencional	60
Tabela 17 - Prazo de cada projeto.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BDI	Benefícios e Despesas Indiretas
BNH	Banco Nacional da Habitação
CPM	<i>Critical Path Method</i>
GFRC	Concreto Reforçado Com Fibras de Vidro
LSF	<i>Light Steel Frame</i>
NBR	Norma Brasileira
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
PERT	<i>Program Evolution and Review Technique</i>
PETI	Painéis Estruturais Termo Isolantes
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
TCU	Tribunal de Contas da União

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa.....	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos específicos.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Conceito de construção modular.....	15
2.2	Classificação dos módulos	16
2.3	Materiais utilizados na construção modular	18
2.3.1	Construção modular em concreto armado	18
2.3.2	Construção modular em aço	21
<u>2.3.2.1</u>	<u>Light steel framing.....</u>	<u>21</u>
<u>2.3.2.2</u>	<u>Contêineres</u>	<u>23</u>
2.3.3	Construção modular em madeira	25
2.4	Construção modular no Brasil	28
2.4.1	Normatização	28
2.4.2	Estudos sobre construções modulares no Brasil.....	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	Caracterização da pesquisa	32
3.2	Etapas da pesquisa	33
3.3	Escolha do projeto	34
3.3.1	Projeto modular	34
3.3.2	Projeto convencional	35
3.4	Orçamento	36
3.4.1	Orçamento para o projeto modular.....	36
3.4.2	Orçamento para o projeto convencional.....	37
<u>3.4.2.1</u>	<u>Identificação dos serviços</u>	<u>37</u>
<u>3.4.2.2</u>	<u>Levantamento de quantitativos.....</u>	<u>39</u>
<u>3.4.2.3</u>	<u>Determinação dos custos unitários.....</u>	<u>39</u>
<u>3.4.2.4</u>	<u>Determinação do custo total.....</u>	<u>40</u>
3.5	Programação da obra.....	40
3.5.1	Programação da obra para o projeto modular	40
3.5.2	Programação da obra para o projeto convencional	40

4	RESULTADOS.....	42
4.1	Orçamento para o projeto modular.....	42
4.1.1	Fundações.....	42
4.1.2	Piso	43
4.1.3	Estrutura dos módulos.....	43
4.1.4	Cobertura	45
4.1.5	Paredes	46
4.1.6	Esquadrias	47
4.1.7	Detalhes arquitetônicos e acabamentos.....	48
4.1.8	Desempenho e habitabilidade	49
4.1.9	Custo total do projeto modular.....	49
4.2	Orçamento para o projeto convencional.....	50
4.2.1	Serviços preliminares e infraestrutura	50
4.2.2	Superestrutura.....	51
4.2.3	Alvenaria	51
4.2.4	Cobertura	52
4.2.5	Revestimentos.....	52
4.2.6	Pisos.....	53
4.2.7	Esquadrias	53
4.2.8	Louças e metais	53
4.2.9	Serviços complementares	54
4.2.10	Custo total do projeto convencional.....	54
4.3	Comparativo de custos.....	56
4.4	Programação de obra.....	56
4.4.1	Programação de obra para o projeto modular	56
4.4.2	Programação de obra para o projeto convencional	57
4.5	Comparativo de prazos.....	62
5	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS.....	65
	APÊNDICE A - Diagrama de Rede (PERT/CPM)	69
	APÊNDICE B - Cronograma Físico (Gráfico de Gantt)	71

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é amplamente reconhecido por estimular o mercado de trabalho e aumentar o nível de renda, melhorando os indicadores de produtividade de países em desenvolvimento (Santos, 2020). No entanto, o método convencional de construção, ainda amplamente adotado no Brasil, é caracterizado por elevados custos, planejamento insuficiente e baixa qualificação da mão de obra (Jorge; Ravache, 2021).

Entende-se por método convencional a utilização de estruturas de concreto armado com vedação de alvenaria de tijolos cerâmicos para a construção de edificações. Esse método, amplamente difundido, tem sido predominante em diversos tipos de projetos. No entanto, apesar de sua familiaridade, a construção convencional enfrenta desafios significativos em termos de tempo de execução e custos, bem como impactos ambientais decorrentes do uso intensivo de recursos naturais e geração de resíduos.

Nos últimos anos, a construção modular emergiu como uma alternativa inovadora e eficiente, que vem ganhando aceitação no setor. Segundo França (2022), esse tipo de construção envolve a fabricação industrializada de componentes estruturais, conhecidos como módulos, que são transportados para o canteiro de obras para a montagem final. Esse método permite a construção de diversos tipos de edificações.

Compreender as implicações financeiras de diferentes métodos de construção é essencial para construtores e investidores que buscam maximizar o retorno sobre seus investimentos. De acordo com Mattos (2019), um dos elementos essenciais para alcançar um bom lucro e o sucesso de um construtor é uma orçamentação eficiente. Um orçamento inadequado pode levar a falhas e frustrações em relação a custos e prazos. A orçamentação é uma das áreas mais importantes no setor da construção, pois constitui a base para o cálculo do preço do projeto.

Diante desse cenário, este estudo visa apresentar informações sobre um tipo de construção modular, de estrutura em aço galvanizado e paredes de concreto reforçado com fibras de vidro, focando em aspectos relacionados a custos e prazos de execução. Ao fornecer uma análise baseada em dados reais, espera-se oferecer subsídios para a tomada de decisão de gestores, engenheiros e arquitetos para a escolha de sistemas construtivos na fase de definição do projeto.

1.1 Justificativa

Estudar a temática do custo e prazo de diferentes métodos construtivos torna-se relevante visto a crescente demanda por habitação, já que este, segundo Pedroso (2012), é um dos principais problemas sociais no Brasil. O déficit habitacional abrange não apenas a falta de moradia, mas também as condições indignas de muitas residências. Essas moradias devem atender às necessidades básicas das pessoas que nelas vivem, incluindo segurança, proteção contra intempéries, acesso à água potável e energia elétrica, entre outros aspectos.

A popularização de novos métodos pode contribuir para atender essa demanda de maneira eficaz. De acordo com Costa *et al.* (2023) à medida que a construção civil evolui, métodos como a construção modular ganham aceitação e relevância. O estudo dessa evolução é essencial para profissionais que buscam manter-se atualizados com as melhores práticas e técnicas.

Um estudo comparativo permite identificar o método mais econômico para construir uma determinada estrutura, maximizando o retorno sobre o investimento e reduzindo custos desnecessários. Também proporciona uma vantagem competitiva para empresas da indústria da construção, permitindo que ofereçam preços mais competitivos aos clientes sem comprometer a qualidade.

Estudos sobre custos de novos métodos construtivos não apenas beneficiam os envolvidos no projeto, mas também podem contribuir para a sustentabilidade financeira a longo prazo. Desse modo, é possível garantir a viabilidade econômica do empreendimento, além de estimular a inovação da construção civil, incentivando o desenvolvimento de métodos construtivos mais eficientes, econômicos e sustentáveis.

Atender prazos em uma obra é essencial para a satisfação do cliente. Quando se realiza um planejamento do projeto, obtém-se uma estimativa mais precisa do tempo necessário para completar a construção, dessa forma, garante-se que os prazos acordados com o cliente sejam cumpridos. Através do planejamento é possível antecipar potenciais problemas de cronograma e implementar medidas preventivas para minimizar riscos de atrasos durante a construção.

Um melhor atendimento dos prazos de construção permite uma alocação mais eficiente de recursos humanos, materiais e equipamentos, otimizando o processo construtivo como um todo. Taves (2014) afirma que a previsão precisa de todos os

itens resultantes da execução da obra permite ao gestor otimizar o processo de estimativa dos custos do empreendimento, reduzindo significativamente os riscos futuros de despesas com itens não previstos no orçamento inicial.

Dessa forma, esta pesquisa contribui para o melhor conhecimento da construção modular em relação à custos e prazo, contribuindo para a melhoria da eficiência, competitividade e inovação na indústria da construção civil, permitindo identificar qual método oferece o melhor custo-benefício.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar a análise de custo e prazo para execução de uma obra com sistema construtivo modular.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Descrever as características e etapas da construção modular de estrutura em aço galvanizado e paredes de concreto reforçado com fibras de vidro;
2. Realizar o levantamento de quantitativos, custos e prazo de execução para o sistema convencional;
3. Realizar comparativo de custos e prazo de execução do sistema construtivo modular em relação ao convencional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico, buscou-se explorar as perspectivas teóricas e práticas sobre a construção modular desde suas origens até as mais recentes aplicações. Procurou-se compreender seu impacto no cenário atual da construção civil através de estudos que examinam os aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais dessa abordagem além de identificar possíveis áreas de estudo, contribuindo para o avanço do conhecimento nesta área.

2.1 Conceito de construção modular

A construção modular é definida como a construção caracterizada pela utilização de módulos individuais fabricados e padronizados em linhas de montagem e posteriormente montados no local da edificação. Seu surgimento se deu na Europa, porém, esse sistema também é muito utilizado em outros países como Estados Unidos, Suécia, Japão e Austrália. No Brasil, existem pesquisas sobre novos sistemas construtivos desde 1980 (Jorge; Ravache, 2021).

De acordo com Jorge e Ravache (2021) a construção modular está relacionada com a coordenação modular, que objetiva a padronização do módulo para uma construção industrializada. No Brasil a coordenação modular é respaldada pela Norma Brasileira (NBR) 15873/2010, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), nomeada “Coordenação Modular para Edificações” a qual incentiva a construção modular. Greven e Baldauf (2007) citam como um sistema que tem elevado o padrão da indústria da construção em muitos países. Segundo os autores, no contexto da produção de edificações, é fundamental considerá-la, além de integrar preocupações econômicas e ambientais.

Segundo a NBR 15873 (ABNT, 2010) o objetivo da coordenação modular é promover a compatibilização das dimensões entre os elementos construtivos já definidos na fase de projeto das edificações, e os componentes construtivos que são definidos pelos próprios fabricantes. Desse modo pode-se expandir a colaboração entre os participantes da cadeia produtiva da construção civil; sistematizar a diversidade de medidas de coordenação utilizadas na produção de componentes de construção; facilitar o procedimento de demarcação no local de construção para a colocação e montagem de elementos construtivos, e incrementar a interoperabilidade

dos componentes tanto durante a fase inicial de construção, como em eventuais reformas e aprimoramentos ao longo da vida útil estimada da edificação.

A coordenação modular é reconhecida como um dos principais fundamentos para a industrialização da construção, método que converte a construção em uma montagem simplificada, utilizando kits e componentes que podem facilmente ser montados em projetos de grande escala, como habitações populares convencionais, já que tem a capacidade de simplificar e reduzir os custos da execução dos projetos nos locais de construção (Mayor, 2012).

Entrando no contexto da sustentabilidade na construção, segundo Caseiro (2013), muitas indústrias adotam a coordenação modular para garantir uma disposição eficiente do espaço e evitar desperdícios. O emprego dessa abordagem oferece diversas vantagens econômicas, reduzindo os custos em várias etapas do processo construtivo. Sebba e Santos (2020) citam a redução de resíduos e de desperdícios, já que na utilização desse método os módulos são pré-fabricados, o que evita cortes, ajustes e demolições no andamento da obra.

2.2 Classificação dos módulos

Os módulos são unidades de medida empregadas para uniformizar as dimensões de materiais de construção ou para regularizar as proporções de um arranjo arquitetônico. Existem diversas técnicas e tecnologias para construção e montagem em larga escala, cada uma apresentando seus pontos positivos e negativos (Mayor, 2012).

De acordo com França (2022) os módulos são classificados em dois tipos principais, distinguindo-se de acordo com o mecanismo que mantém o equilíbrio das cargas: módulos autoportantes e módulos suportados por estrutura.

Os módulos do mecanismo autoportante são empilhados uns sobre os outros e as próprias paredes do módulo suportam a carga gerada, eliminando a necessidade de outras estruturas para suporte. Embora seja um método eficiente, a resistência à compressão das paredes é um fator limitante, por isso a edificação costuma ficar limitada a uma altura de 4 a 8 andares (França, 2022). A Figura 1 apresenta um módulo autoportante.

Figura 1 - Módulo autoportante



Fonte: Lawson; Richards (2010)

Já nos módulos suportados por estrutura, as cargas são mantidas por uma estrutura externa, composta por vigas conectadas a pilares (França, 2022). A Figura 2 ilustra uma construção com esse tipo de módulo.

Figura 2 - Módulos suportados por estrutura



Fonte: Lawson; Richards (2010)

Nesse cenário, é crucial que os pilares apresentem elevada resistência à compressão. A construção utilizando módulos autoportantes pode ser mais econômica e rápida do que aquela que utiliza módulos apoiados em estrutura (França, 2022).

2.3 Materiais utilizados na construção modular

A seguir são apresentados os principais materiais utilizados na construção modular conhecidos na construção civil, com algumas vantagens e desvantagens.

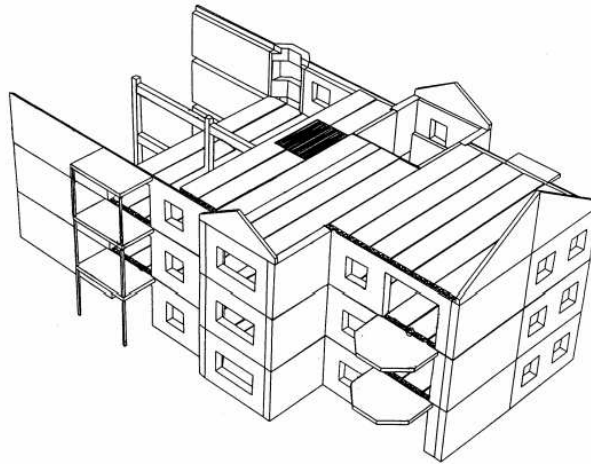
2.3.1 Construção modular em concreto armado

Borges (2018) apresenta um sistema construtivo modular com a utilização de concreto armado. De acordo com o autor, esse tipo de sistema construtivo pode ser dividido em duas categorias: o sistema de paredes completo, onde as paredes podem cumprir papel estrutural ou apenas de fechamento, de forma que todas as paredes sejam feitas com módulos pré-fabricados e o sistema de paredes de contorno, onde apenas as paredes de contorno dos apartamentos são executadas no método modular, de forma a permitir futuras modificações.

Por outro lado, Van Acker (2002) apresenta diversos tipos de sistemas construtivos modulares em concreto armado, como: estruturas aporticadas; estruturas em esqueleto; estruturas em painéis estruturais; estruturas para pisos; sistemas para fachadas e sistemas celulares.

Os sistemas aporticados e em esqueleto são compostos por elementos lineares, como vigas e pilares, de diferentes formatos e tamanhos, que se combinam para formar a estrutura básica do edifício. Esses sistemas são especialmente adequados para construções que demandam alta flexibilidade arquitetônica, permitindo a criação de grandes vãos e espaços abertos sem a necessidade de paredes internas. Já os painéis são utilizados para fechamento interno e externo (Van Acker, 2002). A Figura 3 demonstra um exemplo de edificação utilizando uma estrutura de painéis combinada com o sistema em esqueleto.

Figura 3 - Estrutura de painéis combinada com estrutura em esqueleto



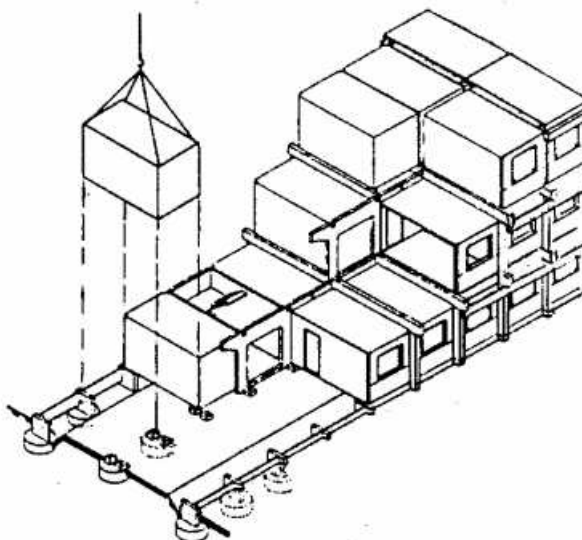
Fonte: Van Acker (2002)

Os painéis não estruturais para fachadas desempenham tanto funções de fechamento quanto de acabamento. Eles são instalados na estrutura, que pode ser de concreto pré-moldado, concreto moldado no local ou metálica (Van Acker, 2002).

Ainda, segundo Van Acker (2002), os elementos pré-moldados para pisos representam um dos produtos mais tradicionais nesse campo. No mercado, há uma ampla gama de sistemas disponíveis para piso e cobertura pré-moldados, que podem ser categorizados em cinco tipos principais: sistemas de painéis alveolares protendidos; sistemas de painéis com nervuras protendidas (seções T ou duplo T); sistemas de painéis maciços de concreto; sistemas de lajes mistas e sistemas de laje com vigotas pré-moldadas.

Finalmente, as estruturas celulares são compreendidas por módulos autoportantes, os quais são ocasionalmente empregados em áreas como banheiros, cozinhas, garagens, entre outras. A produção dos módulos é industrializada até a conclusão, e os componentes modulares podem ser totalmente montados na fábrica (Van Acker, 2002). A Figura 4 detalha o sistema em estruturas celulares.

Figura 4 - Esquema da construção com sistema celular



Fonte: Van Acker (2002)

Mendonça, Yshii e Paletta (2012) também citam a utilização de módulos autoportantes de concreto armado. Neste caso apresentando concreto com resistência característica à compressão de 30 MPa, com espessura mínima de cinco centímetros nos pisos e quatro centímetros nas paredes e no teto. De acordo com os autores, neste caso os ambientes são completamente revestidos e entregues no local final da obra, prontos para uso imediato, necessitando apenas a conexão às prumadas de água, esgoto e rede elétrica. Ainda afirmam que geralmente esses módulos só não podem ser utilizados se a laje não suportar a carga distribuída do módulo.

Como vantagens da construção modular em concreto armado, se destacam o conforto térmico e acústico e a economia do tempo de serviço em obra, uma vez que as peças são montadas previamente e montadas *in loco* de forma mais veloz (Sebba; Santos, 2020).

Pode-se também destacar a diminuição de mão de obra, pois trata-se de um método de montagem mais prático em relação ao método tradicional e com produto final de qualidade, uma vez que o trabalho é mais especializado e utiliza matéria-prima selecionada (Sebba; Santos, 2020).

Por outro lado, Mello, Prevedello e Masutti (2015) citam algumas desvantagens do método. Entre elas estão as limitações dos equipamentos de transporte e montagem; restrições à movimentação no canteiro de obra; dificuldade de transporte em grandes centros; limitações arquitetônicas; necessidade de previsão de ampliações no projeto inicial, entre outras.

2.3.2 Construção modular em aço

A partir do aço, são relatados dois principais tipos de construções modulares com esse material: o *light steel framing* (LSF) e a construção com contêineres.

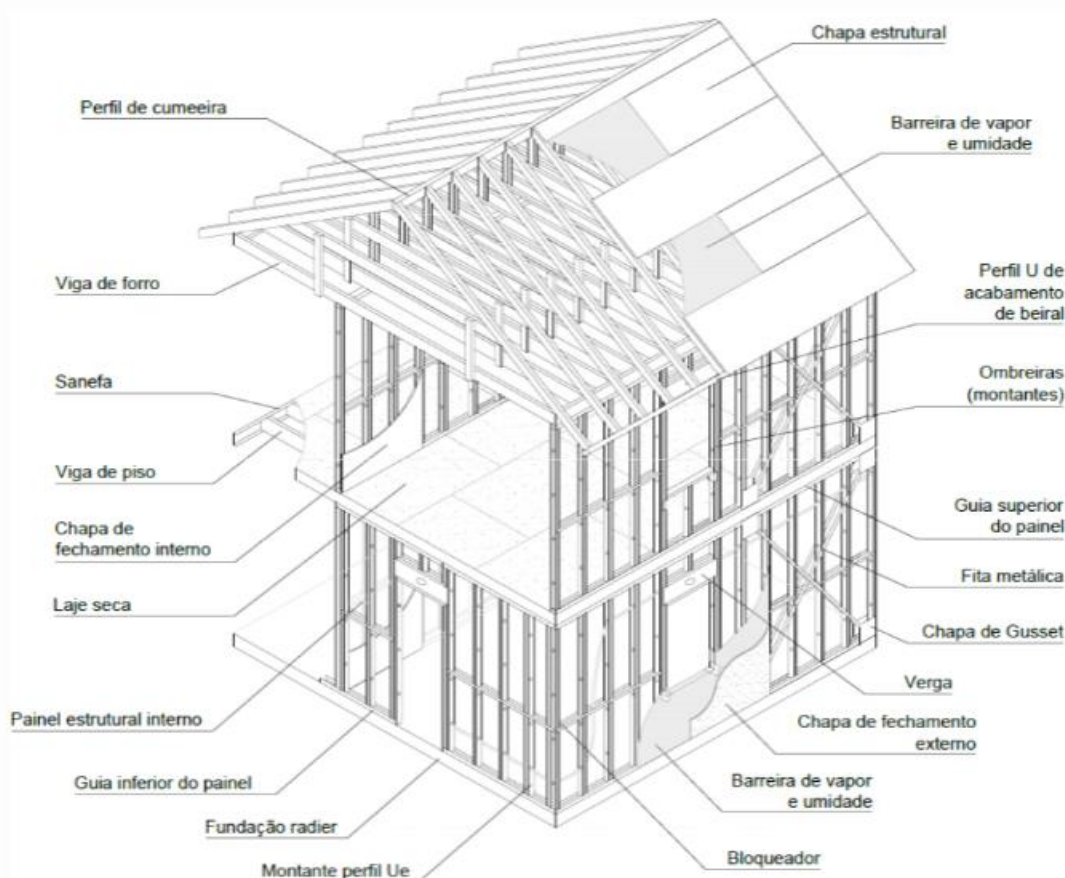
2.3.2.1 Light steel framing

França (2022) apresenta o LSF como um método de construção modular em aço. De acordo com Santiago, Freitas e Crasto (2012) o *light steel framing*, como é conhecido internacionalmente, é um sistema construtivo de concepção racional, cuja característica principal é uma estrutura composta por perfis de aço galvanizado formados a frio. Esses perfis são empregados na criação de painéis estruturais e não estruturais, vigas secundárias, vigas de piso, tesouras de telhado e outros componentes. Essencialmente, a estrutura em LSF é formada por paredes, pisos e cobertura. Juntos, esses elementos garantem a integridade estrutural da edificação, resistindo às forças que atuam sobre ela.

As paredes são chamadas de painéis autoportantes, os quais são compostos de perfis galvanizados, estruturas muito leves que são chamadas de montantes. Os painéis têm a finalidade de distribuir de forma homogênea as cargas e direcioná-las para o solo. O revestimento desses painéis pode ser realizado com diversos materiais, no entanto, comumente são utilizadas placas cimentícias ou placas de *oriented strand board* (OSB) na parte externa, e chapas de gesso acartonado na parte interna (Santiago; Freitas; Crasto, 2012).

Os pisos seguem o mesmo princípio dos painéis, empregando perfis galvanizados dispostos horizontalmente e respeitando a mesma padronização dos montantes. Esses perfis formam as vigas de piso, proporcionando suporte para os materiais que compõem a superfície do contrapiso. Já em relação à cobertura, quando se trata de coberturas inclinadas, a abordagem é bastante similar à da construção tradicional, utilizando tesouras, mas substituindo a estrutura de madeira por perfis galvanizados (Santiago; Freitas; Crasto, 2012). A Figura 5 demonstra um desenho demonstrando o esquema estrutural de uma residência em LSF.

Figura 5 - Esquema estrutural de uma residência em LSF



Fonte: ABNT (NBR 16970-1/2022)

De acordo com Teixeira e Simplicio (2018) as principais vantagens do *light steel framing* são: o alívio nas fundações devido à redução de peso e melhor distribuição de maneira mais uniforme pela edificação; melhoria do desempenho acústico nas paredes e no forro; facilidade, acessibilidade e agilidade na manutenção das instalações hidráulicas, elétricas, de ar condicionado e gás e a redução dos custos diretos e indiretos, com prazos reduzidos e ausência de perdas de material durante a obra.

De acordo com Pedroso *et al.* (2014) ainda se destacam vantagens em relação ao tempo de execução, que pode ser de até um terço do tempo que uma construção convencional levaria para sua finalização, e também o melhor desempenho térmico, o que diminui os custos com aquecimento ou refrigeração do imóvel. Nota-se também os baixos custos de manutenção da estrutura como vantagem.

Pedroso *et al.* (2014), por outro lado, apontam pontos negativos do método *light steel framing*. Como o sistema apresenta uma estrutura leve, acaba por possuir um número máximo de andares, não podendo ultrapassar cinco. Quando se utiliza um material frágil no revestimento interno, a parede e a estrutura podem ser danificadas ao pendurar objetos muito pesados.

Outro ponto a ser destacado é a falta de mão de obra especializada, já que o LSF é uma maneira inovadora de construção no Brasil, e ainda, pouco difundida (Pedroso *et al.*, 2014).

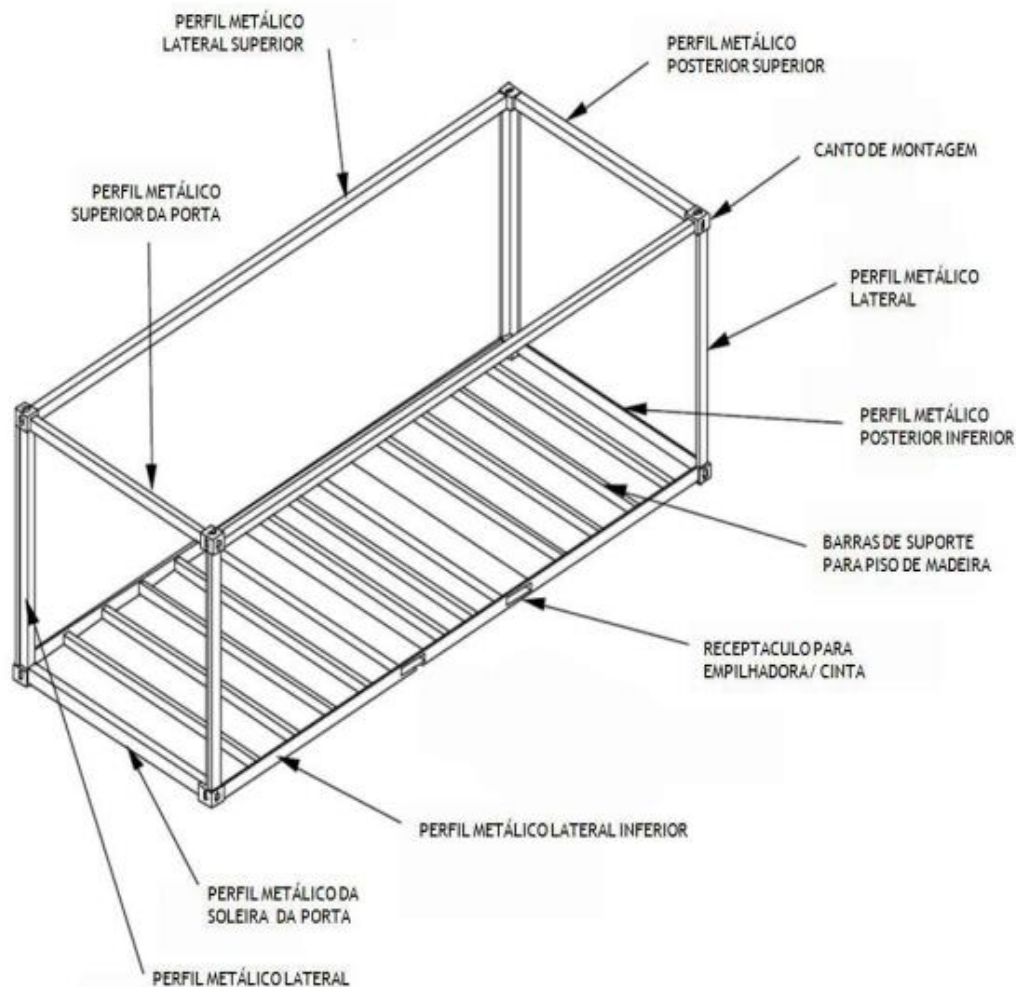
2.3.2.2 Contêineres

O contêiner é uma estrutura retangular feita de chapas metálicas altamente duráveis, compostas por metais não biodegradáveis, como aço, alumínio ou fibra. Sua finalidade principal era o transporte de cargas em navios e trens, o que resultava em economia significativa de tempo nos processos. Porém, por conta da regulamentação, o contêiner deve ser trocado após dez anos de uso (Barbosa *et al.*, 2017).

Dessa forma, o material que seria descartado pode ser utilizado para outras finalidades. Na indústria da construção civil, os contêineres são reaproveitados para criar novos imóveis, como residências, lojas e restaurantes, visando a redução de custos e os impactos ambientais. Além da rapidez na execução da obra, essa nova abordagem de construção é especialmente benéfica para o meio ambiente. É essencial destacar que, para que esses contêineres sejam reutilizados, é necessário um processo de descontaminação química, garantindo que estejam aptos para habitação (Barbosa *et al.*, 2017).

Segundo Almeida e Neves (2012) o contêiner pode ser construído com diversos materiais, dependendo do fim ao qual se destina. Os materiais mais utilizados são: aço *corten* nas laterais, aço reforçado nas vigas e colunas e aço galvanizado nas portas. O piso é confeccionado com vigas U ou I, soldadas. Sobre a estrutura de aço do piso, é instalado um assoalho de madeira com encaixes, coberto por uma espessa lâmina de compensado naval, suficientemente resistente para suportar pregos que fixam calços e travas, evitando que as mercadorias deslizem. Em geral, os tetos dos contêineres não requerem muitos reforços. Isso significa que não são projetados para suportar cargas excessivas e frequentemente sofrem danos. A Figura 6 exemplifica a estrutura de um contêiner, que neste caso pode ser utilizado como módulo na construção de edificações.

Figura 6 - Esquema estrutural de um contêiner



Fonte: Petronila (2015)

A utilização de contêineres também possui suas vantagens. Barbosa *et al.* (2017) citam o reaproveitamento e a alta resistência do material; rapidez e praticidade na execução e o baixo custo. A reutilização de contêineres é uma técnica econômica porque o tempo de construção é reduzido e não desperdiça recursos naturais além de muitas vezes não necessitar de fundações, aterros e terraplanagens.

Como desvantagem, mais uma vez é citada a demanda de mão de obra especializada e bem qualificada, uma vez que se necessita do conhecimento de todas as normas para a execução dessa técnica. Também existe a limitação do terreno para a movimentação do guindaste para a locomoção dos contêineres (Barbosa *et al.*, 2017).

2.3.3 Construção modular em madeira

De acordo com Pinto (2023) a construção modular em madeira pode se aplicar a residências, as quais são construídas em fábricas e posteriormente levadas ao local da construção, onde são montadas. Seu processo de produção envolve várias etapas, as quais incluem o projeto, fabricação, transporte e instalação. A fase de projeto tem grande importância, e por isso exige boa execução, de modo que a residência seja segura, durável e atenda a todas as exigências do cliente.

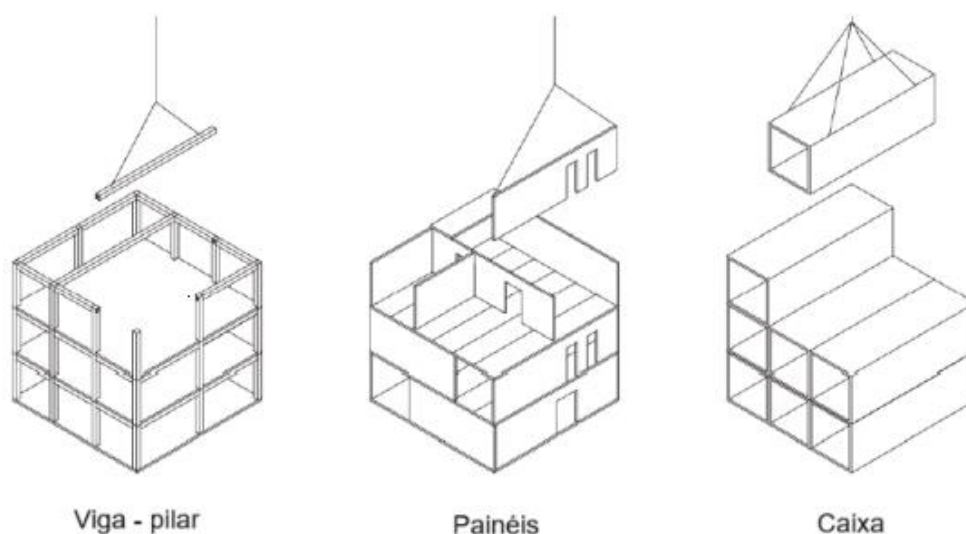
A personalização das residências em coordenação modular em madeira é versátil. O proprietário tem liberdade de escolher o aspecto exterior da casa, como o tipo da madeira, estilo e acabamento. As peças são produzidas em larga escala, em ambiente supervisionado e sob um meticuloso processo de garantia de qualidade (Pinto, 2023).

Para Barbosa (2023) destacam-se três tipos de sistemas modulares pré-fabricados em madeira:

- a) Sistema viga-pilar: Constituído por elementos estruturais, como vigas e pilares de madeira, que formam um "esqueleto", com a possibilidade de fechar ou não seus vãos com paredes de suporte;
- b) Sistema em painéis: o mais comum, pode ser composto por elementos sólidos, ou por painéis compostos por montantes de madeira maciça fechados por placas compostas por tiras de madeira prensadas, dispostas na mesma direção;
- c) Sistema tipo caixa: consiste em módulos fechados pré-fabricados, totalmente construídos em fábrica e transportados para a instalação no local da obra.

A Figura 7 demonstra os sistemas modulares de madeira citados.

Figura 7 - Tipos de sistemas construtivos modulares em madeira



Fonte: Adaptado de Carvalho; Jorge; Jerónimo (2020)

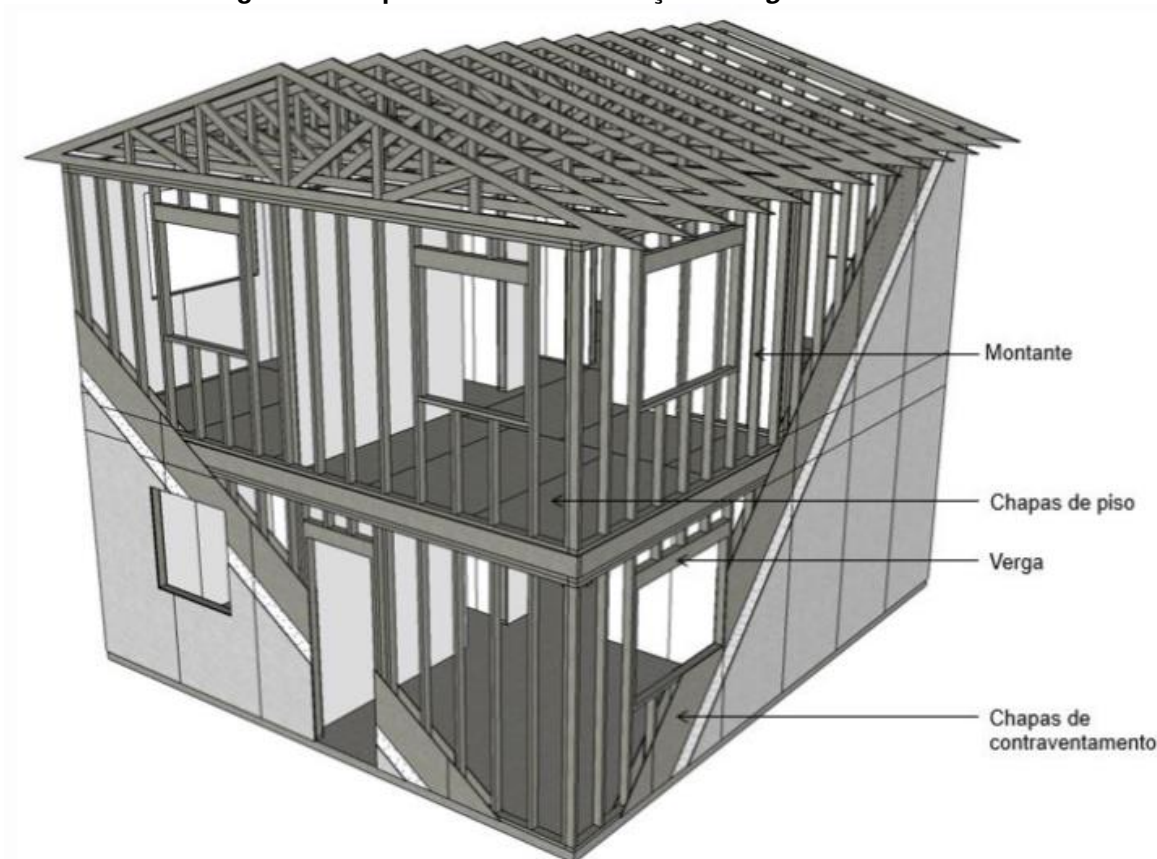
Comparando o ciclo de vida do concreto, do aço e da madeira, Caseiro (2013) conclui que a madeira demonstra um melhor desempenho em relação à emissão de poluentes no ar, à energia incorporada, à produção de poluentes na água, às emissões de gases e à geração de resíduos sólidos. Portanto, a madeira apresenta características e vantagens que a tornam um material essencial para a promoção da sustentabilidade em qualquer tipo de construção, desde que sua origem seja de florestas com manejo adequado ou de reflorestamento.

Segundo Caseiro (2013) outra vantagem da utilização da madeira é que este é um material versátil e permite fácil manipulação para adquirir diferentes formas e dimensões. Sua obtenção é relativamente simples e não demanda grande consumo de energia. Apesar de ser significativamente menos densa que o aço, sua resistência mecânica é notável, tornando-a, em muitos casos, mais resistente que o concreto convencional, graças às suas características específicas de resistência.

Um outro exemplo de construção modular em madeira é o *light wood frame*, que para residências, trata-se de um sistema construtivo industrializado, resistente e durável, baseado em perfis de madeira reflorestada tratada. Esses perfis são utilizados para formar painéis de piso, paredes e telhado, os quais podem ser combinados e revestidos com outros materiais. Esse método tem como objetivo principal melhorar o conforto térmico e acústico da edificação, além de protegê-la das intempéries e do fogo. Nos Estados Unidos, a tecnologia *light wood frame* é

empregada em 95% das casas construídas (Molina; Calil Junior, 2010). A Figura 8 demonstra o esquema de uma edificação construída em *light wood frame*.

Figura 8 - Esquema de uma edificação em *light wood frame*



Fonte: ABNT (NBR 16936/2023)

Como vantagens do sistema *light wood frame*, Vasques (2014) cita o tempo de obra reduzido; a utilização de madeira de reflorestamento; a redução de resíduos, uma vez que a obra é seca e limpa; a estabilidade do preço da matéria prima e a flexibilidade de projeto.

Já como desvantagens, Vasques (2014) cita a falta de mão de obra especializada; a altura das edificações limitadas a cinco pavimentos; a baixa oferta de ferramentas específicas e também a resistência do mercado a mudanças.

Também pode-se considerar como construção modular em madeira o sistema de tábuas e mata-junta, que segundo Batista (2007), foi um dos sistemas trazidos pelos imigrantes europeus ao sul do Brasil. A industrialização da extração de madeira das serrarias levou à padronização dos métodos de construção. Essa padronização facilitou a formação de um grande número de trabalhadores. O sistema de construção

era simples, com exemplos de casas modestas e plantas simplificadas, que eram fornecidas em kits pelas madeireiras.

Esse sistema se constitui da utilização de tábuas dispostas na vertical para as paredes. O fechamento dos espaços entre as tábuas é realizado com mata-juntas nas faces interna e externa, o que proporciona maior flexibilidade na modulação e permite ajustes, evitando o corte transversal das tábuas (Batista, 2007).

2.4 Construção modular no Brasil

A seguir são apresentados alguns estudos sobre a construção modular realizados no Brasil, de forma a contribuir com os avanços desse sistema construtivo.

2.4.1 Normatização

De acordo com Baldauf (2004) o Banco Nacional de Habitação (BNH) se dispôs, a partir de sua criação em 1946, a estimular a redução do custo da habitação através da racionalização do trabalho além de promover estudos e pesquisas que permitissem melhor planejamento e programação do desenvolvimento urbano. Por isso o BNH criou o Plano Nacional de Habitação, para extinguir o déficit habitacional e facilitar os meios de aquisição da casa própria a população brasileira. Portanto, a partir da década de 40 o Brasil passou a estudar a coordenação modular.

A partir de 1970 realizou-se um estudo contratado pelo BNH para se implantar a coordenação modular no Brasil utilizando dados de outros países, porém, não foram apresentados dados seguros sobre os resultados alcançados. Portanto, foi incluído no estudo o controle da produtividade na construção (Baldauf, 2004).

Segundo Greven e Baldauf (2007) ao total se somam 26 normas relacionadas à coordenação modular com datas de publicação entre 1976 e 1982 e são consideradas iniciativas para a implantação da coordenação modular no Brasil, mas, segundo a ABNT a norma vigente é a NBR 15873 de 2010. A construção modular, uma vez que engloba a construção pré-fabricada, também envolve a NBR 9062 para pré-fabricados exclusivamente de concreto armado. Existem também a NBR 16970-1 para estruturas de *light steel framing* e a NBR 16936 para *light wood frame*.

2.4.2 Estudos sobre construções modulares no Brasil

Entre as pesquisas sobre construção modular realizados no Brasil, Guimarães e Santos (2022) apresentam um estudo de caso do centro de tratamento anexo ao hospital M'Boi Mirim, de São Paulo, onde foram utilizados módulos volumétricos (módulos completos com as paredes e os chassis de piso e cobertura) com chassis metálico e paredes de painéis isotérmicos com preenchimento em Poliisocianurato. O anexo foi construído para suprir a demanda de leitos na pandemia do covid-19.

A execução ocorreu em quatro etapas, sendo: montagem dos chassis metálicos, construção de paredes, montagem dos módulos e acoplagem no local. Tudo passou por um controle de qualidade por meio de fichas de verificação contendo todos os itens, tolerâncias e pontos a serem observados. Foram construídos 70 módulos volumétricos tridimensionais no total, distribuídos entre 48 módulos para leitos, oito módulos para área de apoio e 14 módulos na passarela de acesso (Guimarães; Santos, 2022). A Figura 9 demonstra a disposição dos módulos, destacando a unidade modular, em vermelho.

Figura 9 - Disposição dos módulos do Hospital M'Boi Mirim



Fonte: Adaptado de Guimarães; Santos (2022)

Os autores apresentam em seu estudo uma economia de tempo de 20% a 50% no cronograma de obra, com a construção modular, e também potencial de economia dos custos totais de 20% a 25% em comparação ao método convencional. O estudo também revela que, enquanto a construção convencional gera um desperdício de 8% em materiais e mão de obra, a construção modular tem o potencial de reduzir esse índice para 1,8%.

O projeto do centro de tratamento do hospital M'Boi Mirim foi planejado para ser entregue em um prazo de 40 dias, porém foi entregue sete dias antes do previsto. Foi o primeiro hospital a ser produzido pela metodologia modular no Brasil e em vista disso, tanto os métodos como os resultados apresentaram grande eficiência (Guimarães; Santos, 2022).

Outro estudo sobre a construção modular foi o de Almeida (2015), no qual foram apresentados quatro sistemas comumente usados em canteiros de obras de grande porte: painéis estruturais termo isolantes (PETI); placas de concreto laminar; OSB e escamas de madeira.

No estudo de Almeida (2015) foram considerados os seguintes parâmetros para a comparação dos sistemas: propriedade de adequação, adequação ao projeto, adequação ao local inserido, adequação à outras tipologias construtivas, peso, condições térmicas e acústicas, tempo de montagem, durabilidade, facilidade de montagem e desmontagem, resistência, acabamentos, limpeza e preço.

Todos os sistemas estudados pelo autor demonstraram a possibilidade de adequação, porém o sistema de concreto laminar foi o que mais evidenciou a dificuldade para esse fim, pois para que houvesse possibilidade de mudança, seria necessário que as ferramentas de fábrica fossem modificadas. O sistema que mais apresentou facilidade em adequação projetual foi o PETI, pois há a facilidade de corte dos painéis no local da construção.

Outro resultado da pesquisa mostrou que o sistema que possui menor carga é o OSB, que por sua vez apresenta desempenho ruim na questão térmica e acústica, já que possui espessura reduzida e, portanto, favorece a transferência de calor e ruídos. Em relação ao preço, o autor concluiu que os materiais mais duráveis e mais resistentes são mais onerosos. Há outras conclusões apresentadas pelo autor sobre os respectivos materiais que não serão tratadas neste trabalho.

Costa *et al.* (2023) também apresentam um estudo sobre a aplicação da construção modular na engenharia civil, que envolve a escolha entre alvenaria convencional e a construção modular. No estudo foi realizada uma pesquisa descritiva sobre a construção modular, de modo abrangente, a qual envolve a análise de custo, tempo, qualidade, sustentabilidade e flexibilidade. Os principais resultados do trabalho foram:

- a) A construção modular exige maior especialização de mão de obra devido às técnicas específicas envolvidas;

- b) Em relação ao prazo, estudos mostram que a adoção do sistema de construção modular reduz o tempo em quase 60% em comparação à alvenaria, pois resulta em uma redução significativa na mão de obra;
- c) Em relação aos custos, destacam-se alguns pontos que justificam a sua variação, como por exemplo: menor desperdício de materiais, a eficiência da produção, a rapidez na execução, o menor impacto climático e a previsibilidade de custos. Salienta-se que a relação dos custos pode variar de acordo com a complexidade e escala do projeto e as condições locais.

Costa *et al.* (2023) concluem que a escolha entre alvenaria convencional e construção modular depende dos requisitos específicos do projeto, pois ambos têm vantagens e desvantagens, mas a decisão deve ser tomada com base nas características individuais de cada projeto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa em questão foi realizada através de análise comparativa de custo e prazo de execução entre dois métodos construtivos. Foram realizados os orçamentos detalhados de uma sala comercial executada no método convencional (estrutura de concreto armado e alvenaria de tijolos cerâmicos para vedação) e da mesma sala executada com a construção modular, utilizando módulos celulares com estrutura em aço galvanizado e paredes de concreto reforçado com fibras de vidro.

Foi definida a tipologia comercial, em função deste tipo de módulo ser mais aplicado atualmente no mercado para este tipo de obra.

3.1 Caracterização da pesquisa

A pesquisa se caracteriza como um estudo de caso pois, segundo Gil (2002), esse tipo de pesquisa envolve uma análise profunda e abrangente de um ou poucos objetos, visando obter um entendimento amplo e detalhado que pode ser difícil de alcançar com outros métodos de pesquisa.

De acordo com Gil (2002) o estudo de caso pode se aplicar em pesquisas que busquem:

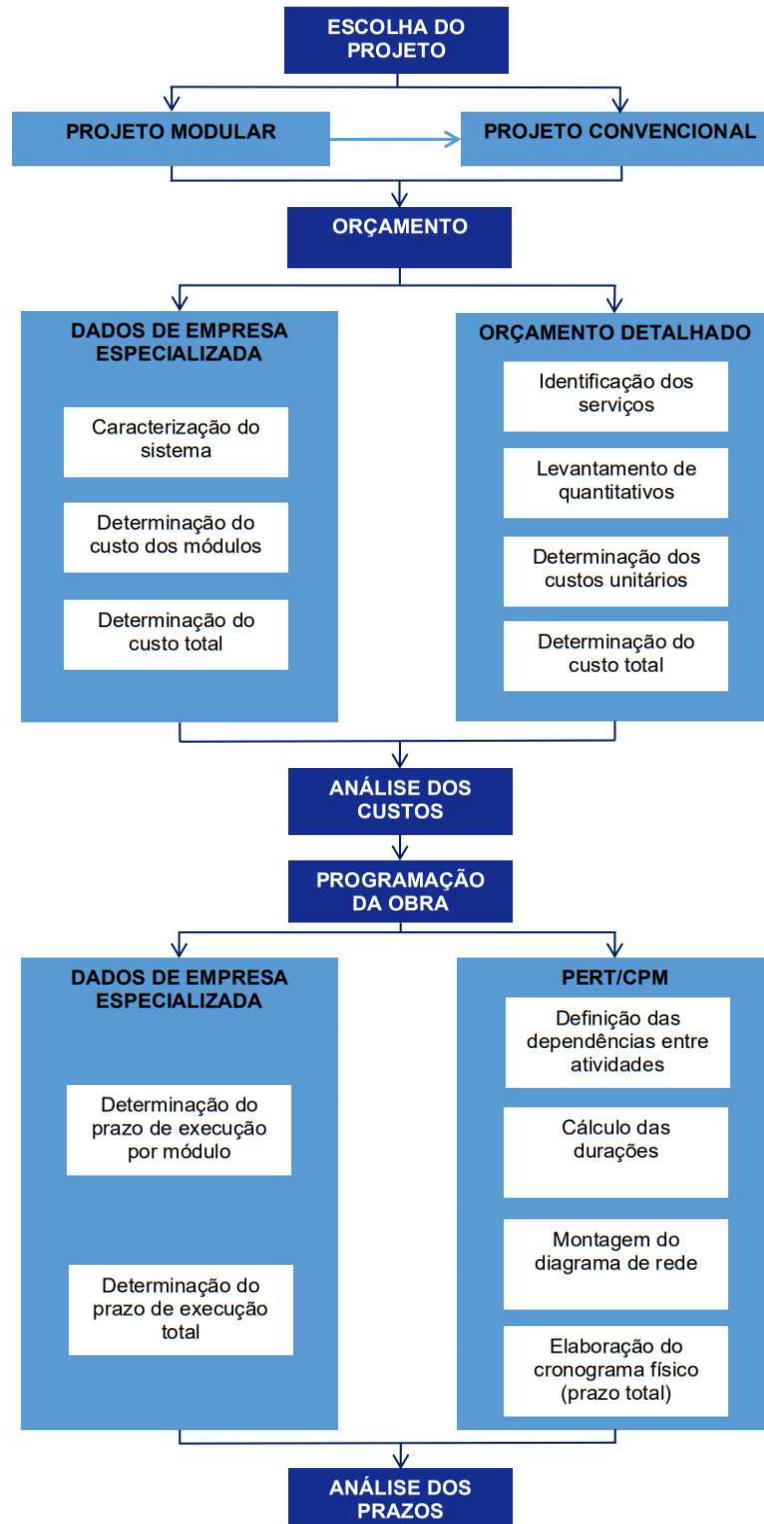
- a) Explorar cenários da vida real cujos limites não estão nitidamente delineados;
- b) Manter a integridade do objeto de estudo;
- c) Contextualizar o ambiente no qual uma determinada pesquisa está sendo conduzida;
- d) Criar suposições ou elaborar teorias;
- e) Analisar as variáveis que causam determinado fenômeno em situações muito complexas, onde levantamentos e experimentos não são viáveis.

O objetivo de um estudo de caso é explorar detalhadamente uma entidade específica. O propósito é compreender profundamente como e por que essa entidade é como é, destacando suas características e identidade, especialmente nos aspectos relevantes para o pesquisador. Este tipo de pesquisa é particularista, focando deliberadamente em uma situação única ou especial, buscando identificar os elementos essenciais e distintivos para contribuir para a compreensão mais ampla de um fenômeno de interesse (Ponte, 2006).

3.2 Etapas da pesquisa

A Figura 10 demonstra as etapas da realização da pesquisa através de um fluxograma.

Figura 10 - Etapas da pesquisa



Fonte: Autor (2024)

A seguir são detalhadas cada uma das etapas.

3.3 Escolha do projeto

A pesquisa foi realizada utilizando o projeto de uma sala comercial, o qual foi fornecido pela empresa denominada “A”, que trabalha com projeto e execução de módulos celulares, feitos com estrutura em aço galvanizado e paredes de concreto reforçado com fibras de vidro.

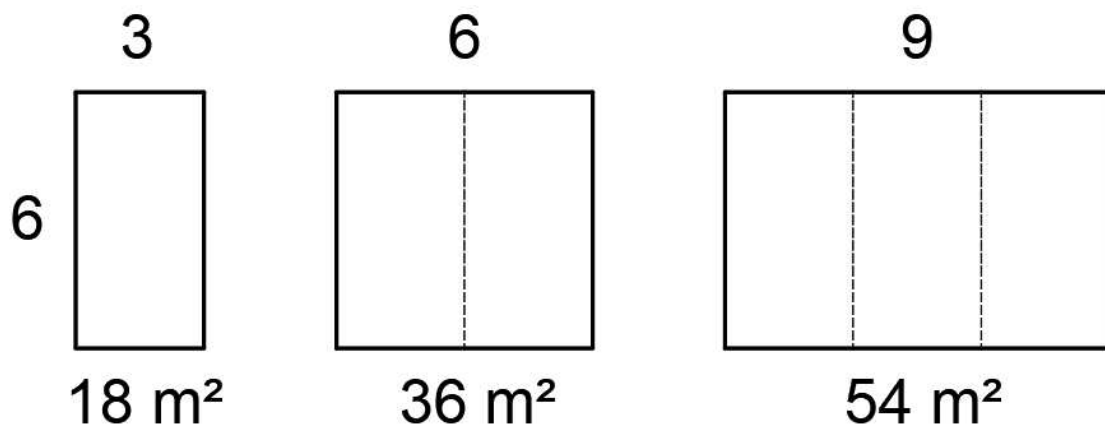
Desta forma, foi desenvolvido o projeto para o sistema construtivo modular com as medidas modulares fornecidas pela empresa A. A partir destas medidas, foi desenvolvido o projeto correspondente para o método convencional.

Durante toda a pesquisa os dois sistemas analisados foram denominados como Projeto Modular e Projeto Convencional.

3.3.1 Projeto modular

Para definir o projeto modular, foram consideradas as dimensões modulares fornecidas pela empresa A. A Figura 11 apresenta as dimensões padrão.

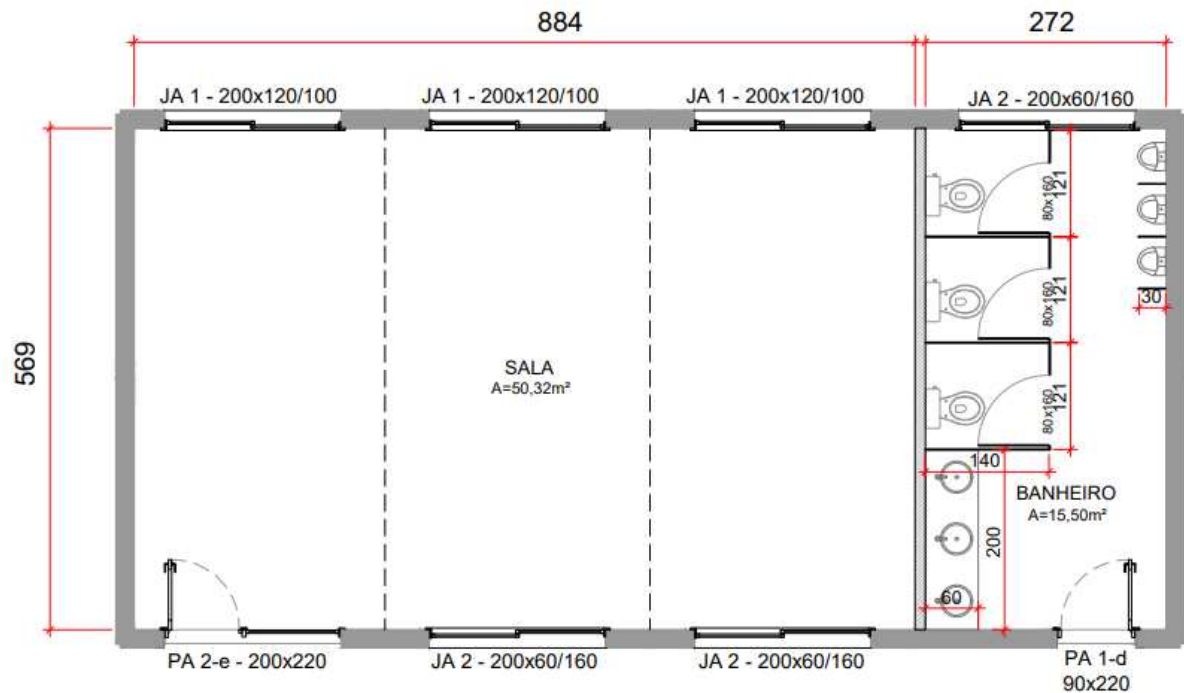
Figura 11 - Dimensões modulares



Fonte: Adaptado de Empresa A (2024)

A partir disso foi desenvolvido o projeto modular utilizado nesta pesquisa, que contempla o módulo de 54 m² (sala principal) e um módulo de 18 m² (banheiro), totalizando 72m², como apresentado na Figura 12, a qual apresenta dimensões em centímetros.

Figura 12 - Projeto modular



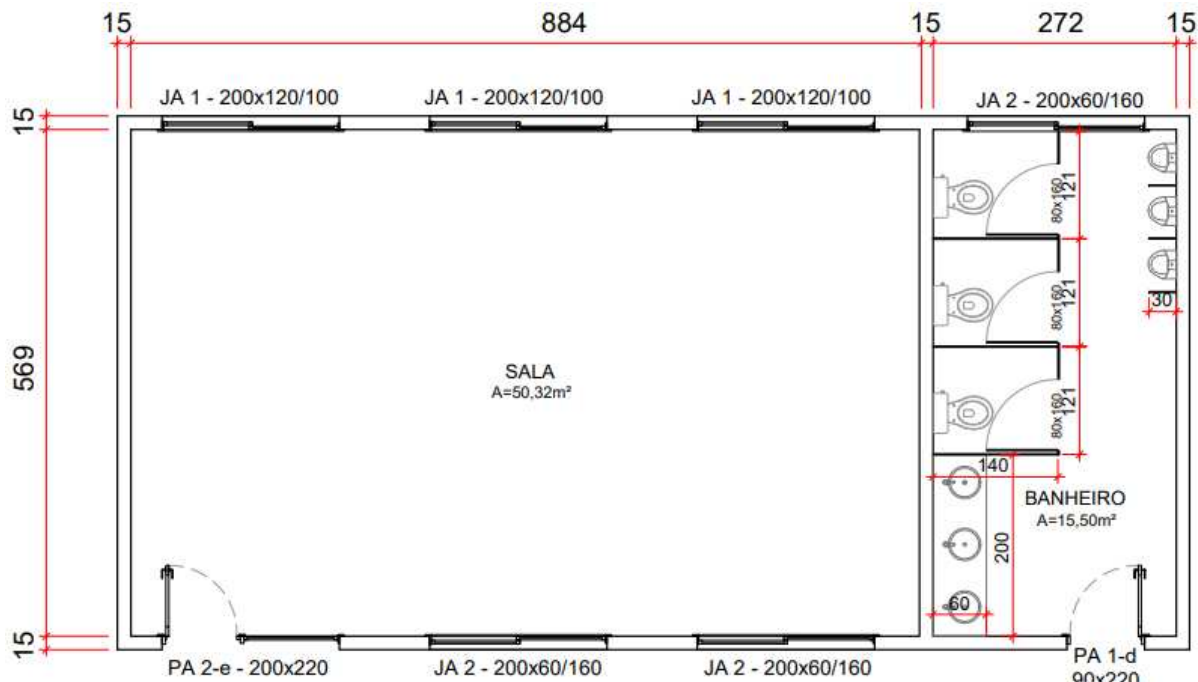
Fonte: Empresa A (2024)

As linhas indicadas no projeto mostram a delimitação dos módulos. As paredes externas são em concreto reforçado com fibras de vidro. Já as paredes internas são em *drywall*.

3.3.2 Projeto convencional

A Figura 13 exibe o projeto utilizado no método convencional, desenvolvido a partir do projeto modular com as dimensões em centímetros.

Figura 13 - Projeto convencional



Fonte: Adaptado de Empresa A (2024)

No projeto convencional foram especificadas paredes internas e externas em alvenaria de bloco cerâmico nas dimensões de 9X19X29 cm.

3.4 Orçamento

O orçamento foi realizado de forma diferente, para cada sistema construtivo analisado. Isso porque a construção modular tem seu custo estimado de forma global. A seguir são apresentados os procedimentos para determinação dos custos dos dois projetos.

3.4.1 Orçamento para o projeto modular

Todas as informações referentes ao projeto modular foram obtidas com a empresa A.

Inicialmente foi realizada a caracterização do sistema modular, enfocando todas as etapas construtivas, dependências entre as atividades, procedimentos de execução, materiais, equipamentos e ferramentas utilizadas.

Dessa forma foi possível obter maior entendimento sobre a construção modular abordada e a correta realização do orçamento e programação da obra sendo possível conhecer as especificações técnicas e acabamentos.

Posteriormente, foram levantados os custos de cada módulo e custo total do projeto, incluindo todos os serviços (material, mão de obra e frete) considerando a execução na cidade de Toledo, Paraná.

Foram considerados no projeto modular: revestimento cerâmico nas paredes do banheiro, piso em porcelanato, forro de gesso, esquadrias em alumínio (portas e janelas), bancadas em granito, massa e pintura acrílica nas paredes.

3.4.2 Orçamento para o projeto convencional

Os custos para o projeto convencional foram obtidos por meio da realização do orçamento detalhado, seguindo as etapas descritas a seguir.

3.4.2.1 Identificação dos serviços

A identificação dos serviços refere-se à definição das etapas que foram consideradas, com materiais, mão de obra e equipamentos, na elaboração do orçamento. O Quadro 1 apresenta os grupos e os serviços considerados em cada um deles.

Quadro 1 – Serviços considerados no orçamento do projeto convencional

Grupo de serviço	Serviço
Serviços preliminares e infraestrutura	Locação de obra; execução de estacas (incluindo perfuração, armação, concretagem e arrasamento); execução de blocos (incluindo escavação, fôrmas, armação e concretagem) e execução de vigas baldrame (incluindo escavação, fôrmas, armação, concretagem, impermeabilização e reaterro).
Superestrutura	Execução de pilares do pavimento térreo e platibanda (incluindo fôrmas, armação e concretagem); execução de vigas do pavimento térreo e platibanda (incluindo fôrmas, armação e concretagem)
Alvenaria	Execução de alvenaria de bloco cerâmico do pavimento térreo e platibanda (incluindo vergas e contravergas).
Cobertura	Execução de estrutura de cobertura (incluindo instalação de telhas de fibrocimento, calhas e

	rufos); instalação de forro de PVC; instalação de chapim.
Revestimentos	Execução de chapisco e emboço paulista (interno e externo); emassamento, lixamento e pintura de paredes externas e interna da sala; revestimento cerâmico na altura inteira do banheiro.
Pisos	Execução de piso e revestimento cerâmico (incluindo rodapé).
Louças e metais	Instalação de vasos sanitários, mictórios, pias, acessórios, divisórias e tapa vistas de granito.
Esquadrias	Instalação de portas e janelas.
Serviços complementares	Limpeza geral

Fonte: Autor (2024)

As instalações elétricas e hidrossanitárias foram estimadas, por meio da aplicação dos percentuais apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativas de custos por etapa de obra (%)	
Etapas construtivas	Prédio sem elevador médio
Serviços Preliminares	0,3
Movimento De Terra	0,5
Fundações Profundas	3,5
Infraestrutura	1,9
Superestrutura	31,2
Vedação	3,6
Esquadrias	6
Cobertura	-
Instalações Hidráulicas	11,55
Instalações Elétricas	4,95
Impermeabilização e Isolação Térmica	1,65
Revestimento Pisos, Paredes e Forros	26,2
Vidros	2,35
Pintura	3,45
Serviços Complementares	0,45
Elevadores	2,6

Fonte: Adaptado de PINI (2023)

Com isso, após a realização do orçamento, foi adicionado o percentual de 16,5%, para incluir os custos das instalações hidráulicas e elétricas.

3.4.2.2 Levantamento de quantitativos

As quantidades de cada serviço foram calculadas com base na análise dos projetos arquitetônico e estrutural.

3.4.2.3 Determinação dos custos unitários

Após a identificação dos serviços e do levantamento de suas quantidades foi realizado o levantamento dos custos unitários para cada um.

Esses custos foram obtidos das tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que é uma das principais referências para realização de orçamentos no setor da construção civil.

Os custos do SINAPI são calculados mensalmente com base na coleta de dados de preços de uma ampla gama de itens, incluindo materiais, mão de obra, equipamentos e serviços. Nesta pesquisa foi utilizada a tabela do mês de agosto de 2024, na versão não desonerada, que considera os encargos sociais completos.

A Figura 14 apresenta exemplos de custos de alguns serviços constantes na Tabela do SINAPI. Esses custos consideram todos os insumos, como mão de obra, materiais e equipamentos.

Figura 14 - Exemplo de custos de serviços do SINAPI

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	ORIGEM DE PREÇO	CUSTO TOTAL
VÍNCULO.....: CAIXA REFERENCIAL				
92919	ARMAÇÃO DE ESTRUTURAS DIVERSAS DE CONCRETO ARMADO, EXCETO VIGAS, PILAR ES, LAJES E FUNDAÇÕES, UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	AS	11,96
92921	ARMAÇÃO DE ESTRUTURAS DIVERSAS DE CONCRETO ARMADO, EXCETO VIGAS, PILAR ES, LAJES E FUNDAÇÕES, UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	AS	9,73
92922	ARMAÇÃO DE ESTRUTURAS DIVERSAS DE CONCRETO ARMADO, EXCETO VIGAS, PILAR ES, LAJES E FUNDAÇÕES, UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	AS	9,15
92923	ARMAÇÃO DE ESTRUTURAS DIVERSAS DE CONCRETO ARMADO, EXCETO VIGAS, PILAR ES, LAJES E FUNDAÇÕES, UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	AS	10,09
92924	ARMAÇÃO DE ESTRUTURAS DIVERSAS DE CONCRETO ARMADO, EXCETO VIGAS, PILAR ES, LAJES E FUNDAÇÕES, UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 25,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	AS	9,84

Fonte: CAIXA (2024)

Para definição dos custos unitários de cada serviço foram utilizadas especificações técnicas e de acabamento semelhantes das utilizadas no orçamento do projeto modular.

3.4.2.4 Determinação do custo total

O custo de cada serviço foi obtido por meio da multiplicação do custo unitário, retirado do SINAPI, pela sua respectiva quantidade.

Em seguida foi elaborada a planilha do orçamento detalhado, que apresenta o custo total do projeto, obtido a partir da soma dos custos de todos os serviços.

Em seguida foi realizada a análise de custos dos dois projetos.

3.5 Programação da obra

Assim como o orçamento, a programação da obra foi realizada de forma diferente, para cada sistema construtivo analisado, como descrito a seguir.

3.5.1 Programação da obra para o projeto modular

As informações sobre execução da obra no sistema modular, como durações das etapas e dependências entre atividades foram obtidas por meio de levantamento de dados na empresa A.

3.5.2 Programação da obra para o projeto convencional

A programação de obra no projeto convencional foi obtida por meio do método *Program Evolution and Review Technique* (PERT)/ *Critical Path Method* (CPM) ou Técnica de Avaliação e Revisão de Programas/Método do Caminho Crítico.

Para aplicação do método foram realizadas as seguintes etapas:

- a) Definição das dependências entre atividades: definição da ordem de execução de cada atividade;
- b) Cálculo das durações: as durações de cada atividade foram calculadas por meio da multiplicação da sua quantidade pelo seu coeficiente de produtividade da mão de obra (retirado do SINAPI);
- c) Montagem do diagrama de rede: foi realizada a representação gráfica das atividades, mostrando a interdependência entre as mesmas;

- d) Elaboração do cronograma físico: foi realizada a representação em forma de cronograma de barras, que mostra o início e término de cada atividade, bem como possíveis folgas. Neste cronograma é possível observar a duração total para execução do projeto convencional.

Por fim também foi analisado, de forma comparativa, o prazo de execução de cada projeto.

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados da pesquisa, após a realização das etapas apresentadas na metodologia. Inicialmente são apresentados os resultados do projeto modular (caracterização e custos) e em seguida os resultados sobre o projeto convencional. Por último é apresentada a comparação entre os prazos de execução.

4.1 Orçamento para o projeto modular

Neste tópico apresenta-se inicialmente uma descrição das etapas do sistema construtivo e em seguida o custo total para sua execução na cidade de Toledo, Paraná.

4.1.1 Fundações

As fundações utilizadas na construção modular são do tipo rasas. São utilizadas sapatas, feitas *in loco*. Os módulos são diretamente apoiados nas estruturas de fundação. O piso cumpre o papel de um radier. A Figura 15 ilustra um elemento de fundação.

Figura 15 - Elemento de fundação



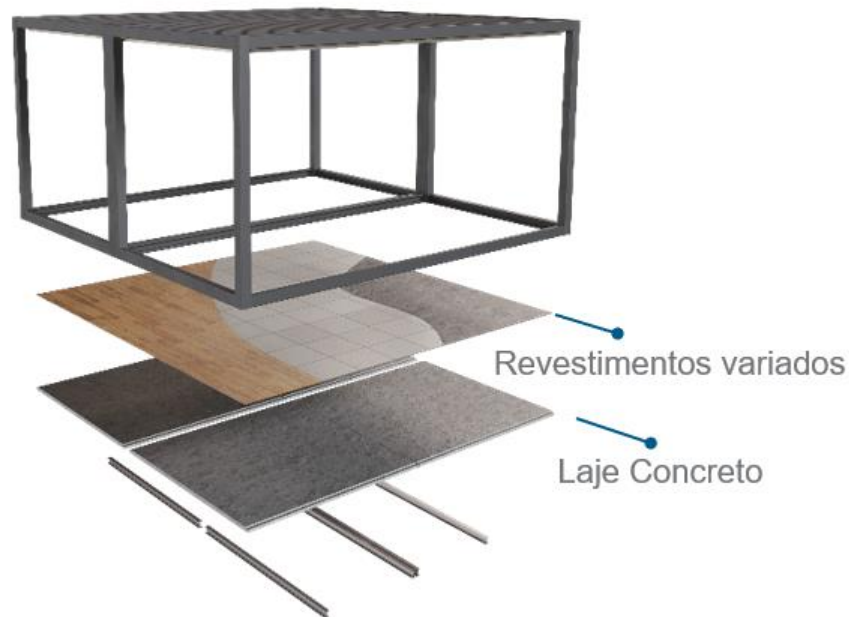
Fonte: Empresa A (2024)

Usualmente, se utilizam seis sapatas por módulo, de modo que as cargas fiquem bem distribuídas.

4.1.2 Piso

O piso utilizado no módulo é executado em concreto, podendo ficar aparente ou revestido, com qualquer tipo de piso existente no mercado (cerâmica, porcelanato, vinílico). A Figura 16 ilustra a estrutura do piso do sistema modular.

Figura 16 - Esquema do piso



Fonte: Adaptado de Empresa A (2024)

O piso de concreto confere à edificação a robustez típica de construções convencionais, além de oferecer resistência à umidade e facilidade de manutenção.

4.1.3 Estrutura dos módulos

Os módulos utilizam uma estrutura metálica de aço galvanizado como suporte. Sendo autoportante, as paredes internas e externas podem ser removidas para unificação de ambientes, bem como para inserção de revestimentos de fachadas variados, como vidro temperado e madeira. A Figura 17 demonstra um esquema da estrutura utilizada.

Figura 17 - Esquema da estrutura de aço galvanizado



Fonte: Empresa A (2024)

O pé direito possui algumas medidas personalizadas de acordo com a necessidade do cliente. Neste trabalho foi considerado pé direito interno de 2,60 metros. A estrutura suporta até três pavimentos, sendo útil em caso de ampliações verticais. Para ampliações horizontais, se utilizam chapas metálicas no piso e nas paredes e a fixação é realizada com solda, a qual é executada em canteiro de obras. A Figura 18 apresenta um exemplo de chapa metálica soldada.

Figura 18 - Chapa metálica para junção



Fonte: Empresa A (2024)

A junção mostrada na imagem deve ser completada. Neste caso é lançado concreto no local, feito o preenchimento e posteriormente se executa o revestimento. No lado externo se utiliza gesso acartonado para preenchimento das emendas das paredes.

4.1.4 Cobertura

Para a estrutura do telhado, se utilizam terças metálicas, e são instaladas telhas trapezoidais de 0,65 mm, apresentadas na Figura 19.

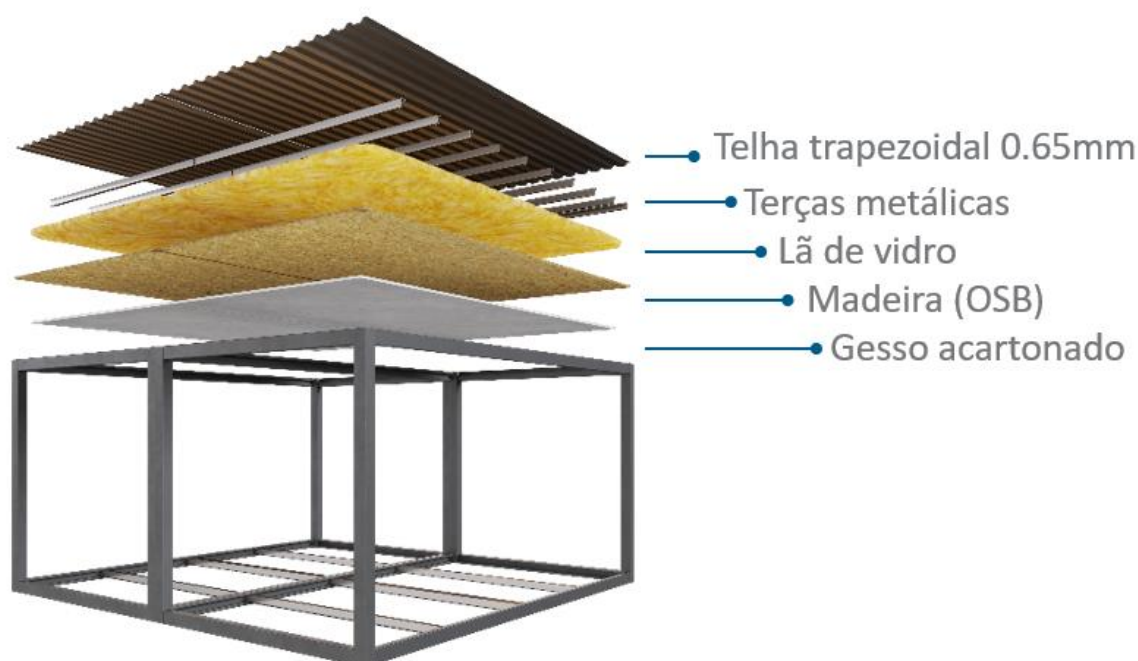
Figura 19 - Telhas metálicas



Fonte: Empresa A (2024)

O forro interno é de gesso acartonado e é instalado sob uma chapa de madeira em OSB, que é um painel com tiras de madeira dispostas em uma mesma direção. Acima da chapa de madeira há uma manta de lã de vidro para conferir conforto térmico e acústico. A Figura 20 demonstra as camadas citadas.

Figura 20 - Camadas da cobertura



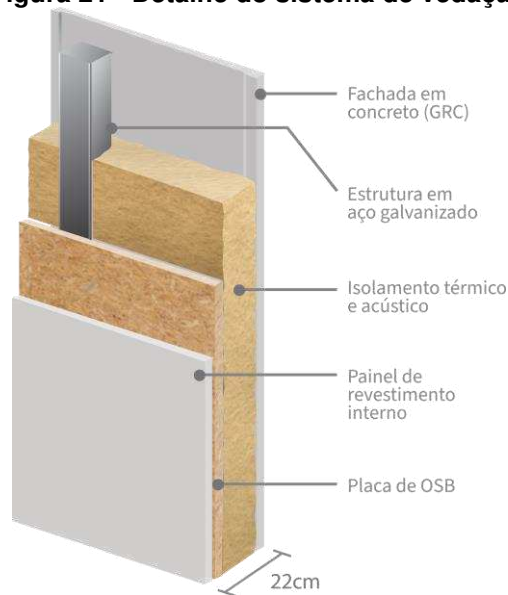
Fonte: Adaptado de Empresa A (2024)

O sistema de cobertura possui aprovação nos ensaios de estanqueidade e capacidade de suporte de acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2021). Também são utilizadas duas calhas com condutores verticais para o escoamento.

4.1.5 Paredes

As paredes são formadas por um sistema de vedação vertical interno e externo, apresentando 22 centímetros de espessura total.

Na parte interna da edificação há o painel de revestimento, podendo ser com ou sem cerâmica, sob o qual se utiliza placas de OSB. Na parte externa se utiliza placas de concreto reforçado com fibras de vidro (GFRC), e no meio, junto à estrutura de aço galvanizado encontra-se uma camada de lã de vidro que confere à edificação o isolamento térmico e acústico. A Figura 21 demonstra um esquema do sistema de vedação.

Figura 21 - Detalhe do sistema de vedação

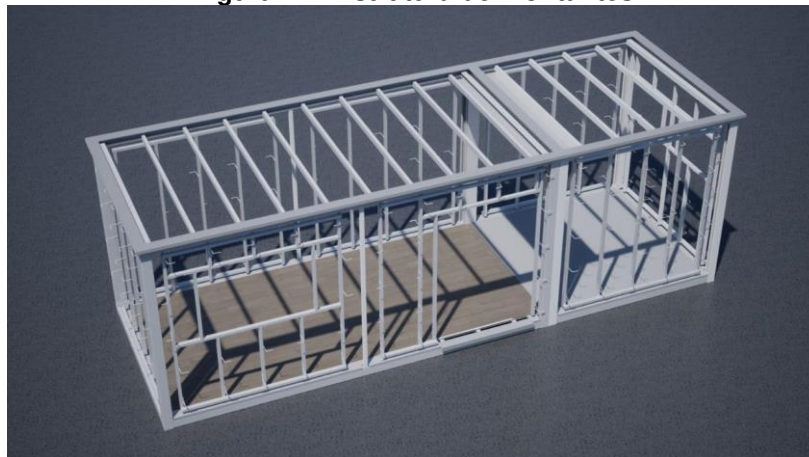
Fonte: Empresa A (2024)

Quando se deseja realizar uma divisão interna na edificação, se utiliza o gesso acartonado e para áreas molhadas são especificadas placas de gesso resistentes a umidade.

Nas paredes, já são previstos os furos para as instalações elétricas e hidrossanitárias.

4.1.6 Esquadrias

As esquadrias utilizadas no sistema modular são de alumínio. Os montantes já são previstos na estrutura de aço galvanizado, como demonstra a Figura 22.

Figura 22 - Estrutura de montantes

Fonte: Empresa A (2024)

Este sistema modular possibilita a utilização dos mais diversos modelos e tamanhos de esquadrias.

4.1.7 Detalhes arquitetônicos e acabamentos

Há diversas possibilidades de detalhes e acabamentos para o sistema modular. Pode-se optar pela cor da estrutura do módulo, sendo preta ou branca; há também opções de cores para as telhas, sendo natural, brancas ou pintadas; e as cores das esquadrias também podem ser escolhidas. Os painéis externos de GFRC também podem ser da cor branca, cinza ou pintada. A Figura 23 demonstra um exemplo do acabamento interno aplicado em uma edificação.

Figura 23 - Acabamento interno



Fonte: Empresa A (2024)

Há também a possibilidade de diversos modelos para esconder a cobertura, chamado de sobrecobertura, e possibilidade de ampliação e composição com outros sistemas construtivos.

4.1.8 Desempenho e habitabilidade

O sistema estudado foi ensaiado em aproximadamente 30 itens da norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2021), garantindo os requisitos do usuário da edificação em relação à segurança, habitabilidade e sustentabilidade, sendo eles:

- a) Térmico;
- b) Lumínico;
- c) Acústico de fachada e entre unidades, ruído aéreo e impacto vertical;
- d) Mecânico de corpo mole, corpo duro, cargas concentradas, cargas suspensas em paredes e forros;
- e) Estanqueidade de fachada, piso e esquadrias, choque térmico e permeabilidade;
- f) Resistência ao arrancamento, estanqueidade, caminhamento e impacto em sistema de cobertura;
- g) Reação e resistência ao fogo do sistema de vedação e cobertura (30 e 60 minutos).

A empresa executora do sistema modular também dispõe de módulos adaptados para pessoas com deficiência, garantindo assim a acessibilidade da edificação.

4.1.9 Custo total do projeto modular

O custo total do projeto modular obtido com a empresa A, considerando a obra finalizada, pronta para o uso, benefícios e despesas indiretas (BDI) e o frete da cidade de Ivoti, Rio Grande do Sul para a cidade de Toledo, Paraná apresenta-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Custo total do projeto modular

Serviço	Total
Construção	R\$ 489.843,86
Frete + BDI	R\$ 40.000,00
Total	R\$ 529.843,86

Fonte: Autor (2024)

Portanto, o custo total para o projeto modular no cenário descrito é de R\$529.843,86, que equivale a R\$7.358,94/m².

4.2 Orçamento para o projeto convencional

A partir dos serviços descritos no Quadro 1, foi realizada a quantificação de cada um através do projeto arquitetônico e estrutural.

Os próximos tópicos apresentam os custos de cada grupo de serviço, os quais foram obtidos através da multiplicação de seu valor unitário, obtido do serviço da tabela do SINAPI, e das quantidades.

4.2.1 Serviços preliminares e infraestrutura

A Tabela 3 apresenta os custos dos serviços preliminares e da infraestrutura.

Tabela 3 - Custos dos serviços preliminares e infraestrutura

Serviço	Custo Unitário	Quantidade	Total
Serviços Preliminares			
Locação da obra	R\$ 89,94	45,96 m	R\$ 4.133,64
Estacas			
Perfuração, armação e concretagem	R\$ 93,12	48 m	R\$ 4.469,76
Arrasamento	R\$ 22,18	16 un	R\$ 354,88
Blocos			
Escavação manual	R\$ 122,62	3,3 m³	R\$ 404,65
Montagem, colocação e desmontagem de fôrma	R\$ 160,82	6,66 m²	R\$ 1.071,06
Armação – Aço CA60 – 5,0 mm	R\$ 22,79	47,09 kg	R\$ 1.073,20
Armação – Aço CA50 – 8,0 mm	R\$ 17,34	16,73 kg	R\$ 290,05
Armação – Aço CA50 – 10,0 mm	R\$ 14,89	27,91 kg	R\$ 415,57
Armação – Aço CA50 – 12,5 mm	R\$ 11,14	11,45 kg	R\$ 127,60
Concretagem	R\$ 725,55	1,65 m³	R\$ 1.197,16
Vigas Baldrame			
Escavação manual	R\$ 134,90	4,102 m³	R\$ 553,36
Montagem, colocação e desmontagem de fôrma	R\$ 145,94	29,3 m²	R\$ 4.276,04
Armação – Aço CA60 – 5,0 mm	R\$ 18,65	46,91 kg	R\$ 874,85
Armação – Aço CA50 – 8,0 mm	R\$ 15,06	70,64 kg	R\$ 1.063,78
Armação – Aço CA50 – 10,0 mm	R\$ 13,22	19,18 kg	R\$ 253,58
Concretagem	R\$ 725,55	1,65 m³	R\$ 1.197,16
Impermeabilização	R\$ 44,63	29,3 m²	R\$ 1.307,66
Reaterro manual de valas	R\$ 32,18	3,7 m³	R\$ 119,07
Total			R\$ 23.183,08

Fonte: Autor (2024)

Os custos referentes aos serviços preliminares e infraestrutura totalizaram R\$ 23.183,08. É possível perceber que os custos mais representativos são os de

perfuração, armação e concretagem de estacas (19,28%), montagem, colocação e desmontagem de fôrmas de vigas baldrame (18,44%), e locação de obra (17,83%).

4.2.2 Superestrutura

A Tabela 4 apresenta os custos dos serviços referentes a superestrutura.

Tabela 4 - Custos da superestrutura			
Serviço	Custo Unitário	Quantidade	Total
Pilares			
Montagem, colocação e desmontagem de fôrmas	R\$ 250,74	27,72 m ²	R\$ 6.950,51
Armação – Aço CA60 – 5,0 mm	R\$ 15,22	31,91 kg	R\$ 485,66
Armação – Aço CA50 – 10,0 mm	R\$ 11,02	95,73 kg	R\$ 1.054,91
Armação – Aço CA50 – 12,5 mm	R\$ 9,17	33,55 kg	R\$ 307,61
Concretagem	R\$ 944,59	1,323 m ³	R\$ 1.249,69
Vigas			
Montagem, colocação e desmontagem de fôrmas	R\$ 340,02	55,77 m ²	R\$ 18.962,92
Armação – Aço CA60 – 5,0 mm	R\$ 15,22	86,18 kg	R\$ 1.311,69
Armação – Aço CA50 – 10,0 mm	R\$ 12,58	127,55 kg	R\$ 1.604,52
Concretagem	R\$ 967,63	3,0383 m ³	R\$ 2.939,95
Total			R\$ 34.867,46

Fonte: Autor (2024)

Os custos referentes à superestrutura (pilares e vigas) totalizam R\$ 34.867,46. Os custos mais representativos no custo total da superestrutura são dos serviços de montagem, colocação e desmontagem de fôrmas de vigas (54,39%) e montagem, colocação e desmontagem de fôrmas de pilares (19,93%).

4.2.3 Alvenaria

A Tabela 5 apresenta o custo da alvenaria, com os serviços de vergas e contravergas.

Tabela 5 - Custos da alvenaria			
Serviço	Custo Unitário	Quantidade	Total
Alvenaria	R\$ 65,22	83,3 m ²	R\$ 5.563,27
Vergas	R\$ 70,01	19,7 m	R\$ 1.379,20
Contravergas	R\$ 51,87	15,6 m	R\$ 809,17
Total			R\$ 7.751,64

Fonte: Autor (2024)

Após calculados os custos da alvenaria, com vergas e contravergas, chegou-se ao total de R\$ 7.751,64, sendo 71,77% dos custos referentes a alvenaria de bloco cerâmico.

4.2.4 Cobertura

A Tabela 6 apresenta os custos da cobertura.

Tabela 6 - Custos da cobertura			
Serviço	Custo Unitário	Quantidade	Total
Execução da estrutura de cobertura	R\$ 26,47	66,28 m ²	R\$ 1.754,43
Instalação de telhas	R\$ 48,67	66,28 m ²	R\$ 3.225,85
Calhas	R\$ 65,88	11,69 m	R\$ 770,14
Tubos de queda	R\$ 36,73	6,3 m	R\$ 231,40
Rufos	R\$ 54,02	23,03 m	R\$ 1.244,08
Chapim	R\$ 43,74	35,32 m	R\$ 1.544,90
Forro	R\$ 73,09	65,42 m ²	R\$ 4.781,55
Acabamento para o forro	R\$ 13,71	45,88 m	R\$ 629,01
Total			R\$ 14.181,36
Fonte: Autor (2024)			

Os custos da cobertura totalizaram R\$ 14.181,36. Destes, 33,72% se refere ao custo do forro, 22,75% ao custo da instalação de telhas e 12,37% ao custo da execução da estrutura de cobertura.

4.2.5 Revestimentos

A Tabela 7 apresenta os custos dos revestimentos.

Tabela 7 - Custos dos revestimentos			
Serviço	Custo Unitário	Quantidade	Total
Chapisco interno	R\$ 5,17	118 m ²	R\$ 610,06
Chapisco externo	R\$ 9,85	100 m ²	R\$ 985,00
Emboço paulista interno	R\$ 35,80	118 m ²	R\$ 4.224,40
Emboço paulista externo	R\$ 63,74	100 m ²	R\$ 6.374,00
Emassamento e lixamento de paredes externas	R\$ 24,20	100 m ²	R\$ 2.420,00
Emassamento e lixamento de paredes internas (sala)	R\$ 14,76	81,5 m ²	R\$ 1.202,94
Revestimento cerâmico da parede (banheiro)	R\$ 89,00	43,73 m ²	R\$ 3.891,97
Execução de fundo selador	R\$ 4,55	218 m ²	R\$ 991,90
Pintura	R\$ 11,88	218 m ²	R\$ 2.589,84
Total			R\$ 23.290,11
Fonte: Autor (2024)			

Os custos dos revestimentos totalizaram R\$ 23.290,11. Os serviços mais representativos em termos de custos da etapa são o emboço externo (27,37%), emboço interno (18,14%) e revestimento cerâmico (16,71%).

4.2.6 Pisos

A Tabela 8 demonstra os custos dos pisos.

Tabela 8 - Custos dos pisos			
Serviço	Custo Unitário	Quantidade	Total
Apiloamento do solo	R\$ 4,31	65,42 m ²	R\$ 283,68
Lastro de brita no piso	R\$ 150,34	6,542 m ³	R\$ 983,52
Contrapiso de concreto	R\$ 764,45	3,27 m ³	R\$ 2.499,75
Camada de regularização de argamassa no contrapiso	R\$ 33,47	65,82 m ²	R\$ 2.203,00
Piso cerâmico	R\$ 52,76	65,82 m ²	R\$ 3.472,66
Rodapé cerâmico	R\$ 8,06	29,06 m	R\$ 234,22
Total			R\$ 9.676,84

Fonte: Autor (2024)

Os custos dos pisos totalizaram R\$ 9.676,84, sendo 35,89% referente a execução do piso cerâmico, 25,83% referente a execução do contrapiso de concreto e 22,77% referente a execução de camada de regularização de argamassa.

4.2.7 Esquadrias

A Tabela 9 mostra os custos das esquadrias.

Tabela 9 - Custos das esquadrias			
Serviço	Custo Unitário	Quantidade	Total
Instalação de janelas	R\$ 666,39	14,4 m ²	R\$ 9.596,02
Instalação de portas	R\$ 1.490,71	10,13 m ²	R\$ 15.100,89
Total			R\$ 24.696,91

Fonte: Autor (2024)

Os custos das esquadrias totalizaram R\$ 24.696,91, sendo 61,14% referente a instalação de portas.

4.2.8 Louças e metais

A Tabela 10 mostra os custos das louças e metais.

Tabela 10 - Custos de louças e metais

Serviço	Custo Unitário	Quantidade	Total
Instalação de vasos sanitários	R\$ 543,13	3 un	R\$ 1.629,39
Instalação de mictórios	R\$ 794,28	3 un	R\$ 2.382,84
Instalação de acessórios para banheiro	R\$ 308,95	1 un	R\$ 308,95
Instalação de pias	R\$ 761,68	3 un	R\$ 2.285,04
Divisórias sanitárias	R\$ 945,10	9,8 m²	R\$ 9.261,98
Tapa vista de mictórios	R\$ 995,15	1,08 m²	R\$ 1.074,76
Total			R\$ 16.942,96

Fonte: Autor (2024)

Os custos de louças e metais totalizaram R\$ 16.942,96. O custo mais alto se refere a instalação de divisórias sanitárias (54,67%), seguido da instalação de mictórios (14,06%) e instalação de pias (13,49%).

4.2.9 Serviços complementares

A Tabela 11 mostra os custos dos serviços complementares.

Tabela 11 - Custos dos serviços complementares

Serviço	Custo Unitário	Quantidade	Total
Limpeza geral	R\$ 7,01	65,42 m²	R\$ 461,40
Total			R\$ 461,40

Fonte: Autor (2024)

Os custos dos serviços complementares totalizaram R\$ 461,40. Foi considerada uma limpeza geral da construção.

4.2.10 Custo total do projeto convencional

A Tabela 12 apresenta o custo total do projeto convencional, obtido através da soma dos custos de cada serviço. Na tabela já estão acrescentados os custos das instalações hidráulicas e elétricas.

Tabela 12 - Custo total do projeto convencional

(continua)

Serviço	Total
Serviços preliminares e infraestrutura	R\$ 23.183,08
Superestrutura	R\$ 34.867,46
Alvenaria	R\$ 7.751,64
Cobertura	R\$ 14.181,36
Revestimentos	R\$ 23.290,11

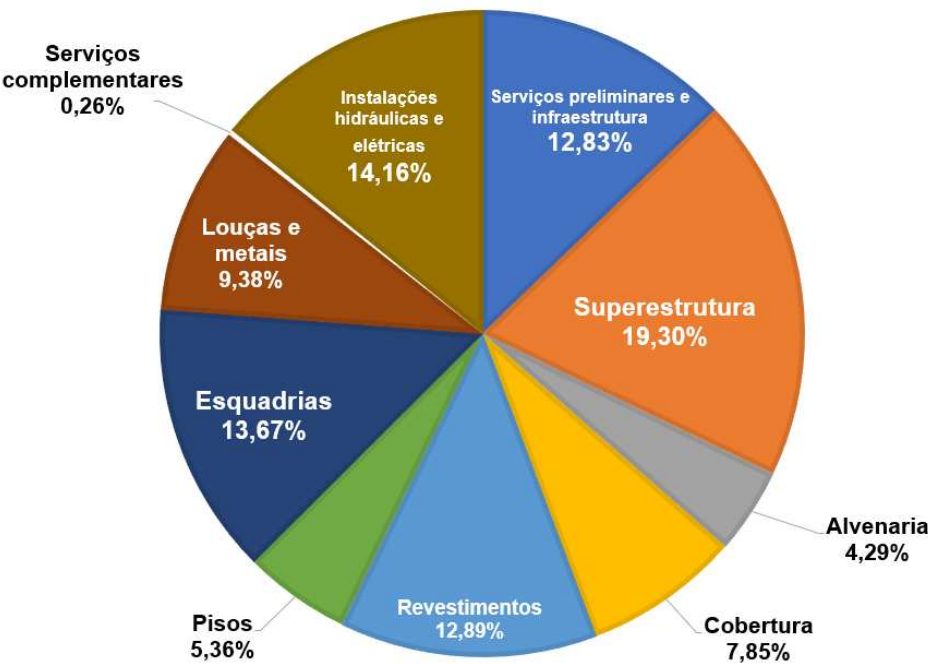
Tabela 12 – Custo total do projeto convencional

(conclusão)	
Serviço	Total
Pisos	R\$ 9.676,84
Esquadrias	R\$ 24.696,91
Louças e metais	R\$ 16.942,96
Serviços complementares	R\$ 461,40
Instalações hidráulicas e elétricas	R\$ 25.583,54
Total	R\$180.635,30

Fonte: Autor (2024)

A Figura 24 exibe um gráfico, onde é possível observar com mais clareza a proporção de cada grupo de serviço no custo total.

Figura 24 - Proporção de cada grupo de serviço



Fonte: Autor (2024)

Observa-se a partir do gráfico, que os maiores custos são das etapas de superestrutura (19,30%), instalações hidráulicas e elétricas (14,16%) e esquadrias (13,67%).

De acordo com o Tribunal de Contas da União (TCU), para calcular o BDI, pode-se considerar 4,00% do custo para administração da obra, 1,23% para despesas financeiras e 7,40% para o lucro (Brasil, 2013). Dessa forma, o custo total para o projeto convencional resultou em R\$ 204.244,07, que equivale a R\$ 2.836,72/m².

4.3 Comparativo de custos

A partir dos custos obtidos para os dois projetos, é possível comparar suas grandezas. A Tabela 13 mostra o custo resumido dos dois projetos e a diferença entre cada um.

Tabela 13 - Resumo dos custos dos dois projetos	
Projeto	Total
Modular	R\$ 529.843,86
Convencional	R\$ 204.244,07
Diferença	R\$ 325.599,79

Fonte: Autor (2024)

A diferença entre os dois projetos é de R\$ 325.599,79, ou seja, o custo do projeto modular é aproximadamente duas vezes e meia superior ao custo do projeto convencional.

Os estudos encontrados na literatura mostram que alguns sistemas construtivos modulares proporcionam redução de custos em comparação ao método convencional, ao contrário do que aconteceu neste trabalho. Vale destacar que neste trabalho foi efetuada uma análise de uma construção de 72m². Sendo assim, a produção em grande escala poderia conduzir a outros resultados.

Da mesma forma, obras de mais de um pavimento, executadas no método convencional, teriam maiores custos devido a estrutura. Já a utilização dos módulos permite construir até três pavimentos. Com isso, em estruturas de mais de um pavimento, a diferença de custo entre os dois sistemas analisados tende a ser menor.

Porém, as pesquisas encontradas na literatura, apresentadas no capítulo 2 deste trabalho, mostram que a maior vantagem obtida com o uso dos sistemas modulares está na redução de prazo, cuja análise é apresentada a seguir.

4.4 Programação de obra

Este tópico apresenta a programação de obra dos dois projetos.

4.4.1 Programação de obra para o projeto modular

Os dados fornecidos pela Empresa A demonstram o prazo do projeto modular dividido em quatro grandes etapas, sendo a etapa inicial compreendida pela concepção do projeto, fabricação dos módulos e transporte até o local da obra. Em

seguida tem-se a execução de fundações, montagem dos módulos para formar a edificação e por último os acabamentos.

A Tabela 14 mostra a duração dessas etapas.

Tabela 14 - Etapas da construção do projeto modular	
Etapa	Duração
Projeto, fabricação e transporte	40 dias
Fundações	5 dias
Montagem (união dos módulos)	1 dia
Acabamentos	4 dias
Total	50 dias

Fonte: Autor (2024)

Com isso, é possível constatar que o prazo total para execução da obra com o projeto modular é de 50 dias úteis, que equivale a dois meses e meio, aproximadamente.

Considerando apenas o prazo de obra, tem-se um total de 10 dias.

4.4.2 Programação de obra para o projeto convencional

As etapas e equipes consideradas na programação da obra do projeto convencional foram definidas a partir das composições da tabela do SINAPI. A quantidade de colaboradores para cada equipe foi obtida a partir da divisão do coeficiente de produtividade pelo número de colaboradores, até obter um coeficiente igual para os diferentes ofícios.

Multiplicando o coeficiente pelo quantitativo de cada serviço, obteve-se a duração em horas de cada um. Com as equipes definidas foi possível agrupar os serviços em etapas que envolvessem a mesma equipe, somando a quantidade de horas e dividindo por 8 horas de serviço, obtendo o número de dias úteis para cada etapa da obra. A Tabela 15 mostra as equipes definidas, coeficientes e durações.

Tabela 15 - Definição das equipes e durações das etapas do projeto convencional						
(continua)						
Serviço	Colaborador	Qtd.	Coef. equipe	Qtd. de serviço	Quantidade de horas	Duração (dias)
Locação de obra	Carpinteiro	2	0,455	45,96	20,92	3
	Ajudante	2				
Perfuração, armação e concretagem de estacas	Servente	2	0,692	48	33,19	5
Arrasamento de estaca	Servente	1	0,036	16	0,58	1
Escavação de blocos	Pedreiro	1	1,042	3,30	3,43	1
	Servente	3				

Tabela 15 - Definição das equipes e durações das etapas do projeto convencional
(continuação)

Serviço	Colaborador	Qtd.	Coef. equipe	Qtd. de serviço	Quantidade de horas	Duração (dias)
Fôrma e desfôrma dos blocos	Carpinteiro	5	0,328	6,66	2,18	1
	Ajudante	2				
Fabricação e colocação da armação dos blocos (5,0 mm)	Armador	5	0,050	47,09	2,37	1
	Ajudante	2				
Fabricação e colocação da armação dos blocos (8,0 mm)	Armador	5	0,030	16,73	0,50	
	Ajudante	2				
Fabricação e colocação da armação dos blocos (10,0 mm)	Armador	5	0,023	27,91	0,65	
	Ajudante	2				
Fabricação e colocação da armação dos blocos (12,5 mm)	Armador	5	0,013	11,45	0,14	
	Ajudante	2				
Concretagem dos blocos	Pedreiro	3	0,808	1,65	1,33	1
	Servente	4				
Escavação das vigas baldrames	Pedreiro	2	0,502	4,10	2,05	1
	Servente	7				
Fôrma e desfôrma das baldrames	Carpinteiro	5	0,276	29,30	8,08	1
	Ajudante	2				
Fabricação e colocação da armação das baldrames (5,0 mm)	Armador	5	0,033	46,91	1,56	1
	Ajudante	2				
Fabricação e colocação da armação das baldrames (8,0 mm)	Armador	5	0,020	70,64	1,44	
	Ajudante	2				
Fabricação e colocação da armação das baldrames (10,0 mm)	Armador	5	0,016	19,18	0,31	
	Ajudante	2				
Concretagem das baldrames	Pedreiro	3	0,808	1,65	1,33	1
	Servente	4				
Impermeabilização das baldrames	Impermeab.	4	0,107	29,30	3,15	1
	Ajudante	1				
Reaterro de vigas e blocos	Servente	1	0,787	3,7	2,91	1
Fôrma e desfôrma dos pilares	Carpinteiro	5	0,605	27,72	16,76	2
	Ajudante	1				
Fabricação e colocação da armação dos pilares (5,0 mm)	Armador	6	0,018	31,91	0,57	1
	Ajudante	1				
Fabricação e colocação da armação dos pilares (10,0 mm)	Armador	6	0,007	95,73	0,63	
	Ajudante	1				
Fabricação e colocação da armação dos pilares (12,5 mm)	Armador	6	0,004	33,55	0,14	
	Ajudante	1				
Concretagem dos pilares	Carpinteiro	1	2,459	1,32	3,25	1
	Pedreiro	1				
	Servente	3				
Fôrma e desfôrma das vigas	Carpinteiro	6	0,455	55,77	25,38	4
	Ajudante	1				
Fabricação e colocação da armação das vigas (5,0 mm)	Armador	6	0,018	86,18	1,54	1
	Ajudante	1				
Fabricação e colocação da armação das vigas (8,0 mm)	Armador	6	0,009	127,55	1,17	
	Ajudante	1				
Concretagem das vigas	Carpinteiro	1	1,201	3,04	3,64	1
	Pedreiro	3				
	Servente	7				

Tabela 15 - Definição das equipes e durações das etapas do projeto convencional
(continuação)

Serviço	Colaborador	Qtd.	Coef. equipe	Qtd. de serviço	Quantidade de horas	Duração (dias)
Alvenaria	Pedreiro	2				
	Servente	1	0,385	85,30	32,84	
Vergas	Pedreiro	2				
	Servente	1	0,251	19,70	4,93	5
Contravergas	Pedreiro	2				
	Servente	1	0,137	15,60	2,14	
Instalação da estrutura de cobertura	Carpinteiro	2				
	Ajudante	1	0,065	66,28	4,31	1
Colocação de telhas	Telhadista	3				
	Servente	4	0,043	66,28	2,83	1
Instalação de calhas	Telhadista	2				
	Servente	3	0,094	11,69	1,09	1
Instalação de rufos	Telhadista	1				
	Servente	2	0,112	23,03	2,58	1
Instalação de chapim	Pedreiro	2				
	Servente	1	0,090	35,32	3,18	1
Instalação de tubos de queda	Encanador	2				
	Auxiliar	2	0,038	6,30	0,24	1
Instalação de tubos de queda	Encanador	2				
	Auxiliar	2	0,038	6,30	0,24	1
Forro de PVC	Montador	2	0,348	65,42	22,79	3
Acabamentos do forro	Montador	2	0,106	45,88	4,85	1
Chapisco interno	Pedreiro	5				
	Servente	2	0,014	118	1,61	1
Chapisco externo	Pedreiro	3				
	Servente	1	0,058	100	5,75	1
Emboço paulista interno	Pedreiro	2				
	Servente	1	0,187	118	22,07	3
Emboço paulista externo	Pedreiro	2				
	Servente	2	0,340	100	33,95	5
Revestimento cerâmico da parede (banheiro)	Azulejista	5				
	Servente	2	0,150	43,73	6,57	1
Emassamento e lixamento de paredes externas	Pintor	6				
	Servente	1	0,072	100	7,20	1
Emassamento e lixamento de paredes internas (sala)	Pintor	3				
	Servente	1	0,082	81,50	6,68	1
Execução de fundo selador	Pintor	3				
	Servente	1	0,022	218	4,83	1
Pintura	Pintor	3				
	Servente	1	0,054	218	11,86	2
Apiloamento do solo	Pedreiro	1				
	Servente	2	0,045	65,82	2,96	1
Lastro de brita no piso	Pedreiro	5				
	Servente	2	0,317	6,54	2,07	1
Contrapiso de concreto	Pedreiro	5				
	Servente	2	1,017	3,27	3,32	1
Camada de regularização	Pedreiro	2				
	Servente	1	0,107	65,82	7,04	1
Piso cerâmico	Azulejista	2				
	Servente	1	0,129	65,82	8,49	1
Rodapé cerâmico	Azulejista	2				
	Servente	1	0,036	29,06	1,05	1

Tabela 15 - Definição das equipes e durações das etapas do projeto convencional
(conclusão)

Serviço	Colaborador	Qtd.	Coef. equipe	Qtd. de serviço	Quantidade de horas	Duração (dias)	
Instalação de janelas	Pedreiro	2	0,260	14,40	3,74	1	
	Servente	1					
Instalação de portas	Pedreiro	2	0,178	10,13	1,80		
	Servente	1					
Instalação de vasos sanitários	Encanador	5	0,156	3	0,47	1	
	Servente	3					
Instalação de mictórios	Encanador	3	0,336	3	1,00	1	
	Servente	1					
Instalação de pias	Encanador	6	0,244	3	0,73	1	
	Servente	3					
Instalação de acessórios para banheiro	Encanador	3	0,632	1	0,63	1	
	Servente	1					
Divisórias sanitárias	Marmorista	6	0,234	9,80	2,29	1	
	Servente	3					
Tapa vista de mictórios	Marmorista	6	0,452	1,08	0,49		
	Servente	3					
Limpeza geral	Servente	2	0,124	65,82	8,16	1	

Fonte: Autor (2024)

Com as durações de cada etapa, foram definidas as dependências entre elas para a elaboração do diagrama de rede. A Tabela 16 apresenta as dependências.

Tabela 16 - Dependências entre as etapas do projeto convencional
(continua)

Etapas	Sigla	Dependência + prazo	Duração (dias)
Locação de obra	A	-	3
Perfuração, armação e concretagem de estacas	B	A	5
Arrasamento de estaca	C	B+7 dias	1
Escavação de blocos	D	C	1
Fôrma e desfôrma dos blocos	E	D	1
Fabricação e colocação da armação dos blocos	F	E	1
Concretagem dos blocos	G	F	1
Escavação das vigas baldrames	H	G	1
Fôrma e desfôrma das baldrames	I	H	1
Fabricação e colocação da armação das baldrames	J	I	1
Concretagem das vigas baldrames	K	J	1
Impermeabilização das vigas baldrames	L	K+7 dias	1
Reaterro de vigas e blocos	M	L	1
Fôrma e desfôrma dos pilares	N	M	2
Fabricação e colocação da armação dos pilares	O	N	1
Concretagem dos pilares	P	O	1
Fôrma e desfôrma das vigas	Q	P+3 dias	4
Fabricação e colocação da armação das vigas	R	Q	1
Concretagem vigas	S	R	1
Alvenaria (incluindo vergas e contravergas)	T	S+7 dias	5
Instalação da estrutura de cobertura	U	AD, AE	1
Colocação de telhas	V	U	1
Instalação de calhas	W	V	1
Instalação de rufos	X	V	1
Instalação de chapim	AX	X	1
Instalação dos tubos de queda	Y	W	1

Tabela 16 - Dependências entre as etapas do projeto convencional

(conclusão)			
Etapas	Sigla	Dependência + prazo	Duração (dias)
Forro de PVC	Z	AF, AH, V	3
Acabamentos do forro	AA	Z	1
Chapisco interno	AB	T	1
Chapisco externo	AC	T	1
Emboço paulista interno	AD	AB+2 dias	3
Emboço paulista externo	AE	AC+2 dias	5
Revestimento cerâmico da parede (banheiro)	AF	AD+2 dias	1
Emassamento e lixamento de paredes externas	AG	AE+2 dias	1
Emassamento e lixamento de paredes internas (sala)	AH	AD+2 dias	1
Execução de fundo selador	AI	AG, AA	1
Pintura	AJ	AI	2
Apiloamento do solo	AK	T	1
Lastro de brita no piso	AL	AK	1
Contrapiso de concreto	AM	AL	1
Camada de regularização de argamassa no contrapiso	AN	AM+3 dias	1
Piso cerâmico	AO	AN+3 dias, AF	1
Rodapé cerâmico	AP	AO	1
Instalação de portas e janelas	AQ	AV	1
Instalação de vasos sanitários	AR	AO	1
Instalação de mictórios	AS	AR	1
Instalação de pias	AT	AS	1
Instalação de acessórios para banheiro	AU	AT	1
Divisórias sanitárias e tapa vistas	AV	AS	1
Limpeza geral	AW	AJ+7 dias	1

Fonte: Autor (2024)

Deve-se observar que em algumas etapas foi adicionado um prazo para o início da atividade posterior, como por exemplo, entre o final da concretagem e realização da desfôrma, para garantir a cura do concreto.

Após definidas as dependências entre as atividades e as suas durações, elaborou-se um diagrama de rede, com a identificação do caminho crítico através do método PERT/CPM. As atividades que compõem o caminho crítico são aquelas que não podem sofrer atrasos para não comprometer o prazo final. Dessa forma foi possível identificar as folgas e o prazo total da obra. O diagrama de rede está apresentado no Apêndice A, com o caminho crítico destacado.

Após elaborado o diagrama de rede, foi possível obter o cronograma físico, onde é possível observar com mais clareza a programação da obra, com as datas de início e término de cada atividade, além das folgas entre elas e até a data final.

O cronograma físico está apresentado no Apêndice B.

4.5 Comparativo de prazos

Dessa forma tem-se o prazo total para o projeto convencional de 79 dias. Vale destacar que nesse prazo não estão considerados os processos de execução e aprovação de projetos.

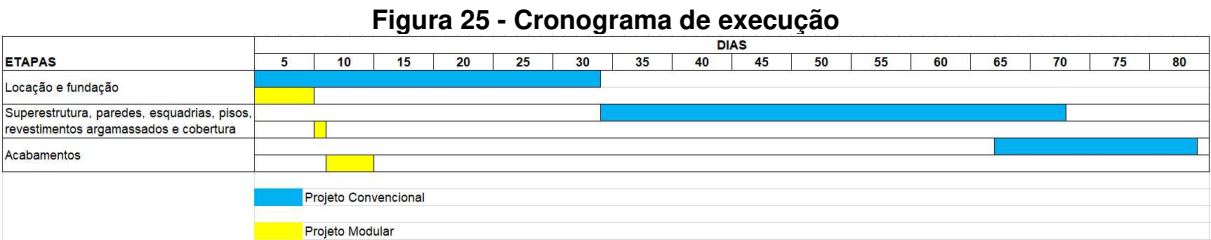
Sendo assim, para efetuar a análise comparativa neste trabalho, serão consideradas apenas as atividades de obra, ou seja, a partir da execução da fundação.

Com isso, a Tabela 17 exibe os prazos de cada projeto, considerando os serviços de obra.

Tabela 17 - Prazo de cada projeto	
Projeto	Duração
Convencional	79 dias
Modular	10 dias
Diferença	69 dias

Fonte: Autor (2024)

A Figura 25 apresenta um cronograma comparativo das grandes etapas para execução dos dois projetos.



Fonte: Autor (2024)

A redução de prazo observada com o uso do sistema modular é de quase 8 vezes menor em relação ao convencional. Trabalhos apresentados na literatura mostram redução de até 60% no prazo de execução.

Vale destacar que neste trabalho foram definidas algumas equipes, que influenciam no prazo final.

5 CONCLUSÃO

Ao final do estudo comparativo entre o sistema convencional e o sistema construtivo modular, observou-se que, o sistema modular apresentou um custo total mais elevado em relação ao sistema convencional. Esse resultado pode ser atribuído a diversos fatores, como os altos custos iniciais de produção e montagem dos módulos, que, apesar de promoverem maior agilidade na execução da obra, encarecem o processo. Pode-se também citar o frete como fator que contribui para o encarecimento do sistema modular, nesse cenário.

O sistema construtivo modular apresenta-se como vantajoso em relação a redução do tempo de obra em canteiro, porém, há de se considerar o tempo para a fabricação dos módulos, fator que acaba diminuindo essa vantagem. Também pode-se citar como vantagem a padronização e controle de qualidade, já que o ambiente de fábrica permite inspeções mais rigorosas e consistentes do que em um canteiro de obras convencional, onde fatores externos, como o clima, podem interferir.

Outras vantagens do sistema modular são a redução de resíduos; a redução da quantidade de mão de obra; maior previsibilidade de custos e prazo; facilidade de expansão da edificação e o bom desempenho térmico e acústico, visto os materiais utilizados. Também pode-se citar a facilidade de desmobilização da estrutura após o fim da sua vida útil.

Porém pode-se citar desvantagens como o custo elevado; dependência de frete e transporte especializado; limitações no design e necessidade de mão de obra especializada.

Para esta pesquisa, embora o sistema modular tenha demonstrado vantagem no prazo de execução, com uma redução em relação ao tempo necessário no sistema convencional, essa agilidade não foi suficiente para compensar o aumento dos custos.

O encurtamento do tempo de obra pode ser benéfico em situações onde a antecipação do uso da edificação é fundamental, justificando o investimento mais alto. No entanto, em cenários onde o prazo de execução não é um fator determinante, o sistema convencional pode ser mais vantajoso economicamente.

O sistema construtivo modular, mesmo sendo mais caro, pode ser mais indicado em obras que demandam rapidez e eficiência, já o sistema convencional continua sendo uma solução competitiva e economicamente viável, especialmente para projetos com cronogramas mais flexíveis.

Na sequência do presente trabalho surgiram alguns aspectos que se revelaram interessantes para uma abordagem mais detalhada. Em seguida são apresentados aqueles que poderão vir a ser objeto de futura investigação.

- a) Estender o estudo para outros tipos de edificações, como prédios de vários pavimentos, escolas, hospitais, para avaliar se o comportamento em termos de custo e prazo entre o sistema modular e convencional permanece o mesmo ou muda significativamente;
- b) Avaliar a facilidade de manutenção e a flexibilidade para reformas e ampliações em edificações feitas com o sistema convencional e modular ao longo de sua vida útil;
- c) Realizar um estudo comparativo sobre o desempenho térmico e acústico entre edificações construídas com o sistema modular e convencional, abordando aspectos de eficiência energética e conforto dos usuários.

.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Luiza Rangel. **Estudo de sistemas construtivos pré-fabricados modulares aplicados em canteiros de obras**. 2015. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- ALMEIDA, Rafael Falconeres de; NEVES, Jorge de Oliveira. Contêiner: Logística, tipos, consertos e avarias, lavagem, manuseio, identificação e decodificação, agendamento e negociação. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP, 9., 2012, Guarujá. **Anais [...]**. Guarujá: Fundação Fernando Eduardo Lee, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- _____. **NBR 15873**: Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- _____. **NBR 16936**: Edificações em *light wood frame*. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- _____. **NBR 16970-1**: *Light Steel Framing* – Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas Parte 1: Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- _____. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. **Contribuição à implementação da coordenação modular da construção no Brasil**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- BARBOSA, Gabryella de Oliveira *et al.* Container na construção civil: rapidez, eficiência e sustentabilidade na execução da obra. **Cadernos de graduação**, Alagoas, v. 4, n. 2, p. 101-110, nov. 2017.
- BARBOSA, Paula Cilene do Monte. **Aplicações Arquitetônicas de um sistema modular pré-fabricado de madeira**. 2023. Dissertação (Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis) – Universidade do Minho, [s.l.], 2023.
- BATISTA, Fábio Domingos. **A tecnologia construtiva em madeira na região de curitiba**: da Casa Tradicional à Contemporânea. 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- BORGES, Cayque Sousa. **Dimensionamento de painéis pré-moldados de concreto autoportante**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.
- BRASIL. Tribunal de Contas da União. Acórdão Nº 2622/2013 – TCU – Plenário. Brasília, 25 set. 2013. Disponível em:

<http://licitacoes.ufsc.br/files/2014/10/Ac%C3%B3rd%C3%A3o-2622-2013-BDI.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI** (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil). Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 20 mai. 2024.

CARVALHO, Lucina Fernandes Carvalho; JORGE, Luís Filipe Carvalho; JERÓNIMO, Rui. *Plug-and-Play Multistory Mass Timber Buildings: Achievements and Potentials*. **Journal of Architectural Engineering**, v. 26, n. 2, p. 04020011-1 – 04020011-22, jun. 2020.

CASEIRO, Angélique. **O sistema construtivo modular em madeira como contributo à arquitetura sustentável**. 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

COSTA, Danielly Figueirêdo da *et al.* Aplicação da construção modular na engenharia civil. **Revista ft**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 28, 2023. Disponível em: <https://revistافت.com.br/aplicacao-da-construcao-modular-na-engenharia-civil/>. Acesso em 09 mai. 2024.

FRANÇA, Erich Takachi Ychisawa. **Materiais empregados na construção modular: cenário atual e potencialidades**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, 2022.

GIL, Antonio Carlos. **Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GREVEN, Hélio Adão; BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada**. Porto Alegre: ANTAC, 2007.

GUIMARÃES, Thiago de Castro; SANTOS, Bruna Stefanie Macedo. Metodologias ágeis na construção civil: estudo de caso da Construção Modular Off site aplicada no Hospital M'boi Mirim em São Paulo. **Brazilian Journal of Development**, Montes Claros, v. 8, n. 1, p. 2207-2225, 2022.

JORGE, Liliam Pederneiras; RAVACHE, Rosana Lia. Construção modular pré-fabricada, o futuro da arquitetura no Brasil. **Connection Line - Revista Eletrônica do Univag**, [s.l.], v. 24, p. 80-95, 2021.

LAWSON, Robert Mark; RICHARDS, Jane. *Modular design for high-rise buildings*. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings**, v. 163, n. 3, p. 151–164, 2010.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MAYOR, Wagner Rocha Soutto. **Sistema construtivo modular**. 2012. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

MELLO, Tassiano; PREVEDELLO, Vanessa Aline Zancan; MASUTTI, Gustavo Corbellini. Estruturas pré-moldadas na construção civil: vantagens e desvantagens

de seu uso. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO NO MERCOSUL, nº 17, 2015, Cruz Alta. **Resumos [...]**. Cruz Alta: Unicruz, 2015.

MENDONÇA, Alberto Soares Lúcio; YSHII, Yoshiharu; PALETTA, Francisco Carlos. Construção modular em edifícios residenciais (CMER). *In*: SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS, nº 12, 2012, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2012.

MOLINA, Julio Cesar; CALIL JUNIOR, Carlito. Sistema construtivo em *wood frame* para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, p.143-156, 2010.

PEDROSO, Fernanda Pereira. **Programa Fundo Nacional de Habitação Social no município de Júlio de Castilhos**: implementação e resultados. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Pública Municipal) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PEDROSO, Sharon Passini *et al.* Steel frame na construção civil. *In*: ENCONTRO CIENTÍFICO CULTURAL INTERINSTITUCIONAL, nº 12, 2014, Cascavel, PR. **Anais [...]**. Cascavel, PR: Fundação Assis Gurgacz, 2014.

PETRONILA, Cláudia Cristina Bico. **Reutilização dos Contentores Marítimos na Arquitetura**. 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Artes, Universidade de Évora, Évora, 2015.

PINI. **TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamento**. São Paulo, 2023.

PINTO, Letícia da Cruz. **Aplicação da coordenação modular à produção de casas pré-fabricadas de madeira**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

PONTE, João Pedro da. **Estudos de caso em educação matemática**. Bolema, [Lisboa], v. 19, n. 25, p. 105-132, 2006.

SANTIAGO, Alexandre Kokke; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; CRASTO, Renata Cristina Moraes de. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Manual de Construção em Aço**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/ CBCA, 2012.

SANTOS, Rômulo Bernardo dos. **Construção civil e economia brasileira**: Potencialidades e evolução do mercado de trabalho do setor nos anos recentes. 2020. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020.

SEBBA, Arthur Maluf; SANTOS, Ruan Souza dos. **Principais vantagens do uso de construção modular de concreto armado, para habitações populares**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica, Goiânia, 2020.

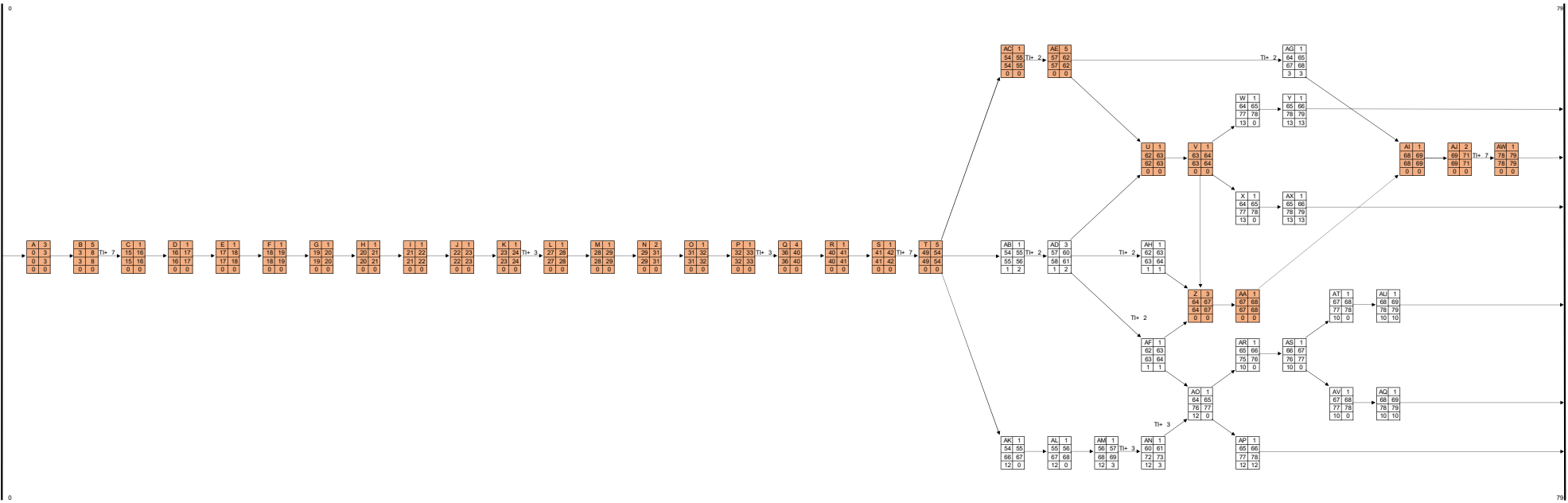
TAVES, Guilherme Gazzoni. **Engenharia de custos aplicada à construção civil**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

TEIXEIRA, Lucas Alves Silva; SIMPLICIO, Maria da Conceição Azevedo. A Modernização da Construção Civil Através do Uso do Steel Frame. **Boletim do Gerenciamento**, [Rio de Janeiro], v. 2, n. 2, p. 1-11, 2018.

VAN ACKER, Arnold. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. 1. ed. [s.l]: FIB, 2002.

VASQUES, Caio Camargo Penteado Correa Fernandes. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e *wood frame* em residências unifamiliares**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Estruturas) – Centro Universitário de Lins, Lins, 2014.

APÊNDICE A - Diagrama de Rede (PERT/CPM)



APÊNDICE B - Cronograma Físico (Gráfico de Gantt)

