

CONSTRUINDO COM CONSCIÊNCIA AMBIENTAL: O potencial da construção modular

Ana Beatriz Noronha Soares¹

Isadora Lourenço Rosa da Silva Macedo²

Maria Teresa Palumbo Cronenbold³

Carlos de Oliveira⁴

Raquel de Moraes Graffin⁵

Tarcísio Sales Vasconcelos⁶

RESUMO: A pesquisa analisa as construções modulares como alternativa sustentável em relação aos métodos tradicionais de construção, avaliando vantagens como eficiência energética, redução de resíduos e economia de recursos, além de explorar desafios, como a logística de transporte dos módulos. O objetivo principal é demonstrar como esse método pode reduzir o impacto ambiental, contribuindo para práticas mais sustentáveis na construção civil. Os resultados indicam que o método de construção modular em Wood Frame é o mais vantajoso economicamente, conforme análise pelo Valor Presente Líquido (VPL), e ambientalmente viável, devido ao uso de madeira de reflorestamento e menor geração de resíduos. A conclusão sugere que o Wood Frame deve ser uma opção preferencial na construção civil, favorecendo a redução de impactos ambientais.

Palavras-chave: Construção modular; sustentabilidade; impacto ambiental; construção civil; métodos construtivos.

BUILDING WITH ENVIRONMENTAL AWARENESS: The potential of modular construction

ABSTRACT: The final project, entitled "Building with Environmental Awareness: The potential of modular construction" focuses on analyzing modular building as a more sustainable alternative compared to traditional construction methods. The authors propose an evaluation of the advantages of this innovation, such as energy efficiency, waste reduction and resource savings, in addition to exploring the challenges, such as the logistics of transporting the modules. The main objective is to demonstrate how

¹ RM: 22335 Aluna regular do Curso Técnico em Meio Ambiente da Etec de São Sebastião (188) – E-mail: ana.soares239@etec.sp.gov.br

² RM: 22161. Aluna regular do Curso Técnico em Meio Ambiente da Etec de São Sebastião (188) – E-mail: Isadora.macedo@etec.sp.gov.br

³ RM: 22163. Aluna regular do Curso Técnico em Meio Ambiente da Etec de São Sebastião (188) – E-mail: maria.cronenbold@etec.sp.gov.br

⁴ Coorientador; Professora Me. da Etec de São Sebastião – E-mail: carlos.oliveira196@etec.sp.gov.br

⁵ Coorientadora; Professora Me. da Etec de São Sebastião – E-mail: raquel.graffin@etec.sp.gov.br

⁶ Orientador; Professor Me. da Etec de São Sebastião – E-mail: tarcisio.vasconcelos@etec.sp.gov.br

this method can reduce environmental impact, contributing to more sustainable practices in civil construction. The results indicate that the modular construction method in wood frame is the most economically advantageous, according to the net present value (npv) analysis, and environmentally viable, due to the use of reforestation wood and less waste generation. The conclusion suggests that wood frame should be a preferred option in civil construction, favoring the reduction of environmental impacts.

Keywords: Modular construction; sustainability; environmental impact; construction; construction methods.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alternativas habitacionais eficientes e sustentáveis vem promovendo a adoção de novas técnicas construtivas. Nesse contexto, as construções modulares surgem como uma alternativa inovadora às construções tradicionais. Caracterizadas pela fabricação de módulos em fábricas e montagem no local final, essas construções oferecem diversas vantagens, desde a redução de tempo de obra até a diminuição de impactos ambientais em relação a geração de resíduos de obra e manutenção.

O foco deste estudo é examinar as vantagens e desvantagens das construções modulares em oposição às tradicionais, além de analisar o impacto ambiental dessas práticas construtivas. Entre os aspectos positivos frequentemente associados às construções modulares estão a eficiência energética, a redução de resíduos e a economia de recursos. Sob outra perspectiva, é fundamental avaliar os desafios e limitações, tais como as restrições de *design* e a logística de transporte dos módulos.

Além disso, a análise do impacto ambiental será discutida com foco na geração de resíduos e no consumo de recursos naturais: a construção tradicional, em alvenaria, utiliza predominantemente tijolos de argila, blocos de concreto ou cerâmicos, cuja fabricação demanda grandes quantidades de recursos naturais. Para a produção desses materiais, são necessários insumos como areia, argila, calcário e outros minerais extraídos de jazidas naturais. Aliás, o processo de fabricação de tijolos e cimento é intensivo em energia e responsável por emissões significativas de dióxido de carbono (CO₂), contribuindo diretamente para o aquecimento global. O transporte desses materiais até o local da obra também consome uma quantidade considerável de energia.

Já o método construtivo em *Steel Frame* utiliza perfis de aço galvanizado como

estrutura principal. O aço, apesar de ser amplamente reciclável, possui um processo de produção que consome muitos recursos naturais, especialmente o minério de ferro e o carvão, além de exigir grande quantidade de energia durante sua fabricação.

Por último, a construção em *Wood Frame* utiliza madeira como principal elemento estrutural, proveniente de florestas manejadas de maneira sustentável. Este método é amplamente reconhecido por seu ciclo de vida mais sustentável, visto que a madeira é um recurso natural renovável. Durante o crescimento das árvores, ocorre a captura de carbono, o que contribui para mitigar as emissões de CO₂. O processo de produção da madeira, desde o corte até a sua transformação em material de construção, exige uma quantidade consideravelmente menor de energia em comparação com os outros métodos construtivos.

As construções modulares são frequentemente destacadas como soluções mais sustentáveis devido à produção controlada e à minimização de desperdícios. Contudo, é necessário realizar uma análise detalhada para avaliar o verdadeiro alcance dessas vantagens quando comparadas aos métodos convencionais de construção.

Portanto, esta pesquisa tem como objetivo fornecer uma visão sobre as construções modulares, participando da discussão sobre a sustentabilidade na construção civil e trazendo informações relevantes para a implementação de métodos construtivos mais conscientes em termos ambientais.

1.1 Questão de pesquisa

Quais das técnicas construtivas apresentadas são mais sustentáveis e apresentam melhor custo-benefício, contribuindo para a redução do impacto ambiental da construção civil?

1.2 Justificativa

A escolha deste tema se justifica pela crescente preocupação global com a sustentabilidade ambiental e a necessidade urgente de repensar as práticas de construção civil. Em um mundo onde as atividades humanas têm impactado significativamente o meio ambiente, é essencial buscar alternativas que minimizem esse impacto e promovam o desenvolvimento sustentável.

A construção modular é uma abordagem promissora para a construção de

edificações, que visa utilizar materiais e técnicas que respeitem os ecossistemas locais, reduzam o consumo de recursos naturais não renováveis e promovam o bem-estar humano.

1.3 Objetivos

Objetivo Geral:

Apresentar um método de construção que gere menos impacto negativo no meio ambiente por meio de dados estatísticos e comparativos.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar os métodos construtivos atuais, sejam eles tradicionais ou modulares;
2. Pontuar os impactos ambientais de cada técnica de construções pré-fabricadas escolhida para pesquisa;
3. Apontar os custos de cada método construtivo;
4. Apresentar estatísticas de valores e técnicas das construções.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Caracterização do objeto de estudo

2.1.1 Construção modular

A construção modular surgiu como uma técnica inovadora no campo da engenharia. Essa técnica moderna envolve a fabricação de componentes construtivos em diferentes locais da construção, que posteriormente são transportados e montados no local da construção, oferecendo uma alternativa mais eficiente e sustentável aos métodos construtivos tradicionais (KARTHIK et al., 2020).

Uma das principais vantagens da construção modular é a sua capacidade de reduzir o desperdício e minimizar o impacto ambiental dos projetos de construção. Ao pré-fabricar componentes em um ambiente de fábrica controlado, o processo de construção pode ser simplificado, levando a uma redução significativa no desperdício de material e no consumo de energia (ARASHPOUR et al., 2016). Além disso, a abordagem modular permite um melhor controle de qualidade e a integração de materiais e tecnologias sustentáveis, aumentando ainda mais os benefícios ambientais desse método de construção.

Outro aspecto essencial da construção modular é sua capacidade de melhorar os prazos do projeto e reduzir os custos de construção. Ao fabricar componentes fora do local de construção, o processo pode ser significativamente acelerado, pois a montagem do edifício pode ser realizada simultaneamente com a fabricação fora do local (KAMALI & HEWAGE, 2016). Essa abordagem simultânea não apenas encurta a duração geral do projeto, mas também reduz os custos de mão-de-obra e minimiza interrupção para a comunidade ao redor durante a fase de construção, ou seja, quando a obra é feita no próprio lugar, as interrupções podem se tornar consideráveis e prolongadas. Por outro lado, ao produzir os componentes em outra localidade e apenas posteriormente montar a estrutura no terreno, torna o tempo necessário para concluir a obra reduzido.

A construção modular também oferece maior flexibilidade e adaptabilidade no projeto. A abordagem modular permite a personalização e reconfiguração de componentes do edifício, possibilitando que arquitetos e engenheiros criem estruturas únicas que atendam às necessidades específicas do projeto (GERBER, 2021). Em *Nova York*, EUA, existe o *The Stack*, um edifício residencial que representa uma abordagem inovadora da construção modular. Com 28 apartamentos, esse prédio foi erguido a partir de módulos pré-fabricados empilhados em apenas 19 dias, diminuindo consideravelmente o tempo e os custos da obra. Esse caso evidencia a versatilidade da construção modular, adequada para diversos tipos de edificações, desde residenciais até comerciais, e aplicável em diferentes cenários. Esta flexibilidade pode ser particularmente vantajosa em situações em que os requisitos do projeto podem mudar ao longo do tempo ou em que o edifício precisa ser realocado ou ampliado.

Apesar dos inúmeros benefícios da construção modular, existem também alguns desafios que devem ser enfrentados. O investimento inicial necessário para os equipamentos e instalações especializadas necessários para a fabricação *off-site*⁷, pode ser uma barreira para algumas empresas de construção (ARASHPOUR et al., 2016). Além disso, a integração de componentes modulares com métodos construtivos tradicionais pode, por vezes, apresentar desafios logísticos e de coordenação, exigindo planejamento e execução cuidadosos.

A construção modular oferece uma abordagem sustentável e transformadora

⁷ O termo "*off-site*" é utilizado para descrever atividades ou processos que acontecem em locais diferentes daquele principal onde um projeto ou operação está ocorrendo.

para a engenharia que tem o potencial de transformar a indústria da construção. Ao reduzir o desperdício, melhorar os prazos dos projetos e aumentar a flexibilidade do projeto, a construção modular pode contribuir para o desenvolvimento de edifícios mais eficientes e ecológicos. À medida que a indústria continua a evoluir, espera-se que a adoção de técnicas de construção modular cresça, abrindo caminho para um futuro mais sustentável.

Figura 1 – Modelo esquemático de Construção Modular.



Fonte: VISA Construção Modular

A seguir, serão apresentados os dois tipos de construção modular, suas características e aplicações, citando fontes relevantes para uma compreensão mais aprofundada.

2.1.1.1 Wood Frame

O método *Wood Frame* é muito utilizado nos países como Estados Unidos e Canadá, onde a disponibilidade de madeira faz desse processo uma opção econômica e eficaz. Ele consiste em uma estrutura de madeira que serve como a espinha dorsal da construção. Essa técnica é reconhecida por sua flexibilidade em termos de design e pela rapidez na construção. De acordo com Silva e Almeida (2019),

a construção em *Wood Frame* se destaca pela leveza da estrutura e

pela facilidade de manipulação dos materiais, resultando em um processo construtivo veloz e menos impactante para o meio ambiente. Além disso, a madeira é um recurso renovável que oferece excelentes propriedades térmicas e acústicas, promovendo o conforto dos futuros usuário (Silva; Almeida, 2019).

A seguir, apresenta-se o método de construção em Wood Frame:

Figura 2 – Construção Modular em *Wood Frame*.



Fonte: Viva Decora (2019).

2.1.1.2 ***Steel Frame e Dry Wall***

O sistema *Steel Frame* emprega perfis de aço galvanizado na estrutura, enquanto *Dry Wall* é a parte da placa de gesso para a construção de casas, os métodos devem ser utilizados em conjunto, o *Steel Frame* como estrutura e o *Dry Wall* como revestimento.

O *Steel Frame* tem se tornado mais popular devido à sua durabilidade, resistência e capacidade de suportar cargas pesadas, sendo ideal para construções de vários andares e ambientes com condições climáticas desafiadoras, como climas extremos que podem afetar a durabilidade e a integridade das estruturas, como temperaturas muito altas ou muito baixas, alta umidade, chuvas frequentes, ventos fortes e até áreas propensas a terremotos. O *Steel Frame* é vantajoso nessas condições porque o aço é menos suscetível a deformações causadas pela umidade, como ocorre com a madeira, e é mais resistente a impactos e pressões que podem ocorrer em ambientes de clima severo, garantindo maior durabilidade e segurança.

De acordo com Costa e Ribeiro (2018), "o *Steel Frame* representa uma opção sólida e versátil, especialmente em áreas onde a madeira é limitada ou quando se necessita de maior resistência estrutural". O aço é um material reciclável e possui uma excelente relação entre resistência e peso, permitindo a construção de edifícios mais leves e fortes ao mesmo tempo. Uma das vantagens principais do *Steel Frame* é a precisão e padronização das peças, o que resulta em menor desperdício de materiais e maior eficiência durante a construção (MARTINS et al., 2021). No entanto, é importante notar que o custo inicial do sistema pode ser maior do que o do *Wood Frame* e levar em conta a exigência de trabalhadores especializados para montar os perfis de aço e de gesso.

A seguir, apresenta-se a aplicação de placas de Dry Wall sendo instaladas:

Figura 3 – Placas de Dry Wall sendo instaladas.



Fonte: 3TC Isolamento (2023).

2.1.1.3 Alvenaria

A técnica de construção em alvenaria é uma das mais antigas no setor da engenharia civil, caracterizada pela montagem de blocos ou tijolos empilhados com a ajuda de argamassa, criando estruturas como paredes, muros e divisórias. Existem várias modalidades de alvenaria, incluindo a alvenaria estrutural (onde os blocos sustentam o peso da edificação) (CAMACHO, 2006) e a alvenaria de vedação (empregada apenas para delimitar espaços, sem função estrutural). As principais

vantagens da alvenaria incluem:

1. Durabilidade: construções em alvenaria são resistentes e têm uma vida útil prolongada.
2. Isolamento térmico e acústico: as paredes de alvenaria proporcionam bom isolamento tanto térmico quanto acústico, dependendo do tipo de material utilizado.
3. Versatilidade: é possível trabalhar com uma ampla gama de materiais, como tijolos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de vidro, entre outros.

2.1.2 Resíduos Sólidos

A produção de resíduos na construção civil é uma questão importante devido aos seus efeitos ambientais, sociais e econômicos. Este segmento é um dos principais responsáveis pela geração de resíduos sólidos, e o descarte incorreto desses materiais pode resultar em diversas consequências, como a contaminação do solo e das águas subterrâneas, além de elevar a demanda por áreas destinadas a aterros sanitários.

Os resíduos oriundos da construção civil podem ser organizados em várias categorias. A primeira, denominada Classe A, inclui materiais que têm potencial para serem reciclados ou reutilizados, como concreto, tijolos, telhas e argamassa. Em seguida, a Classe B abrange resíduos que podem ser reciclados, como plásticos, papéis, metais, vidros e madeiras. A Classe C compreende materiais que atualmente não têm opções viáveis para reciclagem ou reaproveitamento, como alguns tipos de gesso. Por último, a Classe D reúne resíduos classificados como perigosos, incluindo tintas, solventes e outros produtos químicos.

A geração de resíduos tem um impacto ambiental considerável. O desperdício de materiais, muitas vezes decorrente de um planejamento deficiente, resulta em um uso excessivo de recursos naturais. Além disso, a crescente dependência de aterros sanitários para o descarte desses resíduos se torna insustentável a longo prazo. Outro aspecto preocupante é a contaminação do solo e das fontes de água, provocada pelo descarte inadequado de resíduos perigosos, o que agrava ainda mais os prejuízos ao meio ambiente.

No Brasil, há uma série de leis e normas que buscam regular a gestão dos resíduos gerados pela construção civil, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental

e promover a cultura de reciclagem e reaproveitamento de materiais. Uma das principais legislações nesse contexto é a **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, estabelecida pela **Lei nº 12.305/2010**. Essa normativa define diretrizes para uma gestão integrada e eficiente dos resíduos sólidos, abarcando também aqueles oriundos da construção civil. A legislação estabelece uma responsabilidade compartilhada entre todos os participantes do ciclo de vida dos produtos, incluindo fabricantes, comerciantes, consumidores e o governo, com o objetivo de garantir a correta disposição dos resíduos. Complementarmente, introduziu-se o conceito de logística reversa, que torna obrigatória a devolução de certos materiais ao processo produtivo, como as embalagens, por exemplo.

Outra norma relevante é a **Resolução CONAMA nº 307/2002**, que representou um avanço significativo na gestão dos resíduos da construção civil. Essa resolução estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para o manejo desses resíduos e requer que os municípios destinem áreas específicas para o descarte apropriado. Além disso, a resolução impõe a necessidade de que obras públicas e privadas tenham um **Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC)**, que deve detalhar o manejo dos resíduos desde o momento em que são gerados até a sua destinação final.

Além das legislações, existem diretrizes da **Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)** referentes à reciclagem de resíduos provenientes da construção civil, assim como à destinação e reutilização desses materiais. Dentre essas diretrizes, merecem destaque a **ABNT NBR 15.114/2004**, que trata sobre a reciclagem de resíduos, e a **ABNT NBR 15.115/2004**, que estabelece os critérios para uma destinação adequada.

2.2 Materiais e Métodos

Este trabalho adotou uma abordagem metodológica de natureza qualitativa, utilizando dois métodos principais para a coleta de dados: pesquisa bibliográfica e entrevistas com empresas especializadas em construção modular. As atividades foram realizadas de forma remota, utilizando recursos *online* e ferramentas de comunicação digital.

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica a partir de fontes acadêmicas e técnicas, com o objetivo de fundamentar teoricamente a análise dos

métodos construtivos em alvenaria, *Steel Frame/Dry Wall* e *Wood Frame*. A pesquisa focou em identificar as principais características de cada método, tais como preço por metro quadrado, durabilidade, manutenção, garantia e a geração de resíduos sólidos. As bases de dados utilizadas incluem o Google Acadêmico, periódicos especializados e relatórios técnicos sobre construção modular e métodos de construção sustentáveis. Palavras-chave como "construção modular", "*steel frame*", "*wood frame*", "sustentabilidade na construção civil" e "geração de resíduos na construção" guiaram a busca por informações.

Para complementar os dados obtidos na pesquisa bibliográfica, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com representantes de duas empresas do setor de construção modular: EcoCabanas e Espaço Smart. As entrevistas ocorreram de maneira remota, via plataformas de videoconferência.

A empresa EcoCabanas (técnica de *Wood Frame*), é localizada em Blumenau, Santa Catarina e atende por todo o Brasil. As casas são vendidas em kit, com diversos modelos, de diferentes tamanhos, buscando utilizar a madeira ecológica para material de construção.

A empresa SmartFrame (técnica de *Steel Frame* e *Dry Wall*) tem localidades em 16 estados do Brasil e no Paraguai. Ela trabalha com materiais como o steel framing, dry wall e piso vinílico. E as casas são vendidas em kits, com modelos prontos para escolher também.

As perguntas realizadas buscaram informações práticas sobre:

- Kits das casas modulares: composição e materiais utilizados;
- Preço do metro quadrado (m²): comparativo entre os sistemas de construção;
- Durabilidade das construções: estimativa de vida útil de cada método;
- Manutenção: frequência e tipo de manutenção necessária ao longo do tempo;
- Garantia oferecida: coberturas e prazos oferecidos pelas empresas;
- Geração de resíduos: análise de desperdícios e possíveis reaproveitamentos de materiais durante a construção.

Os dados coletados foram organizados em uma planilha no Microsoft Excel para facilitar a comparação entre os métodos construtivos de alvenaria, *Steel Frame/Dry Wall* e *Wood Frame*. As colunas incluíram os seguintes parâmetros:

- Preço do m²;
- Durabilidade;

- Garantia;
- Manutenção anual;
- Geração de resíduos.

Durante a elaboração deste trabalho, foi realizada uma consulta à empresa Ideal Grupo por meio de contato online, com o objetivo de obter informações detalhadas sobre preços e dimensões das caçambas utilizadas para o descarte de resíduos sólidos na construção civil. A escolha dessa abordagem justificou-se pela sua conveniência e pela possibilidade de uma comunicação ágil e direta.

Para isso, foram elaboradas perguntas específicas e objetivas relacionadas aos serviços oferecidos pela empresa, buscando esclarecer aspectos como custos, capacidades das caçambas e condições de utilização. Esses dados foram essenciais para a análise do gerenciamento de resíduos no projeto de construção modular desenvolvido no presente estudo.

Após a coleta e a organização das informações obtidas, procedeu-se à análise comparativa, considerando outras metodologias construtivas abordadas na pesquisa.

Este trabalho realiza uma análise de viabilidade econômica da construção modular, utilizando a Análise de Valor Presente Líquido (VPL) para calcular os custos de construção e manutenção ao longo do tempo para diferentes métodos construtivos. O objetivo é identificar o custo-benefício de cada técnica, considerando a durabilidade e os custos de manutenção ao longo dos anos. Além disso, a análise emprega o conceito de Custo Total de Propriedade (TCO - *Total Cost of Ownership*), que incorpora tanto o custo inicial quanto todos os custos futuros de manutenção ajustados ao valor presente.

Durante a avaliação do projeto, foi realizada uma estimativa do volume de resíduos gerados durante a manutenção, considerando diferentes sistemas construtivos: alvenaria, *Wood Frame* e *Steel Frame*. O cálculo foi efetuado com base na utilização de latas de 18 e 36 litros, aplicando fórmulas específicas para conversão de medidas e cálculo de volumes.

Para o sistema de alvenaria, a previsão considerou o uso de três latas de 18 litros, totalizando 23,83 litros. No caso do *Wood Frame*, foram contabilizadas 12 latas de 18 litros, somando 93,33 litros, acrescidos de 5 litros adicionais de aguarrás, resultando em um volume final ajustado de 25,88 litros após as conversões necessárias. Quanto ao sistema *Steel Frame*, foram utilizadas duas latas de 18 litros

(equivalentes a 7,944 litros) e três latas de 36 litros (4,056 litros), resultando em um volume total ajustado com base nas dimensões especificadas.

A fórmula de cálculo do volume utilizada foi $V = \text{largura} \times \text{altura} \times \text{profundidade}$. Para o sistema *Steel Frame*, o cálculo avança a dimensão de $V = 23\text{cm} \times 57,5\text{cm} \times 30\text{cm}$, totalizando 25.875cm^3 , que, convertido para litros (dividido por 1.000), corresponde a 25,88 litro, considerando também o volume estimado de aguarrás.

Essa metodologia permitiu uma estimativa precisa dos volumes de resíduos gerados por cada sistema construtivo, viabilizando uma análise comparativa dos impactos ambientais e dos custos relacionados ao gerenciamento e descarte de resíduos durante a manutenção. Os resultados obtidos forneceram uma base sólida para decisões sustentáveis e economicamente viáveis no contexto do projeto de construção modular.

Definição dos Parâmetros para o Cálculo do Valor Presente

Para calcular o Valor Presente (VP) dos custos, utilizaremos os seguintes parâmetros:

- **Taxa de Juros:** Adotaremos uma taxa anual de 22%, que representa o custo de capital médio no Brasil. Essa taxa será aplicada para descontar os valores futuros e trazer os custos para o presente, permitindo uma avaliação financeira precisa.
- **Projeção de Custos:** Com base nos dados coletados, os custos de construção e manutenção foram definidos da seguinte forma:
- **Alvenaria:** Custo de construção de R\$ 6.000 por m^2 , com manutenção trienal de R\$ 11.562,22.
- **Steel Frame:** Custo de construção de R\$ 5.234,66 por m^2 , com manutenção trienal de R\$ 9.150,12.
- **Wood Frame:** Custo de construção de R\$ 2.974,53 por m^2 , com manutenção trienal de R\$ 17.123,05 e manutenção anual de R\$ 2.000,34.

identificar qual método oferece maior longevidade.

2.3 Resultados e Discussões

A planilha de dados preliminares possibilitou uma análise comparativa clara entre os três sistemas, destacando as diferenças em termos de custos, sustentabilidade e manutenção. Essas informações foram essenciais para fundamentar as discussões sobre a viabilidade e a sustentabilidade de cada método construtivo abordado no trabalho, proporcionando uma visualização mais completa dos dados obtidos nas entrevistas, que se apresenta a seguir:

Tabela 1 – Dados para análise.

ALVENARIA		
CUSTO DO M ² DE ÁREA CONSTRUÍDA	R\$ 6.000,00	R\$ 600.000,00
DURABILIDADE (TEMPO)	35 ANOS	
GARANTIA (TEMPO)	4 ANOS	
MANUTENÇÃO ANUAL (PINTURA SIMPLES + MATERIAL DE PINTURA + MÃO DE OBRA) (\$)	R\$ 11.562,22	
RESÍDUOS (PESO)	18 CAÇAMBAS = 144 TONELADAS = 90m ³	VOLUME = 23,83
STEEL FRAME/DRY WALL		
CUSTO DO M ² DE ÁREA CONSTRUÍDA	R\$ 5.234,66	R\$ 528.700,66
DURABILIDADE (TEMPO)	35 ANOS	
GARANTIA (TEMPO)	4 ANOS	
MANUTENÇÃO ANUAL (PINTURA SIMPLES + MATERIAL DE PINTURA + MÃO DE OBRA) (\$)	R\$ 9.150,12	
RESÍDUOS (PESO)	5 CAÇAMBAS = 40 TONELADAS = 25m ³	VOLUME = 11,99
WOOD FRAME		
CUSTO DO M ² DE ÁREA CONSTRUÍDA	R\$ 2.974,53	R\$ 298.107,40
DURABILIDADE (TEMPO)	35 ANOS	
GARANTIA (TEMPO)	4 ANOS	
MANUTENÇÃO ANUAL (PINTURA SIMPLES + MATERIAL DE PINTURA + MÃO DE OBRA) (\$)	ANO 1= 2.000,34 - ANO 2= 17.123,05	
RESÍDUOS (PESO)	2 CAÇAMBAS = 16 TONELADAS = 10m ³	VOLUME = 25,88

Fonte: Das próprias autoras (2024).

Em relação ao custo de construção, a alvenaria apresenta o maior valor por metro quadrado, chegando a R\$6.000,00, resultando em um custo total de R\$600.000,00 para uma área de 100m². O *Steel Frame/Dry Wall*, por sua vez, tem um custo mais baixo, com R\$5.234,66 por metro quadrado, totalizando R\$528.700,66 por 101m². O *Wood Frame* se destaca por ser a opção mais econômica, com R\$ 2.974,53 por metro quadrado e um custo total de R\$ 298.107,40 por 100m². Esses valores indicam que o *Wood Frame* é significativamente mais acessível do que os outros dois métodos, especialmente em comparação com a alvenaria.

Não que diz respeito à durabilidade e garantia, não há diferença entre os três sistemas, todos oferecendo uma durabilidade estimada de 35 anos e uma garantia de 4 anos. Portanto, a escolha entre esses métodos não será influenciada por esses fatores, uma vez que todos apresentam uma longevidade estrutural semelhante.

Em termos de manutenção trienal, a alvenaria requer um custo de R\$

11.562,22, enquanto o *Steel Frame/Dry Wall* apresenta uma manutenção trienal mais acessível, de R\$ 9.150,12. O *Wood Frame*, embora tenha um custo de manutenção inicial relativamente baixo, de R\$2.000,34 no primeiro ano, registra um aumento significativo no segundo ano, com R\$17.123,05. Isso sugere que, apesar do menor custo inicial, o *Wood Frame* pode exigir maiores investimentos em manutenção ao longo do tempo, o que deve ser considerado no planejamento do projeto.

Em relação à geração de resíduos, o *Wood Frame* também se destaca como a opção mais sustentável, produzindo apenas 2 caçambas, equivalentes a 16 toneladas ou 10m³ de resíduos. O *Steel Frame/Dry Wall*, embora gere mais resíduos que o *Wood Frame*, ainda é uma solução mais sustentável do que a alvenaria, com 5 caçambas, 40 toneladas ou 25m³ de resíduos. A alvenaria, por outro lado, gera a maior quantidade de resíduos, com 18 caçambas, 144 toneladas ou 90m³, tornando-se a opção menos ecológica entre os três métodos.

Após a coleta dos dados preliminares, foram realizadas três reuniões com o professor de Economia, Carlos de Oliveira, nas quais desenvolvemos análises utilizando o método estatístico do Valor Presente Líquido (VPL), que se apresenta a seguir:

Tabela 2 – a: Tabela de dados com o método estatístico de VPL – Método Alvenaria.

ALVENARIA	
VALOR DO M ² DE ÁREA CONSTRUÍDA	6000
DURABILIDADE (TEMPO)	35 ANOS
GARANTIA (TEMPO)	4 ANOS
MANUTENÇÃO TRIENAL (PINTURA SIMPLES + MATERIAL DE PINTURA + MÃO DE OBRA) (\$)	11562,22
RESÍDUOS (PESO)	18 CAÇAMBAS= 144 TONELADAS = 90m ³
Custo a Valor Presente da construção em Alvenaria	-R\$ 613.724,33
Retorno exigido ao ano para empresas o ramo de construção civil no Brasil	22,57%

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 3 – b: Tabela com o tempo de manutenção do ano 0 ao ano 12.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-600000												
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-600000	0	0	-11562,2	0	0	-11562,2	0	0	-11562,2	0	0	-11562,2

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 4 – c: Tabela com o tempo de manutenção do ano 13 ao ano 24.

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0	-11562,2	0	0	-11562,2	0	0	-11562,2	0	0	-11562,2

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 5 – d: Tabela com o tempo de manutenção do ano 25 ao ano 35.

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
0	0	-11562,2	0	0	-11562,2	0	0	-11562,2	0	0

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 6 - a: Tabela de dados com o método estatístico de VPL – Método Steel Frame/ Dry Wall.

STEEL FRAME/DRY WALL	
VALOR DO M² DE ÁREA CONSTRUÍDA	R\$ 5.234,66
DURABILIDADE (TEMPO)	35 ANOS
GARANTIA (TEMPO)	4 ANOS
MANUTENÇÃO TRIENAL (PINTURA SIMPLES + MATERIAL DE PINTURA + MÃO DE OBRA) (\$)	R\$ 9.150,12
RESÍDUOS (PESO)	5 CAÇAMBAS = 40 TONELADAS = 25m3
Custo a Valor Presente da construção em Alvenaria	-R\$ 534.327,17
Retorno exigido ao ano para empresas o ramo de construção civil no Brasil	22,57%

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 7 – b: Tabela com o tempo de manutenção do ano 0 ao ano 12.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
				0	0	-9150,12	0	0	-9150,12	0	0	-9150,12

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 8 – C: Tabela com o tempo de manutenção do ano 13 ao ano 24.

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0	-9150,12	0	0	-9150,12	0	0	-9150,12	0	0	-9150,12

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 9 – d: Tabela com o tempo de manutenção do ano 25 ao ano 35.

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
0	0	-9150,12	0	0	-9150,12	0	0	-9150,12	0	0

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 10 – a: Tabela de dados com o método estatístico de VPL – Método Wood Frame.

WOOD FRAME	
VALOR DO M² DE ÁREA CONSTRUÍDA	R\$ 2.974,53
DURABILIDADE (TEMPO)	35 ANOS
GARANTIA (TEMPO)	4 ANOS
MANUTENÇÃO TRIENAL (PINTURA SIMPLES + MATERIAL DE PINTURA + MÃO DE OBRA) (\$) (tudo)	17.123,05
MANUTENÇÃO TRIENAL (PINTURA SIMPLES + MATERIAL DE PINTURA + MÃO DE OBRA) (\$) (deck)	2.000,00
RESÍDUOS (PESO)	2 CAÇAMBAS = 16 TONELADAS = 10m3
Custo a Valor Presente da construção em Alvenaria	-R\$ 324.258,00
Retorno exigido ao ano para empresas o ramo de construção civil no Brasil	22,57%

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 11 – b: Tabela com o tempo de manutenção do ano 0 ao ano 12.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-297453												
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-297453	-2.000,00	-2.000,00	-17123,1	-2.000,00	-2.000,00	-17123,1	-2000	-2000	-17123,1	-2000	-2000	-17123,1

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 12 – c: Tabela com o tempo de manutenção do ano 13 ao ano 24.

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
-2000	-2000	-17123,1	-2000	-2000	-17123,1	-2000	-2000	-17123,1	-2000	-2000	-17123,1

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 13 – Tabela com o tempo de manutenção do ano 25 ao ano 35.

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
-2000	-2000	-17123,1	-2000	-2000	-17123,1	-2000	-2000	-17123,1	-2000	-2000

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

Tabela 14 – Resultado.

O mais vantajoso é Wood Frame	-R\$ 324.258,00
--------------------------------------	------------------------

Fonte: Carlos de Oliveira, 2024.

O método de construção em *Wood Frame* apresenta-se como uma opção economicamente vantajosa quando analisado sob o método estatístico de Valor Presente Líquido (VPL). Essa metodologia permite avaliar os fluxos de caixa futuros associados ao *Wood Frame*, trazendo-os ao valor atual e demonstrando a superioridade financeira dessa alternativa em comparação a métodos tradicionais de construção em alvenaria e *Steel Frame*. Dessa forma, o VPL comprova que o *Wood Frame* oferece não só um retorno financeiro mais atrativo ao longo do tempo, mas também uma estrutura de custos mais eficiente, com economia de recursos e uma

maior velocidade de execução das obras.

3 CONCLUSÃO

Em conclusão, este estudo contribui para o conhecimento de três técnicas, que estão disponíveis no mercado da construção civil. Por meio de análises ambientais e econômicas possibilitam uma visão mais ampla dos benefícios tecnológicos e vantagens competitivas que os modelos oferecem para quem optar por utilizá-los ao realizar uma construção.

O método de construção modular de madeira, o *Wood Frame*, se destaca no tópico ambiental por utilizar como matéria prima a madeira de reflorestamento que é manejada em fábricas e, ainda, adota logística que visa o menor desperdício possível, além de, maior durabilidade.

No longo prazo, esta solução possibilita um menor descarte de materiais e embalagens para a manutenção.

Já no tópico economia, o *Wood Frame* continua se destacando, já que seu custo para construção, entre os três métodos apresentados, é o mais acessível. Mesmo ao longo de 30 anos de manutenção continua tendo o valor mais baixo.

Os resultados sugerem que, de fato, a construção modular de madeira de reflorestamento é a mais sustentável e viável financeiramente e, ao invés do tradicionalmente adotado (tijolo, ferro e concreto), deve ser a opção mais utilizada e ofertada na construção civil para minimizar os impactos ambientais deste tipo de atividade.

REFERÊNCIAS

AVERSI-FERREIRA, Tales Alexandre. **Alguns comentários sobre o uso das construções do tipo dry wall no Brasil**. Engineering Sciences, v. 6, n. 1, p. 21-31, 2018.

BRASILEIRO, Luzana Leite; MATOS, José Milton Elias de. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica, v. 61, p. 178-189, 2015.

DE MELO RUFFO, Thiago Leite; DE ANDRADE CÂNDIDO, Allan César; BARBOSA FILHO, Fabio Augusto Dias. **A construção da “SalaEco” como proposta experimental e pedagógica: a materialização de um espaço sustentável utilizando técnicas de bioconstrução**. Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, 2022.

FARIAS, THALIA OLIVEIRA et al. **Uso do tijolo de solo-cimento na construção civil e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável—uma revisão da literatura.** 2023.

FERREIRA, Tamiris Capellaro. **Impactos e desafios da construção civil brasileira para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LACERDA, Italo Manuel; GONÇALVES. **UMA ANÁLISE COMPARATIVA DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS ENTRE A ALVENARIA ESTRUTURAL E A ALVENARIA CONVENCIONAL:** uma revisão de literatura. RevistaFT, 2022.

Leal, A. P.. (2021). **RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO SOBRE AS POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO.** Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação, 2021.

MAURICIO, Cauê Cesar; DE PINHO ARAUJO, Eliete. **Bioconstrução:** Estudo de caso: projeto e construção da casa ecológica modelo. Programa de Iniciação Científica-PIC/UniCEUB-Relatórios de Pesquisa, v. 2, n. 1, 2016.

ROQUE, Rodrigo Alexander Lombardi; PIERRI, Alexandre Coan. **Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil.** Research, society and development, v. 8, n. 2, p. e3482703-e3482703, 2019.

RUBIN, Graziela Rossatto; BOLFE, Sandra Ana. **O desenvolvimento da habitação social no Brasil.** Ciência e Natura, v. 36, n. 2, p. 201-2013, 2014.

SOUZA, JRC; SILVA, AF. **Comparação entre alvenaria estrutural e sistemas modulares:** um estudo sobre custos e tempo de obra. Revista Brasileira de Engenharia Civil, v. 4, 2021.