

Comparativo de custos dos sistemas Wood Frame e Concreto armado utilizando BIM 5D

Cost comparison of Wood Frame and Reinforced Concrete systems using 5D BIM.

Leandro Dias Viana, Mestre em Construção Civil – UFMG

leandrodv@ufmg.br

Danielle Meireles de Oliveira, Doutora em Estruturas – UFMG

daniellemdo@ufmg.br

Sidnea Eliane Campos Ribeiro, Doutora em Estruturas – UFMG

sidnea@ufmg.br

Número da sessão temática da submissão – []

Resumo

Este artigo compara os custos de construção dos sistemas *wood frame* e convencional (concreto armado e alvenaria) utilizando a metodologia BIM 5D. O sistema *wood frame* usa paredes estruturais de madeira (pinus) travadas com chapa OSB (*Oriented Strand Board*). O objetivo principal do estudo é analisar a viabilidade econômica do *wood frame* para edifícios no Brasil em comparação ao método convencional. A pesquisa contempla a modelagem de um edifício de três pavimentos em ambos os sistemas usando a tecnologia *Building Information Modeling* (BIM). Em seguida, elabora-se o orçamento de cada um através do BIM 5D para a comparação de custos. O resultado é uma análise comparativa que pode auxiliar como base científica para a implementação do *wood frame* no país. O estudo também apresenta os benefícios do uso do BIM para extração de quantitativos no software Revit e simulação da construção com Navisworks, além de aspectos técnicos e um procedimento combinado de modelagem e orçamentação BIM para edificações em *wood frame*.

Palavras-chave: BIM; *Wood frame*; Orçamento

Abstract

This article compares the construction costs of wood frame and conventional structural systems (reinforced concrete and masonry) using the BIM 5D methodology. The wood frame system utilizes structural walls made of wood (pine), braced with OSB (Oriented Strand Board) sheets. The main objective of the study is to analyze the economic viability of the wood frame system for buildings in Brazil compared to the conventional method. The research models a three-story building in both systems using Building Information Modeling (BIM). Subsequently, the budget for each is prepared using BIM 5D for cost comparison. The result is a comparative analysis that provides a scientific basis for the implementation of wood frame in the country. The study also presents the benefits of using BIM for extracting quantities in Revit software and simulating construction with Navisworks, in addition to technical aspects and a combined procedure for BIM modeling and budgeting for wood frame buildings.

Keywords: BIM; *Wood Frame*; Budgets

1. Introdução

A construção civil brasileira é um dos setores de maior impacto ambiental e consumo de recursos naturais, responsável por elevada geração de resíduos sólidos e consumo de energia. De acordo com Zaparte (2014), grande parte desses resíduos é descartada irregularmente, contribuindo para a degradação ambiental. Nesse contexto, surge a necessidade de métodos construtivos mais eficientes e menos agressivos ao meio ambiente, mas que mantenham a viabilidade econômica e o conforto habitacional.

Entre as soluções possíveis, o sistema construtivo *wood frame* desponta como uma alternativa promissora. Trata-se de um método industrializado, amplamente difundido em países como Canadá, Estados Unidos, Chile e diversos países europeus, cuja estrutura é formada por montantes de madeira provenientes de áreas de reflorestamento, tratadas para proteção contra cupins e intempéries (Molina; Calil Júnior, 2010). Além disso, o sistema reduz o tempo de execução das obras e otimiza o uso de materiais, representando avanço significativo frente ao modelo tradicional de alvenaria e concreto armado (Espíndola, 2017).

A adoção de novas tecnologias, tanto no campo construtivo quanto no projeto, tem se mostrado essencial para modernizar o setor. A metodologia *Building Information Modeling* (BIM) permite criar representações digitais precisas das edificações, possibilitando análises prévias de custos, cronogramas e desempenho construtivo. O BIM 5D, em especial, integra o modelo tridimensional com o orçamento, permitindo simular cenários financeiros e reduzir imprecisões na estimativa de custos (Santos; Antunes; Balbinot, 2014).

O presente estudo, portanto, busca comparar os custos dos sistemas construtivos *wood frame* e concreto armado para um edifício residencial de três pavimentos, utilizando a metodologia BIM 5D. A pesquisa pretende contribuir para a disseminação de práticas inovadoras na construção civil brasileira, oferecendo uma análise quantitativa e técnica sobre a viabilidade econômica do *wood frame* no contexto nacional.

2. Objetivos e Justificativa

A crescente escassez de recursos naturais e a necessidade de racionalização de materiais tornam urgente a adoção de métodos construtivos mais eficientes. O *wood frame*, por utilizar madeira de reflorestamento e apresentar alto desempenho térmico e acústico, representa uma alternativa mais racional e ecológica à alvenaria convencional. Outro aspecto relevante é a rapidez construtiva: o primeiro edifício em *wood frame* no Brasil, construído em Araucária (PR) em 2016 (Figura 1), foi montado em apenas 64 horas, demonstrando o potencial do sistema para redução de prazos e custos indiretos.



Figura 1 – Primeiro prédio em *wood frame* construído no Brasil. Fonte: Tecverde (2016).

Dentro deste contexto, o presente trabalho busca analisar a viabilidade econômica da utilização do sistema construtivo *wood frame* como alternativa ao sistema convencional em concreto armado e alvenaria, utilizando a metodologia BIM 5D como ferramenta de comparação e quantificação de custos.

Essa análise se justifica, portanto, pela necessidade de base científica para validar a viabilidade técnica e econômica do *wood frame* no Brasil. Além disso, o estudo contribui para aproximar a engenharia e a arquitetura de práticas mais integradas e digitalizadas, reforçando o papel do BIM como ferramenta estratégica para o planejamento e controle de obras.

3. Revisão Bibliográfica

Esta seção apresenta os fundamentos teóricos dos sistemas construtivos comparados — concreto armado e alvenaria versus *wood frame* — e da metodologia *Building Information Modeling* (BIM), com foco no BIM 5D, que integra modelagem, planejamento e custos.

O sistema de concreto armado e alvenaria de vedação é o método construtivo predominante no Brasil. Estruturalmente, consiste em pilares, vigas e lajes de concreto, com paredes em blocos cerâmicos ou de concreto destinados apenas ao fechamento e à separação dos ambientes — não portantes. O sistema convencional, embora consolidado, apresenta defasagem tecnológica e altos índices de resíduos sólidos. No entanto, a modernização gradual com a adoção de processos industrializados já começa a reduzir tais impactos (Souza, 2013).

O *wood frame* é um sistema industrializado, formado por uma estrutura de montantes de madeira tratada e chapas estruturais OSB (*Oriented Strand Board*). O método é amplamente utilizado em países como Suécia, Canadá, Chile e Estados Unidos, e foi introduzido no Brasil por imigrantes alemães na região Sul (Tecverde, 2012).

No Brasil, o material sofreu preconceito histórico por estar associado a moradias populares e uso de madeiras de baixa qualidade. Contudo, o desenvolvimento de componentes padronizados e o uso de madeiras de reflorestamento certificadas vêm revertendo essa percepção (Meirelles, 2005; Paese, 2012).

O *wood frame* integra o Sistema de Construção Energética Sustentável (CES), caracterizado por racionalização de materiais, menor consumo energético e rápida execução (Tecverde, 2012). Segundo Molina e Calil Júnior (2010), sua eficiência térmica e acústica supera a da alvenaria tradicional, sendo compatível com as exigências de conforto e durabilidade.

3.1. Etapas do processo construtivo em *Wood Frame*

O processo construtivo em *Wood Frame* envolve uma sequência de etapas tecnicamente coordenadas que garantem o desempenho estrutural, a precisão executiva e a eficiência global do sistema. Diferentemente dos métodos convencionais, essa tecnologia demanda planejamento prévio detalhado, integração entre projeto e execução e rigor no controle de materiais, já que grande parte dos componentes é industrializada e depende de cortes, espaçamentos e encaixes padronizados. Assim, compreender cada fase — desde o preparo do terreno e a fundação até a montagem das paredes, instalações, fechamentos e acabamentos — torna-se fundamental para assegurar qualidade, rapidez e conformidade técnica, permitindo que o sistema alcance seu potencial em termos de desempenho e competitividade no cenário da construção civil contemporânea.

3.1.1. Fundação em Radier

Devido ao menor peso da estrutura, o radier é a solução de fundação mais comum no *wood frame*. Ele consiste em uma laje de concreto armado apoiada diretamente sobre o solo, distribuindo uniformemente as cargas da edificação. Essa fundação é adequada a terrenos planos e permite execução rápida e precisa (Paese, 2012).

A fixação das paredes à fundação é realizada com ganchos embutidos no concreto ou parafusos do tipo parabolt. Esse processo garante a estabilidade da estrutura frente às cargas horizontais e às pressões de vento (Dias, 2005).

3.1.2. Estrutura

A estrutura do *wood frame* é composta por paredes autoportantes, com montantes de madeira espaçados entre 40 e 60 cm, conectados por guias superior e inferior. Os painéis de OSB proporcionam resistência mecânica e servem como contraventamento (Zaparte, 2014; Molina; Calil Júnior, 2010).

Os montantes e painéis são fixados com pregos galvanizados, enquanto o isolamento térmico e acústico é obtido com lã mineral e placas de gesso acartonado. A semelhança com a alvenaria estrutural é notável, pois ambas utilizam paredes portantes (Sacco; Stamato, 2008).

3.1.3. Cobertura Shingle

A cobertura *shingle* é composta por treliças industrializadas de madeira e telhas asfálticas, comuns em edificações norte-americanas. A estrutura reduz o peso da cobertura em até 40% e requer espaçamentos de 60 a 120 cm entre as treliças. A manta de subcobertura e os beirais ventilados garantem estanqueidade e ventilação adequadas, prevenindo acúmulo de

umidade (Molina; Calil Júnior, 2010).

3.2. Building Information Modeling

O BIM é um conjunto de tecnologias e processos colaborativos aplicados ao ciclo de vida de edificações, desde o projeto até a operação (Succar, 2009).

O modelo tridimensional pode incorporar diversas “dimensões” (nD), agregando, por exemplo, planejamento (4D), custos (5D) e manutenção (6D) (Ferreira, 2013 Smith, 2014). Na Figura 2 demonstra-se o ciclo de vida de uma edificação, a ferramenta BIM pode ser utilizada para gerenciar todas as etapas.

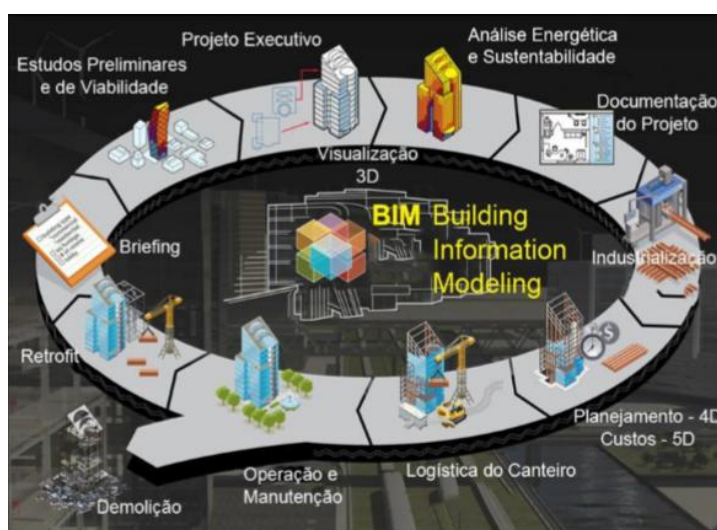


Figura 2 – BIM e o ciclo de vida na edificação. Fonte: Santa Catarina (2014, p. 7).

O BIM 5D integra o modelo geométrico (3D) ao orçamento, permitindo extrair quantitativos automaticamente e reduzir falhas humanas. Estudos de Amiri (2012) e Eastman *et al.* (2011) comprovam que a metodologia gera estimativas de custos mais precisas e rápidas, com menor margem de erro que os métodos tradicionais baseados em projetos 2D.

A automatização do levantamento de quantitativos e a atualização dinâmica dos valores orçamentários proporcionam maior confiabilidade e eficiência no processo de tomada de decisão (Pinto, 2018).

3.3. Estudos Comparativos entre *Wood Frame* e Concreto Armado

Embora ainda escassos no Brasil, estudos têm demonstrado o potencial econômico do *wood frame*. Ferreira (2013) identificou redução média de 10% nos custos de habitações construídas em *wood frame* em relação à alvenaria. Souza (2013) observou economia de 13,6% em um estudo de 51 m², e Leite (2017) confirmou a viabilidade econômico-financeira do sistema para habitações de interesse social no Ceará.

Essas pesquisas reforçam que o sistema é competitivo e apresenta vantagens construtivas e operacionais, como menor prazo e desperdício reduzido. O presente estudo amplia tais resultados ao aplicar o BIM 5D como método comparativo, preenchendo uma lacuna relevante na literatura brasileira.

4. Metodologia

A metodologia deste estudo baseia-se em uma abordagem quantitativa e experimental, com a aplicação da modelagem BIM 5D para comparar os custos de execução entre os sistemas construtivos *wood frame* e concreto armado em uma edificação residencial de três pavimentos. O processo metodológico foi estruturado em cinco etapas principais:

1. Revisão bibliográfica;
2. Definição do projeto-padrão;
3. Modelagem BIM;
4. Orçamentação 5D;
5. Análise comparativa dos resultados.

4.1. Caracterização do Estudo

O edifício analisado é um bloco residencial multifamiliar de três pavimentos, com área total construída de 324 m². O projeto foi desenvolvido de forma idêntica para ambos os sistemas construtivos, alterando apenas as soluções estruturais e de fechamento. Na Figura 3 apresenta-se o projeto arquitetônico de referência utilizado como base para a modelagem BIM.

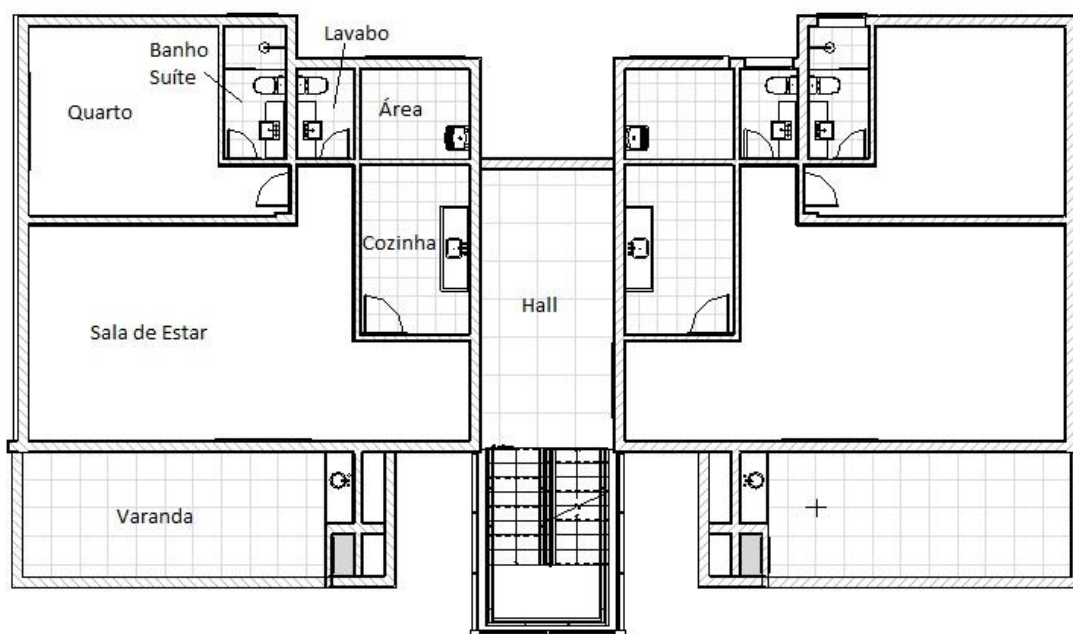


Figura 3 – Projeto arquitetônico do edifício utilizado no estudo. Fonte: Os autores (2020).

4.2. Etapas da Pesquisa

O desenvolvimento metodológico foi organizado em etapas sequenciais e integradas, conforme o fluxograma do Quadro 1.

Quadro 1 – Etapas do processo metodológico da pesquisa

Sistema Construtivo	Etapas da pesquisa				
	Etapa 1 - Revisão bibliográfica	Etapa 2 - Modelagem BIM	Etapa 3 - Extração dos quantitativos (BIM 5D)	Etapa 4 - Elaboração dos orçamentos	Etapa 5 - Análise comparativa
Wood Frame	Artigos científicos, dissertações e teses	<i>Revit Extension Wood Framing</i>	Revit	Excel, composições de custos do site gerador de preços	Desenvolvida pelos autores
Concreto armado com alvenaria convencional	Artigos científicos, dissertações e teses	Revit	Revit	Excel, composições de custos do SINAPI	Desenvolvida pelos autores

Fonte: Os autores (2020).

4.2.1. Modelagem BIM

A modelagem foi realizada no *software* Autodesk Revit 2020, com o apoio do plug-in *Revit Extension Wood Framing* para geração automática das estruturas em madeira. O mesmo modelo foi adaptado para o sistema convencional em concreto armado. Os componentes foram modelados com base em famílias paramétricas, permitindo a extração automatizada de quantitativos para ambas as tipologias construtivas.

Na Figura 4 apresenta-se os modelos tridimensionais desenvolvidos para cada sistema construtivo. Em ambos os casos, o projeto arquitetônico e os parâmetros geométricos foram mantidos idênticos, alterando-se apenas a tecnologia estrutural e os elementos construtivos.

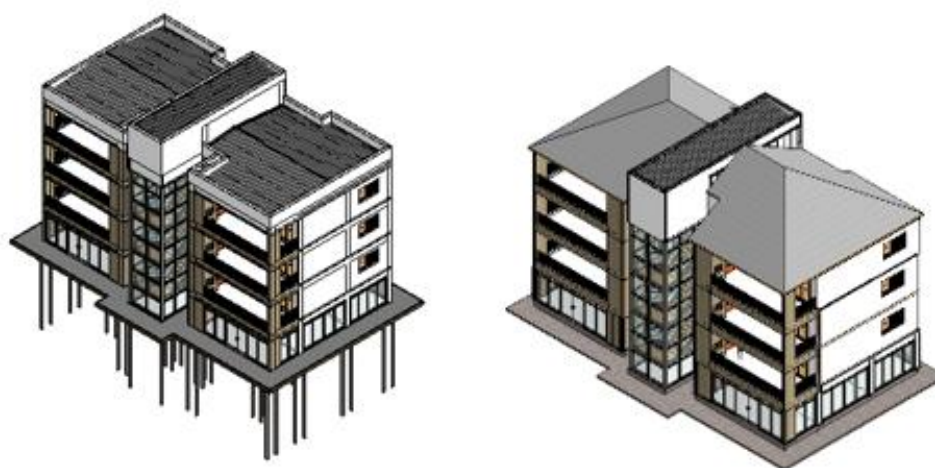
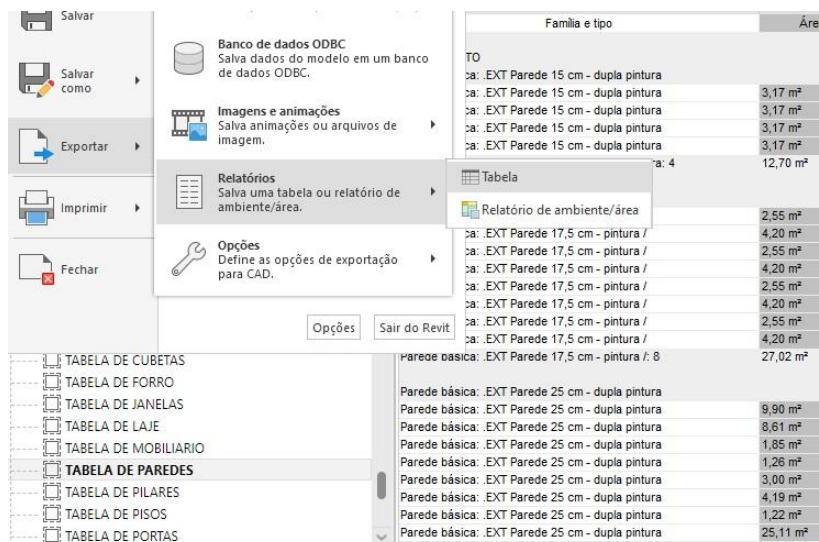


Figura 4 – Modelos tridimensionais do edifício. Fonte: Os autores (2020).

4.2.2. Elaboração dos orçamentos

Após a modelagem, foram extraídos quantitativos detalhados de materiais e serviços,

vinculados a cada elemento construtivo. Os quantitativos foram exportados do Revit em formato .csv e tratados no Microsoft Excel, conforme ilustrado na Figura 5.



Família e tipo	Área
TO	
ca: EXT Parede 15 cm - dupla pintura	
ca: EXT Parede 15 cm - dupla pintura	3,17 m²
ca: EXT Parede 15 cm - dupla pintura	3,17 m²
ca: EXT Parede 15 cm - dupla pintura	3,17 m²
ca: EXT Parede 15 cm - dupla pintura	3,17 m²
ca: 4	12,70 m²
Tabela	
Relatório de ambiente/área	2,55 m²
ca: EXT Parede 17,5 cm - pintura /	4,20 m²
ca: EXT Parede 17,5 cm - pintura /	2,55 m²
ca: EXT Parede 17,5 cm - pintura /	4,20 m²
ca: EXT Parede 17,5 cm - pintura /	2,55 m²
ca: EXT Parede 17,5 cm - pintura /	4,20 m²
ca: EXT Parede 17,5 cm - pintura /	2,55 m²
ca: EXT Parede 17,5 cm - pintura /	4,20 m²
Parede básica: EXT Parede 17,5 cm - pintura /	27,02 m²
Parede básica: EXT Parede 25 cm - dupla pintura	
Parede básica: EXT Parede 25 cm - dupla pintura	9,90 m²
Parede básica: EXT Parede 25 cm - dupla pintura	8,61 m²
Parede básica: EXT Parede 25 cm - dupla pintura	1,85 m²
Parede básica: EXT Parede 25 cm - dupla pintura	1,26 m²
Parede básica: EXT Parede 25 cm - dupla pintura	3,00 m²
Parede básica: EXT Parede 25 cm - dupla pintura	4,19 m²
Parede básica: EXT Parede 25 cm - dupla pintura	1,22 m²
Parede básica: EXT Parede 25 cm - dupla pintura	25,11 m²

Figura 5 – Extração de quantitativos a partir do modelo BIM. Fonte: Os autores (2020).

As composições foram estruturadas em planilhas de orçamento analítico, contemplando insumos, mão de obra, equipamentos e encargos sociais, a data-base do orçamento para ambos os sistemas construtivos é Outubro/2019.

Para o sistema *wood frame*, as composições foram baseadas no Gerador de Preços (2019), que adota parâmetros nacionais para paredes estruturais, painéis OSB e componentes de cobertura, já para o edifício em concreto armado e alvenaria, foi adotado predominantemente a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI.

Os modelos foram exportados para o *software* Autodesk Navisworks Manage, que permitiu a compatibilização entre as disciplinas de projeto e a simulação 4D, conforme ilustrado na Figura 6.

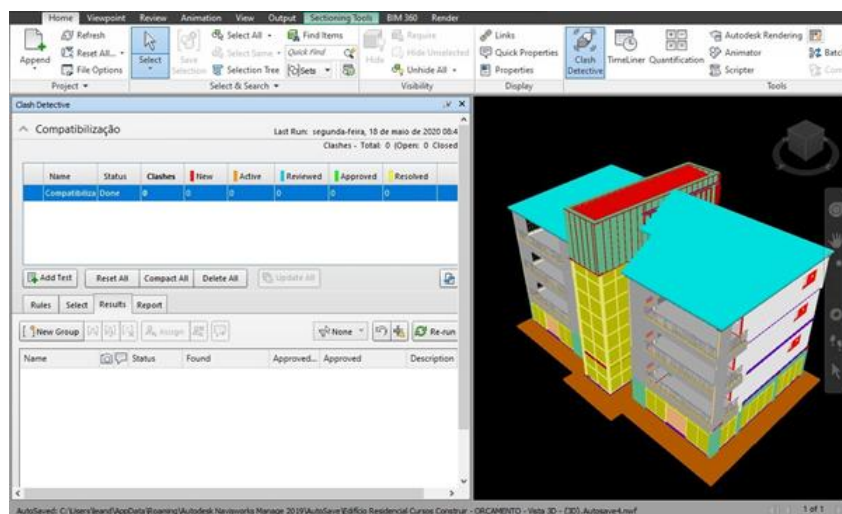


Figura 6 – Compatibilização dos modelos e simulação 5D no Navisworks. Fonte: Os autores (2020).

Essa integração possibilitou verificar conflitos geométricos, sobreposições e erros de modelagem, além de validar os quantitativos utilizados nas planilhas. Os resultados orçamentários foram, então, processados e analisados no Excel, permitindo a comparação direta dos custos totais e unitários por metro quadrado entre os sistemas construtivos.

A metodologia utilizada neste estudo permitiu integrar ferramentas BIM com fontes de custo oficiais, garantindo maior precisão e rastreabilidade dos dados. Esta estrutura assegurou que a comparação entre os sistemas construtivos fosse baseada em parâmetros técnicos equivalentes, proporcionando análise objetiva e verificável sobre a viabilidade econômica do *wood frame* frente ao concreto armado no contexto brasileiro.

5. Resultados e Discussão

Os resultados foram obtidos a partir das modelagens realizadas no Autodesk Revit, integradas aos *softwares* Navisworks e Microsoft Excel, e representam a síntese dos quantitativos, custos e análises comparativas dos sistemas construtivos em concreto armado e *wood frame*.

A aplicação da metodologia BIM 5D possibilitou maior precisão no levantamento de materiais, redução de inconsistências entre as disciplinas e visualização simultânea de custo e cronograma. A modelagem no Revit permitiu extrair automaticamente quantitativos detalhados para paredes, pisos, lajes, coberturas e fundações. O modelo em *wood frame* apresentou redução significativa no volume de concreto e aço, evidenciando sua leveza estrutural e racionalização de materiais.

A redução global de aproximadamente 4,4% no custo do *wood frame* em relação ao concreto armado está diretamente associada à menor demanda de mão de obra e tempo de execução, uma vez que os custos indiretos tiveram redução de 81%, os custos diretos ainda se apresentam um pouco superiores devido principalmente a pouca disponibilidade de alguns materiais que são utilizados no sistema construtivo *wood frame*. Na Tabela 1 apresenta-se o comparativo dos custos diretos e indiretos para cada sistema construtivo. Custos diretos são aqueles facilmente atribuídos a um produto ou obra, como materiais e mão de obra diretamente empregada; por exemplo, concreto e operários em uma construção. Já os custos indiretos não se vinculam a um único objeto, envolvendo despesas gerais como administração e energia; por exemplo, o salário de um engenheiro que atua em várias obras.

Tabela 1 – Comparativo dos custos diretos e indiretos (R\$)

Item	Obra	Concreto Armado e Alvenaria	Wood frame	Variação	
				R\$	%
1	Custos Indiretos	142.430,49	27.052,03	-115.378,46	-81,0%
2	Custos Diretos	1.433.992,97	1.479.645,39	45.652,42	3,2%
	Total Geral	1.576.423,46	1.506.697,42	-69.726,04	-4,4%

Fonte: Os autores (2020).

5.1. Custos por Macro atividade

Neste tópico demonstra-se a análise comparativa dos resultados de custos obtidos para

os sistemas construtivos para cada etapa de execução da obra. A análise mostra que a maior economia ocorre nas etapas de estrutura, revestimentos e fundação. A economia total é reforçada pelo tempo de execução reduzido, estimado em 30% menor no sistema *wood frame*, o que faz com que reduza os custos indiretos para administração da obra. Essa diferença reflete o caráter industrializado do sistema, em que paredes e painéis podem ser produzidos fora do canteiro, permitindo montagem rápida e limpa. Na Tabela 2 apresenta-se o comparativo entre os custos de macro atividades.

Tabela 2 – Comparativo dos custos por macro atividade (R\$)

Item	Obra	Concreto Armado e Alvenaria	Wood frame	Variação	
				R\$	%
1	Instalação do Canteiro	48.795,39	11.446,18	-37.349,21	-76,5%
2	Implantação da Obra	700,64	193,28	-507,36	-72,4%
3	Movimento de Terra	580,87	580,87	0,00	0,0%
6	Fundações Indiretas / Profundas	39.577,84	-	-39.577,84	-100,0%
7	Fundações Diretas / Superficiais	49.922,95	43.709,44	-6.213,51	-12,4%
8	Estrutura	408.896,54	113.314,85	-295.581,69	-72,3%
9	Paredes	96.605,60	337.356,93	+240.751,33	+249,2%
10	Cobertura	38.281,40	47.510,47	+9.229,07	+24,1%
11	Impermeabilizações	44.231,35	158.879,28	+114.647,93	+259,2%
12	Esquadrias de Madeira	33.979,06	33.979,06	0,00	0,0%
13	Esquadrias Metálicas	100.715,11	100.715,11	0,00	0,0%
16	Revestimento Interno	97.667,09	32.735,38	-64.931,71	-66,5%
17	Revestimento Externo	159.523,33	122.220,32	-37.303,01	-23,4%
18	Pisos	103.585,00	82.835,74	-20.749,26	-20,0%
19	Rodapés, Soleiras e Peitoris	6.930,43	6.930,43	0,00	0,0%
20	Bancadas e Prateleiras	17.083,05	17.083,05	0,00	0,0%
22	Fechamentos e Vedações	147.261,50	226.632,47	+79.370,97	+53,9%
23	Forros	6.899,20	68.008,90	+61.109,70	+885,8%
24	Pinturas	50.469,45	34.393,38	-16.076,07	-31,9%
25	Tratamentos Especiais	-	24.225,87	+24.225,87	+100,0%
26	Instalações Hidro Sanitárias	19.518,15	19.518,15	0,00	0,0%
34	Elementos Diversos	1.032,68	1.032,68	0,00	0,0%
35	Limpeza / Bota Fora	10.531,73	7.789,73	-2.742,00	-26,0%
50	Administração Local	93.635,10	15.605,85	-78.029,25	-83,3%
	Total Geral	1.576.423,46	1.506.697,42	-69.726,04	-4,4%

Fonte: Os autores (2020).

5.2. Discussão dos Resultados

A análise integrada dos dados confirma que o sistema *wood frame*, aliado à metodologia BIM 5D, apresenta vantagens competitivas relevantes sobre o sistema tradicional de concreto armado:

- Menor custo global ($\approx 4,4\%$);
- Prazo de execução reduzido ($\approx 30\%$);

Outro aspecto importante é a precisão orçamentária aprimorada pela integração de dados BIM. Esses resultados reforçam que o BIM é não apenas uma ferramenta de modelagem, mas também de gestão estratégica, capaz de auxiliar engenheiros e arquitetos na tomada de decisões baseadas em dados.

6. Considerações finais

O presente estudo analisou de forma comparativa os sistemas construtivos *wood frame* e concreto armado em uma edificação residencial multifamiliar, utilizando a metodologia BIM 5D para integrar projeto, quantificação e orçamento. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica, econômica e operacional do *wood frame* como alternativa ao sistema convencional, especialmente para empreendimentos habitacionais e de pequeno a médio porte.

Do ponto de vista técnico, observou-se que o *wood frame* oferece vantagens construtivas expressivas: leveza estrutural, menor consumo de concreto e aço, montagem rápida e menor geração de resíduos.

A redução de 4,4% no custo global e a diminuição de 30% no prazo de execução confirmam o potencial do sistema para atender à demanda por edificações mais rápidas e acessíveis no contexto brasileiro.

A pesquisa também destacou o papel estratégico da metodologia BIM como ferramenta de apoio à decisão, pois permite a integração entre projetistas, engenheiros, orçamentistas e gestores de obra. Ao incorporar as dimensões de tempo (4D) e custo (5D), o BIM possibilita o planejamento dinâmico e o controle em tempo real do desempenho financeiro da obra. Essa característica transforma a modelagem em uma plataforma de gestão colaborativa, superando o uso meramente representacional dos projetos 2D.

Entretanto, a implementação do *wood frame* em larga escala no Brasil ainda enfrenta desafios culturais e normativos. A ausência de mão de obra especializada e a limitada oferta de fornecedores de componentes industrializados dificultam sua adoção generalizada. Essas barreiras, contudo, podem ser superadas com políticas públicas de incentivo, capacitação profissional e parcerias entre universidades e empresas do setor, como já ocorre em países que dominam essa tecnologia.

Referências

AMIRI, A. Automation in construction project cost estimation. **Journal of Construction Engineering**, v. 12, p. 45–53, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16936: Edificações em *light wood frame*. Rio de Janeiro, 2023. 51 p.

DIAS, A. **Conexões estruturais em sistemas leves de madeira**. 2005. USP, 2005.

- EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.** 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.
- ESPÍNDOLA, L. **Sistemas construtivos inovadores: o caso do wood frame no Brasil.** 2017. UFPR, 2017.
- FERREIRA, R. **Comparativo de custos dos sistemas construtivos em Pelotas/RS.** 2013. UFPel, 2013.
- GERADOR DE PREÇOS. **Gerador de preços para construção civil.** São Paulo, 2019. Disponível em: http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas/Madeira/Wood_frame.html. Acesso em: 29 out. 2019.
- LEITE, J. **Viabilidade econômico-financeira do sistema construtivo wood frame no Ceará.** 2017. UFC, 2017.
- MEIRELLES, R. **Habitação e industrialização no Brasil: o papel da madeira.** 2005. UFRGS, 2005.
- MOLINA, J. C.; CALIL JÚNIOR, C. **Wood Frame: tecnologia construtiva em madeira.** São Paulo: USP, 2010.
- PAESE, L. **Sistemas construtivos em madeira no Brasil.** 2012. UFSC, 2012.
- PINTO, F. **Uso do BIM na estimativa de custos: estudo de caso em edificação habitacional.** 2018. UNICAMP, 2018.
- SACCO, R.; STAMATO, M. **Paredes estruturais em sistemas leves de madeira.** 2008. UFSCar, 2008.
- SANTOS, E.; ANTUNES, M.; BALBINOT, A. Integração do BIM 5D em projetos de engenharia. **Revista da Construção Digital**, v. 2, n. 1, p. 10–24, 2014.
- SMITH, P. BIM and the 5D cost management revolution. **Procedia Engineering**, v. 85, p. 475–482, 2014.
- SOUZA, R. **Análise comparativa dos custos da alvenaria e wood frame.** 2013. UFSC, 2013.
- SUCCAR, B. Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, p. 357–375, 2009.
- TECVERDE. **Desenvolvimento de Tecnologia Wood Frame para Habitações de Interesse Social.** Curitiba, 2012. Disponível em: <https://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/CBIC-2012-Desenvolvimento-de-Tecnologia-Wood-Frame-para-Habitac%CC%A7o%CC%83es-Sustenta%CC%81veis.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2020.
- TECVERDE. **Relatório técnico sobre o primeiro edifício em wood frame no Brasil.** Curitiba, 2016.
- ZAPARTE, D. **Gestão de resíduos na construção civil.** 2014. UNISINOS, 2014.