

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Frederico Blazoudakis Büneker

**ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD FRAME* COMO
ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO
BRASIL**

Santa Maria, RS, Brasil
2019

Frederico Blazoudakis Büneker

**ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD FRAME* COMO
ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO
BRASIL**

Trabalho de Conclusão do Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,
RS), como requisito parcial para obtenção do
grau de **Engenheiro Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Alberto Oss Vaghetti

Santa Maria, RS
2019

Frederico Blazoudakis Büneker

**ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD FRAME* COMO ALTERNATIVA
PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Santa Maria
(UFSM, RS), como requisito parcial para a
obtenção do grau de Engenheiro Civil.**

Aprovado em 16 de dezembro de 2019:

Marcos Alberto Oss Vaghetti, Prof. Dr. (UFSM)
(Orientador)

Marco Antônio Silva Pinheiro, Prof. Dr. (UFSM)

Fernando Marcuzzo Dotto, Prof. (UFSM)

Santa Maria, RS

2019

RESUMO

ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD FRAME* COMO ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL

AUTOR: Frederico Blazoudakis Büneker
ORIENTADOR: Marcos Alberto Oss Vaghetti

O conceito de desenvolvimento sustentável deve estar aliado a todos os setores da sociedade, visando dessa forma atender suas necessidades atuais e atingir os avanços esperados, sem que ocorra o comprometimento de recursos das futuras gerações. O setor da construção civil além de ter grande importância no cenário mundial devido ao desenvolvimento econômico e social que proporciona, também impacta diretamente no desenvolvimento sustentável de uma nação. Tais impactos estão atrelados especialmente ao grande consumo de recursos naturais, alta geração de resíduos, emissão de gases, e alto consumo de água e energia. O presente trabalho busca analisar o *wood frame* como um sistema construtivo alternativo no Brasil, comparando-o em diferentes aspectos com outros métodos mais populares. Após a análise dos estudos, o *wood frame* confirmou ser um sistema com maior produtividade, maior conforto e qualidade, e menor impacto ambiental. Também se mostrou mais acessível do que sistemas convencionais, apresentando-se dessa forma como uma alternativa a ser considerada para o desenvolvimento sustentável no país.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável; Sistema construtivo; *Wood Frame*.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE *WOOD FRAME* CONSTRUCTIVE SYSTEM AS AN ALTERNATIVE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN BRAZIL

AUTHOR: Frederico Blazoudakis Büneker

ADVISER: Marcos Alberto Oss Vaghetti

The concept of sustainable development must be allied to all sectors of society, aiming to meet their current needs and achieve the expected advances, without compromising the natural resources of future generations. The civil construction sector is not only of great importance on the world due to the economic and social development it provides, it also directly impacts the sustainable development of a nation. Such impacts are linked especially to the large consumption of natural resources, high waste generation, gas emissions, and high consumption of water and energy. The present work seeks to analyze *wood frame* as an alternative construction system in Brazil, comparing it in different aspects with other more popular methods. After analyzing the studies, the *wood frame* confirmed to be a system with higher productivity, greater comfort and quality, and lower environmental impact. It was also more accessible than conventional systems, presenting itself as an alternative to be considered for sustainable development in the country.

Palavras-chave: Sustainable Development; Construction System; *Wood Frame*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	15
Figura 2: Fundação em radier	28
Figura 3: Elementos da composição do painel de parede.....	29
Figura 4: Ossatura de parede com aberturas de porta e janela	30
Figura 5: Membrana hidrófuga utilizada no sistema em wood frame	31
Figura 6: Residência em wood frame com estilo arquitetônico moderno, em Vinhedo/SP	32
Figura 7: Residência Unifamiliar em Wood Frame com Revestimento em Siding Vinílico.....	33
Figura 8: Estrutura de painel em wood frame.....	34
Figura 9: Içamento de treliça de madeira pré-fabricada	35
Figura 10: Horas trabalhadas para a produção de uma residência.....	37
Figura 11: Comparativo de Tecnologias para um empreendimento de 250 unidades de 43,8 m ²	37
Figura 12: Residencial Haragano, localizado em Pelotas, no Rio Grande do Sul.....	38
Figura 13: Residencial Vancouver, localizado em Araucária, no Paraná	39
Figura 14: Condutividade térmica dos materiais	40
Figura 15: Comparativo de impactos ambientais em relação ao wood frame	42
Figura 16: Despesas diretas para a construção de uma residência.....	42
Figura 17: Custo da estrutura para os sistemas wood frame e steel frame	43
Figura 18: Custos para a construção de 339 residências nos sistemas construtivos steel frame, wood frame e alvenaria convencional.....	44
Figura 19: Comparativo de custos totais por etapa construtiva.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVOS.....	9
1.1.1. Objetivo Geral	9
1.1.2. Objetivos Específicos	10
1.2. JUSTIFICATIVA.....	10
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL.....	12
2.1.1. O conceito de Desenvolvimento Sustentável	12
2.1.2. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para 2030	14
2.1.3. A relação da construção civil com o desenvolvimento sustentável 15	
2.2. O CENÁRIO ATUAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL	17
2.2.1. Características e impactos da construção civil brasileira	17
2.2.2. O setor de habitação e o acesso à moradia no Brasil	19
2.2.3. As alternativas para o desenvolvimento sustentável	20
2.3. O SISTEMA CONSTRUTIVO EM <i>WOOD FRAME</i>	22
2.3.1. História do <i>Wood Frame</i>	22
2.3.2. A utilização do <i>Wood Frame</i> no Brasil e no mundo	23
2.3.3. As principais características do sistema construtivo <i>Wood Frame</i>	25
2.3.4. Etapas do sistema construtivo em <i>Wood Frame</i>	27
2.3.4.1. <i>Fundação</i>	27
2.3.4.2. <i>Painéis de parede</i>	28
2.3.4.3. <i>Fechamento e vedação</i>	30
2.3.4.4. <i>Revestimento externo e interno</i>	32
2.3.4.5. <i>Cobertura</i>	34
2.3.5. Níveis de industrialização do <i>wood frame</i>	35
3. ANÁLISE DO <i>WOOD FRAME</i> COMO ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	36
3.1. Análise de pesquisas e estudos comparativos entre sistemas construtivos.....	36
3.1.1. Produtividade e tempo de obra	36

3.1.2.	Qualidade, conforto térmico e acústico	39
3.1.3.	Impactos ambientais	41
3.1.4.	Custos com material e mão de obra	42
3.2.	O futuro do <i>Wood Frame</i> no Brasil.....	46
4.	CONCLUSÃO.....	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, embora tenha grande importância no cenário mundial devido ao desenvolvimento econômico e social que proporciona, também pode impactar negativamente na busca dos países por um futuro mais sustentável.

De acordo com Souza (2005), de 14 a 50% dos recursos naturais extraídos no planeta são consumidos pela cadeia produtiva da construção. O setor também gera muitos resíduos, emite grandes quantidades de gás carbônico e consome quantidades significativas da energia e água utilizadas no mundo.

No Brasil, ainda se tem um déficit habitacional muito grande e faltam pelo menos 6 milhões de residências para serem construídas. Os sistemas construtivos mais utilizados no país são justificados principalmente por uma questão cultural e evoluem muito pouco com o passar dos anos. A alvenaria convencional, por exemplo, tem caráter semi-artesanal, baixa produtividade, grande geração de resíduos e desperdício de materiais. Além disso, seus custos acabam sendo mais altos e os atrasos em obras são muito comuns.

Diante dessa realidade, se torna necessário um estudo mais profundo sobre sistemas construtivos alternativos para o país. Surge como alternativa o *wood frame*, método caracterizada pelo uso de madeira leve como principal elemento da construção, e já muito difundido em países desenvolvidos pelo mundo.

Através deste trabalho será estabelecida uma relação entre a construção civil e o desenvolvimento sustentável no Brasil, analisando a viabilidade de aplicação do sistema construtivo em *wood frame*.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

- Analisar a viabilidade da utilização do método construtivo *wood frame* como alternativa para o desenvolvimento sustentável no Brasil.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Compreender o conceito e a história do desenvolvimento sustentável no mundo;
- Identificar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para 2030;
- Analisar a relação entre a construção civil e o desenvolvimento sustentável no Brasil e no mundo;
- Identificar as características e impactos dos sistemas construtivos mais utilizados no Brasil;
- Apresentar o sistema construtivo em *wood frame*, sua história, características, principais elementos e etapas da construção;
- Comparar o *wood frame* com os sistemas construtivos utilizados no Brasil atualmente;

1.2. JUSTIFICATIVA

Desde a metade do século XX vem aumentando as discussões com relação alterações que o meio ambiente vem sofrendo, a quantidade de recursos que são extraídos e impactos que são causados. Além disso, chegou-se à conclusão que para a sociedade se desenvolver de maneira sustentável, as necessidades atuais devem ser supridas sem comprometer as possibilidades das futuras gerações atenderem suas próprias necessidades.

A sustentabilidade deve estar presente em todas nossas tarefas e a sociedade como um todo deve pensar de maneira a reduzir nossos impactos, para de fato reverter a situação em que nosso planeta se encontra. Sendo um setor de grande importância e impactos significativos, é cada vez mais visível a necessidade de mudanças na construção civil e esse é um dos principais motivos que justificam esse trabalho.

O impacto da indústria da construção vai desde a extração das matérias-primas necessárias à produção de materiais, passando pela execução dos serviços nos canteiros de obra até a destinação final dada aos resíduos gerados. De 14% a 50% dos recursos naturais extraídos no planeta se referem à cadeia produtiva da construção, além de que essa responde por 40% do consumo mundial de energia e por 16% da água utilizada no mundo.

Por outro lado, surgem construções alternativas, que aliam não somente a sustentabilidade, mas também a industrialização, inovação e alta produtividade. Uma delas é o sistema *wood frame*, que apesar de ainda ser uma tecnologia nova para o Brasil, sendo que utiliza um material renovável e em abundância no nosso país, já existe a mais de 100 anos em países desenvolvidos como os Estados Unidos.

É no sentido de entender a realidade da construção no nosso país, apresentar características do *wood frame* e realizar comparações com outros sistemas construtivos que o presente estudo se justifica, de modo a viabilizar a aplicação de um método com potencial para alavancar o desenvolvimento sustentável no Brasil.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será dividido em quatro capítulos:

No primeiro capítulo será apresentada a introdução do trabalho, com as informações prévias a respeito do tema escolhido, a justificativa e os motivos que levaram à criação deste trabalho, o objetivo geral e os objetivos específicos que se pretende alcançar com este e a estrutura do trabalho, apresentando a ordem em que este foi feito e que se baseia.

O segundo capítulo consiste em uma revisão teórica com base em referências bibliográficas e pesquisas acerca dos temas que serão tratados no trabalho: o desenvolvimento sustentável, o cenário atual da construção civil brasileira e o sistema construtivo em *wood frame*.

No terceiro capítulo será feita uma análise de estudos e pesquisas que comparam o *wood frame* com os sistemas construtivos convencionais, avaliando aspectos relevantes para a utilização do sistema construtivo no Brasil.

Por fim, no quarto capítulo, será apresentada a conclusão do trabalho, analisando a viabilidade do sistema construtivo *wood frame* como alternativa para o desenvolvimento sustentável no Brasil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL

2.1.1. O conceito de Desenvolvimento Sustentável

O desenvolvimento sustentável é um conceito que tem origem na década de 1970 em meio à discussões sobre questões ambientais e preocupação com o futuro do planeta. Em 1972 durante a 1ª Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, em Estocolmo (Suécia) surge o termo “ecodesenvolvimento” (REVISTA EM DISCUSSÃO!, 2012).

No ano de 1983 foi indicada para presidir a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a mestre em saúde pública e ex-primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, que relacionava a questão da saúde com assuntos ambientais e de desenvolvimento humano. Após 4 anos da criação da Comissão, foi publicado um documento sobre a sustentabilidade ambiental do planeta Terra, chamado de “Nosso Futuro Comum”, que também ficou conhecido popularmente como Relatório Brundtland. Dessa forma, foi trazido para o público pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável (Organização das Nações Unidas, 2019):

“O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades.”

“Na sua essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, o direcionamento dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e reforçam o atual e futuro potencial para satisfazer as aspirações e necessidades humanas.”

— do Relatório Brundtland, “Nosso Futuro Comum”

Conforme Barbosa (2008), o Relatório Brundtland considera que a pobreza generalizada não é mais inevitável e que o desenvolvimento de uma cidade deve

privilegiar o atendimento das necessidades básicas de todos e oferecer oportunidades de melhoria de qualidade de vida para a população. Um dos principais conceitos debatidos pelo relatório foi o de “equidade” como condição para que haja a participação efetiva da sociedade na tomada de decisões, através de processos democráticos, para o desenvolvimento urbano.

A partir desse momento, segundo Brüseke (1998), começam a se relacionar as causas dos problemas socioeconômicos e ecológicos da sociedade global. Se torna mais visível a ligação entre economia, tecnologia, sociedade e política e chama também atenção para uma nova postura ética, caracterizada pela responsabilidade tanto entre as gerações quanto entre os membros contemporâneos da sociedade atual. Além disso, o relatório apresenta uma lista de medidas a serem tomadas a nível nacional e internacional, ressaltando a necessidade de uma colaboração de todos na busca por um futuro mais sustentável.

Após várias recomendações feitas no relatório Brundtland, o tema do desenvolvimento sustentável ganhou cada vez mais espaço no mundo. Em 1992, no Rio de Janeiro, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED). De acordo com Brüseke (1998), a interligação entre o desenvolvimento sócio-econômico e as transformações no meio ambiente, durante décadas ignorada, entrou de fato no discurso oficial da maioria dos governos do mundo.

Como um dos principais resultados da Rio-92, surge a Agenda 21, um plano de ação para a proteção do nosso planeta e o desenvolvimento sustentável em diversas áreas que abordou para além das questões ambientais, padrões de desenvolvimento que causam danos ao meio ambiente, como a pobreza e a dívida externa dos países em desenvolvimento, padrões insustentáveis de produção e consumo, pressões demográficas e a estrutura da economia internacional (ONU, 2019).

Dessa forma, para garantir o acompanhamento dos objetivos da Agenda 21, monitorar e relatar a implementação de acordos nos níveis local, nacional, regional e internacional, foi criada a Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS). Além disso, ficou acordado que seria realizada cinco anos mais tarde uma revisão de progresso da Cúpula da Terra (ONU, 2019).

Mais tarde, foram estabelecidos os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, no ano 2000, que incluem oito objetivos de combate à pobreza a ser alcançados até o final de 2015, com metas concretas e mensuráveis, e que contou com o

comprometimento de todos 191 Estados membros da ONU. Outros eventos como a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada em Joanesburgo em 2002, reafirmaram a implementação e os compromissos com a Agenda 21.

A construção do conceito de desenvolvimento sustentável continuou durante a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável, realizada em Joanesburgo, na África do Sul, em 2002. A Declaração de Joanesburgo foi um marco importante, pois estabeleceu que o desenvolvimento sustentável se baseia em três pilares: desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e proteção ambiental; conceito esse que é muito utilizado hoje em dia (REVISTA EM DISCUSSÃO!, 2012).

2.1.2. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para 2030

Atualmente, o principal documento que rege o trabalho dos países rumo ao desenvolvimento sustentável no mundo é a Agenda 2030. O documento com título de “Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável” é um marco histórico, pois tem escala e ambição universal, foi criado para ser aceito e aplicável por todos os países e partes interessadas, e reafirma o empenho em alcançar o desenvolvimento sustentável de forma integrada e equilibrada nas suas três esferas: econômica, social e ambiental (ONU, 2019).

Adotada em 2015 por todos Estados Membros das Nações Unidas, o documento é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade e que direciona o mundo para um caminho sustentável e resiliente (ONU, 2019).

Baseado em décadas de trabalho da ONU e de vários países e reafirmando os resultados de todas as grandes conferências e Cúpulas das Nações Unidas anteriores, junto com a Agenda foram anunciados os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas que devem ser alcançados até 2030 (ONU, 2019).

Os 17 ODS, que podem ser observados na Figura 1 abaixo, são integrados e indivisíveis, voltados para a ação e contam com um sistema de acompanhamento e avaliação para vários níveis: nacional, regional e global.

Figura 1: Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: (<http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/134-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods>)

2.1.3. A relação da construção civil com o desenvolvimento sustentável

O setor da Construção Civil é um dos maiores da economia mundial, gera empregos e riquezas, movimenta a economia e promove melhorias na área de infraestrutura e habitação proporcionando um aumento na qualidade de vida da sociedade, e por isso tem papel importante no desenvolvimento econômico e social dos países. Por outro lado, a atividade também produz grandes impactos ambientais, pelo uso de recursos naturais, modificação de paisagens e geração de resíduos (PINTO, 2005; RODRÍGUEZ, 2011).

O impacto da indústria da construção vai desde a extração das matérias-primas necessárias à produção de materiais, passando pela execução dos serviços nos canteiros de obra até a destinação final dada aos resíduos gerados, ocasionando grandes alterações na paisagem urbana, acompanhadas de áreas degradadas (BARRETO, 2005).

Conforme Souza (2005), de 14% a 50% dos recursos naturais extraídos no planeta são consumidos pela cadeia produtiva da Construção. Por comparação, a

Indústria da Construção Civil consome cerca de 100 a 200 vezes mais material que a Automobilística.

O setor da construção civil responde por 40% do consumo mundial de energia e por 16% da água utilizada no mundo. De acordo com dados do Worldwatch Institute, a construção de edifícios consome 40% das pedras e areia utilizados no mundo por ano, além de ser responsável por 25% da extração de madeira anualmente (AMBIENTE BRASIL, 2019).

A fase de fabricação de materiais também representa um grande impacto negativo, pois as altas taxas de emissões de gases colaboram para o efeito estufa e avanço da poluição atmosférica. Somente a Indústria do Cimento - um dos mais importantes insumos da construção mundial e fundamental para a produção de concreto, corresponde à cerca de 8% das emissões de dióxido de carbono, de acordo com um relatório recente da *Chatham House* (ONU, 2019).

Levando em conta a grandiosidade da cadeia produtiva da indústria da construção civil, fica claro que não é possível alcançar o desenvolvimento sustentável sem que a indústria da construção também se torne sustentável (BRASILEIRO, MATOS, 2015).

A construção civil tem papel cada vez mais importante para o alcance das metas previstas para 2030 tanto no cenário brasileiro como mundial, impactando direta e indiretamente em vários dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, como os citados abaixo:

- ODS 6 - Água e saneamento para todos: assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos ;
- ODS 7 - Energia acessível e limpa: Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos;
- ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura: Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;
- ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
- ODS 12 - Consumo e produção responsáveis: Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.

2.2. O CENÁRIO ATUAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

2.2.1. Características e impactos da construção civil brasileira

A maior parcela da construção civil brasileira é composta por processos predominantemente artesanais, marcantes por baixa produtividade, grande geração de resíduos e desperdício de materiais, que geram aumento de custos e causam vários problemas e danos ao meio ambiente (SANTIAGO; ARAÚJO, 2008; PRUDÊNCIO, 2013).

De acordo com Colombo e Bazzo (2001) e Mello (2007) a indústria da construção no Brasil é caracterizada por:

- caráter semi-artesanal (manufatureiro) do processo construtivo;
- caráter não homogêneo e não seriado de produção devido à singularidade do produto feito sob encomenda;
- qualidade e produtividade insatisfatórias;
- setor pouco afeito a modificações;
- dependência de fatores climáticos no processo construtivo com períodos de construção relativamente longo;
- significativa rotatividade da força de trabalho;

O sistema construtivo convencional em concreto armado junto à alvenaria de blocos cerâmicos é amplamente utilizado na construção de residências no país. O mesmo é caracterizado pelo uso de pilares, vigas e lajes de concreto armado para a sustentação da edificação, preenchidos com blocos cerâmicos somente para a vedação - por isso suas paredes são conhecidas como “não-portantes”. Para a construção de vigas e pilares são utilizados aço estrutural e formas de madeira. Após o levantamento das paredes, é preciso “rasgá-las” para a colocação das instalações hidráulicas e elétricas. Por último, a etapa do revestimento é caracterizada pela aplicação do chapisco, massa grossa, massa fina e pintura (PEREIRA, 2017; SOUZA, 2013).

Esse método construtivo é até hoje largamente utilizado em todo o território nacional. Em parte, graças à facilidade de se encontrar mão-de-obra barata para a execução do sistema. Essa mão-de-obra geralmente é caracterizada pela falta de qualificação acarretando uma baixa produtividade. Também prevalece o caráter social

da escolha do sistema construtivo, que acaba funcionando como um compensador para o desemprego no país (CAMPOS; LARA, 2019).

Conforme Souza (2013) e Castro et al. (2019), a grande preferência pela utilização de blocos cerâmicos é justificada pela cultura brasileira em relação à construção, o amplo conhecimento da técnica construtiva utilizando a alvenaria convencional e a maior necessidade de planejamento no caso de outros métodos construtivos.

Esse sistema de alvenaria é considerado artesanal por utilizar mão-de-obra de baixa qualificação e por ser construído no canteiro, sem padrões e normas obrigatórias a serem seguidas. Isto dá margem a erros (por exemplo, quanto aos traços - proporções nas misturas dos materiais - ou como uma parede fora do prumo, nível e esquadro) que podem gerar patologias, retrabalho, imprevisto e desperdícios. Assim como há desperdício e geração de resíduos nos rasgos nos tijolos feitos para alocar as instalações (CONDEIXA, 2013; PEREIRA, 2017)

Outras causas podem ser citadas para a baixa produtividade e desperdício de materiais: o baixo nível de industrialização dos processos; execução de todas as etapas da construção *in loco*, tornando o prazo do projeto consideravelmente mais longo; uso de ferramentas de baixa tecnologia como as colheres de pedreiro, níveis de bolha, prumos de face, entre outros, que influenciam na qualidade e rapidez; tempo de espera para secagem e cura de concretos e argamassas; co-dependência entre a finalização de uma etapa para se iniciar outra, entre outros (HASS; MARTINS, 2011; ALVES, 2015).

Para Hamassaki (2000), o resíduo de construção civil ou “entulho” é um “conjunto de fragmentos ou restos de tijolos, concreto, argamassa, aço, madeira e outros provenientes do desperdício na construção, reforma ou demolição de estruturas”. Ou seja, a geração de resíduos está diretamente ligada ao sistema construtivo convencional que é amplamente utilizado no país.

Nas cidades brasileiras, o resíduo de construção civil representa de 41 a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (PINTO, 2005). Segundo a ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais), só no ano de 2013, o resíduo de construção civil produzido nas cidades brasileiras representa cerca de 48% da massa total de resíduos sólidos urbanos gerados neste ano.

Dentro do setor industrial, a cadeia produtiva da construção civil representa 8% das emissões do Brasil, valor estimado gerado pelos fornecedores de materiais utilizados na construção, tais como na produção de cimento e de aço, no transporte, e, por último, na extração madeireira. O setor da construção civil tem como estimativa futura a responsabilidade de reduzir para 1% as emissões totais de gases do efeito estufa até 2030 junto à área de edificações. O setor de cimento é o que tem perspectivas de maior crescimento de emissões de tais gases até 2030, e o de edificações é o que apresenta potencial limitado de abatimento dos mesmos. (MCKINSEY, 2009).

Com relação ao consumo de água do sistema convencional de alvenaria, o mesmo ocorre na extração da matéria-prima (processo de mineração dos componentes de alvenaria), no processo de mistura entre a areia, o cimento e a cal (argamassa para a conexão dos tijolos) e no processo produtivo do bloco cerâmico. (SANTOS, 2012).

2.2.2. O setor de habitação e o acesso à moradia no Brasil

A habitação de interesse social, ou habitação popular, é o tipo de construção de baixo valor de aquisição destinada a populações de baixa renda, que tem como característica o uso de projetos arquitetônicos padronizados em grandes extensões de espaço urbano, de forma a produzir unidades muito semelhantes mesmo em diferentes regiões do país (CARVALHO, 2012; REIS, 2018).

O déficit habitacional é o parâmetro adotado nacionalmente como referência para controle da política habitacional, servindo como indicador da necessidade de reposição e/ou incremento do número de moradias (CARDOSO, 2015). Segundo a Fundação João Pinheiro (2018), o déficit habitacional brasileiro em 2015 chegou em 6,355 milhões de moradias. A maior parte desse está localizada em áreas urbanas, representando 87,7% do total, enquanto 12,3% do déficit por habitação encontra-se em áreas rurais. A necessidade de habitações é maior nas capitais e grandes cidades do país, visto que 29% do total da carência de unidades do país está concentrada em 9 regiões metropolitanas brasileiras.

Segundo Motta (2019), a questão da habitação pode ser considerada um dos principais problemas sociais urbanos do Brasil na atualidade, pois a moradia adequada é amplamente inacessível para uma parte relevante da população. É

grande a necessidade de construção de moradias para atender ao número alarmante de famílias sem casa própria.

Dessa forma, a habitação popular está diretamente relacionada ao déficit habitacional no país: a maior parte do déficit se concentra na faixa de famílias com renda de até 3 salários mínimos, caracterizando a necessidade de moradia com baixo valor de aquisição (REIS, 2018).

Para Fiess et al. (2004) e Reis (2018), os empreendimentos populares são baseados nos seguintes fatores:

- Busca do menor preço possível: para se tornar acessível à faixa mais carente da população. No entanto, para viabilizar esse quesito as construtoras utilizam materiais de baixa qualidade e pouca durabilidade e contratam mão de obra pelo menor custo ao invés de optar pela qualificação;
- Construção em grande escala: para atender de forma mais eficiente ao grande déficit de moradias e para viabilizar financeiramente os empreendimentos;
- Alta velocidade de execução: vinculada a urgência na construção e entrega do empreendimento, seja para minimizar o déficit de habitações, seja para atender emergências em decorrência de calamidades públicas que geram centenas e milhares de desabrigados que ficam por conta das ações sociais dos órgãos governamentais.

Analisando esses fatores, observa-se que temos características marcantes na construção habitacional no Brasil como a baixa qualidade, dificuldade com produtividade e cumprimento dos prazos de entrega.

2.2.3. As alternativas para o desenvolvimento sustentável

Diante dos claros impactos da construção civil no Brasil, consumindo grande quantidade de recursos naturais e gerando consideráveis impactos ambientais, somado às dificuldades do setor de habitação social e desvantagens dos sistemas construtivos convencionais amplamente utilizados, surge a urgência de repensar-se o modelo de construção no país.

Dessa forma, deve-se optar gradualmente por sistemas construtivos mais produtivos que, não somente deixem de impactar negativamente, mas também promovam melhorias para o setor de habitação social e colaborem diretamente para o desenvolvimento sustentável no país.

De acordo com Mateus (2004), os novos sistemas construtivos estão aliados à aplicação de tecnologias, seguem o conceito de baixo custo e impacto ambiental nas diversas fases do ciclo de vida da construção e tendem à redução do tempo e otimização do uso das matérias-primas.

Segundo Terezo (2011) e Weinschenck (2012), principalmente devido à melhoria no controle de qualidade, ao maior aproveitamento dos materiais, à diminuição dos desperdícios e à garantia dos prazos de execução da obra, desempenho e durabilidade da edificação, a tendência é que o mercado consuma cada vez mais mercadorias com alto grau de industrialização e pré-fabricação.

O uso de componentes pré-fabricados em um sistema construtivo que integra projeto, fabricação, montagem e responsabilidade técnica do fabricante quanto ao desempenho e à durabilidade da edificação promove a racionalização da construção. Com esses sistemas se obtém uma execução mais ágil e precisa, permitindo o máximo de aproveitamento dos materiais, reduzindo as perdas e eliminando os desperdícios (BARTH; VEFAGO, 2007).

Conforme Campos e Lara (2019), um dos fatores de maior importância para a escolha do sistema construtivo é a viabilidade econômica. No entanto, a análise muitas vezes é feita de forma incorreta e baseada em poucos fatores, dando a impressão de que sistemas mais novos e não tão difundidos pareçam mais caros do que a alvenaria comum. Outros pontos devem ser observados desde o planejamento e detalhamento anterior à fase da obra, como a velocidade no canteiro, racionalização do uso de materiais e a diminuição no número de funcionários.

Por fim, de acordo com Wang, Toppinen e Justin (2014), aumentar o uso da madeira na construção ajudaria a atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável de forma mundial; e para Terezo (2011), o investimento em processos construtivos industriais é uma das maneiras de acompanhar o crescimento do setor e apoiar na redução do déficit habitacional.

2.3. O SISTEMA CONSTRUTIVO EM *WOOD FRAME*

2.3.1. História do *Wood Frame*

O sistema construtivo em *wood frame* é derivado de uma evolução dos sistemas leves em madeira que foi grandemente impulsionada na Idade Média através do Sistema Enxaimel, que se caracteriza por uma estrutura em peças de madeira encaixadas entre si, com vazios preenchidos com materiais como alvenaria leve ou taipa. No Brasil, por exemplo, esse sistema é muito utilizado em regiões de colonização alemã (PANORAMA DO SISTEMA CONSTRUTIVO TECVERDE, 2016).

Com a colonização da América do Norte, em meados do século XVI, os europeus levaram consigo os conhecimentos em marcenaria e carpintaria e encontraram abundantes recursos florestais com alto potencial para produção madeireira, o que levou à técnicas de construção utilizando a madeira como principal material. Cidades inteiras eram construídas em estruturas de madeira, no entanto, as primeiras construções ainda seguiam o estilo de construção do norte europeu, utilizando como estrutura elementos robustos e pesados de madeira, o que foi sendo modificado com o passar do anos (ALLEN E THALON, 2011; FUTURENG, 2019).

Mais tarde, no século XIX, a população dos Estados Unidos aumentou dez vezes devido ao grande número de imigrantes entrando no país pela costa do Oceano Pacífico. Para solucionar a alta demanda por moradia, fez-se necessário construir com materiais abundantes no local e utilizando conceitos originados na Revolução Industrial como praticidade, velocidade e produtividade. Assim, surgiu um novo modelo de construção, o *wood framing*, sistema mais flexível que utiliza a madeira como principal elemento estrutural, caracterizado pela facilidade construtiva e utilização eficiente dos materiais (RODRIGUES, 2006; CARDOSO, 2015).

Alguns avanços tecnológicos nesse mesmo período também foram importantes para a afirmação desse sistema construtivo, como a evolução na fabricação em massa de pregos e parafusos metálicos - que passaram a ser utilizados como conectores, substituindo os métodos de encaixe em madeira que exigiam uma mão de obra especializada, e a capacidade de serrarias movidas a água de cortarem grandes quantidades de madeira em formatos padronizados em menor espaço de tempo (ALLEN E THALON, 2011).

Esses desenvolvimentos permitiram que as grandes e robustas peças de madeira pudessem ser substituídas por pequenas peças estruturais, conectadas facilmente. Dessa forma, obteve-se maior facilidade na montagem da estrutura, substituindo a mão de obra especializada em carpintaria por mão de obra comum, e permitindo o barateamento da estrutura (ALLEN E THALON, 2011; ALVES, 2015).

O sistema construtivo em *wood frame* deu origem à outro método similar de construção, utilizando o aço como principal material. Após a Segunda Guerra Mundial, o aço era abundante e as empresas metalúrgicas haviam adquirido experiência na utilização do metal durante o período da guerra. Em meados dos anos 1990, houve um aumento significativo no custo da madeira usada na construção, o que levou construtores a começarem a utilizar o aço imediatamente, surgindo assim o sistema construtivo em *steel frame*. No entanto, ainda hoje o *wood frame* é um dos métodos de construção mais populares dos Estados Unidos (HASS; MARTINS, 2011).

2.3.2. A utilização do *Wood Frame* no Brasil e no mundo

A construção à base do sistema *wood frame* já vem sendo utilizada há décadas, principalmente na América do Norte. Nos Estados Unidos, o sistema já existe há mais de 150 anos e tem grande aceitação, principalmente pela solidez das edificações, mesmo levando em conta fatores como a variação de temperatura, ventos e terremotos. Atualmente, em torno de 90% das moradias dos Estados Unidos e Canadá são feitas com alguma versão do sistema (THALLON, 2008)

Em outros países desenvolvidos da Europa, Ásia e Oceania, o modelo de construção em *wood frame* também é amplamente difundido e popular, sendo que representa cerca de 90% da construção habitacional da Noruega, Suécia e Austrália, além de mais de 30% das casas Alemãs. A solução também já vem sendo empregada em grandes proporções em países como a China, Japão, África do Sul, Nova Zelândia, Rússia, Mongólia, Indonésia, entre outros (MARQUES, 2008; SHINTEC, 2019; TECVERDE, 2014).

Na América do Sul, o Chile e a Venezuela investem com sucesso na indústria de casas populares com 40 a 65 m² que utilizam painéis *wood frame* e de treliças de telhado pré-fabricadas. O governo chileno, por exemplo, lançou o Programa Construye 2025, que visa transformar a construção no país, tornando-a mais

produtiva, sustentável, que impulse a inovação e o uso de tecnologias e desenvolva novos produtos e serviços (MOLINA; CALIL, 2010; LOTURCO, 2019).

Enquanto a madeira é utilizada com sucesso nas habitações em vários países desenvolvidos, no Brasil ainda permanece o desconhecimento e o preconceito sobre esse material, como por exemplo o receio de existir o desmatamento de florestas nativas - mesmo com a produção sustentável de florestas plantadas, ou o risco de degradação biológica por cupins, sendo que o material pode passar por tratamento em autoclave (MOLINA; CALIL, 2010).

Boa parte desse preconceito se deve também ao fato da inserção das estruturas de concreto nas construções em meados da década de 1970, o que fez com que a madeira, que era um material bastante usado por arquitetos nas construções, perdesse espaço no país, enquanto no resto do mundo o material continuou evoluindo (MOLINA; CALIL, 2010).

Atualmente, existe a ideia errônea de que a madeira é um material secundário em relação ao concreto ao aço e só pode atender a construção para usos menos importantes como fôrmas para concreto armado ou cimbramento. Dessa forma, a população com menor poder aquisitivo reutiliza essa madeira na construção improvisada de casas e barracos em regiões sem planejamento urbano, resultando em moradias precárias, com ausência de conforto, segurança e recursos tecnológicos no uso do material, que acabam gerando as conhecidas favelas. Assim, o restante da população acaba vendo a madeira como um material de baixa qualidade, ocasionando o distanciamento do uso da madeira na construção civil (PAESE, 2012).

Além disso, são poucos os profissionais na área da construção civil que detêm conhecimento com relação ao uso da madeira para edificações e nota-se a falta de conscientização e educação de engenheiros e arquitetos da necessidade e potencial da utilização desse sistema, o que acaba contribuindo para o emprego inadequado da madeira e das técnicas construtivas, e por sua vez aumenta ainda mais o preconceito em relação à qualidade da construção com o material (MOLINA; CALIL, 2010; OLIVEIRA, 2014).

A melhor explicação para a ampla utilização desse sistema em países onde a mão de obra é considerada muito cara é a otimização da gestão da produção com alto controle de qualidade. A pré-fabricação do sistema em ambiente industrial permite que várias atividades sejam executadas simultaneamente tendo como consequência a redução de prazos de entrega e custos (MOLINA; CALIL, 2010).

2.3.3. As principais características do sistema construtivo *Wood Frame*

Na construção civil, o termo “*Frame*” refere-se a estrutura construída a seco formada por perfis leves, esbeltos e espaçados igualmente ao longo de todo perímetro de paredes, que dão forma e suportam a edificação. Já “*Framing*”, é o processo pelo qual se unem e vinculam esses perfis. De forma geral, encontramos na bibliografia o termo *wood frame* referindo-se ao processo de construção utilizando a madeira leve como principal material (BEVILAQUA, 2015).

O *wood frame* tem sido o sistema mais utilizado no mundo para a construção em madeira e permite a execução dos mais variados tipos de projeto, de casas populares até construções com alto padrão de acabamento, podendo ser utilizado em prédios com no máximo cinco pavimentos. Além disso, apresenta uma série de vantagens em relação aos métodos construtivos convencionais, como a facilidade e agilidade de construção, a otimização do uso de materiais, a redução de retrabalhos e desperdícios e o alto controle no processo de produção e qualidade. (MOLINA; CALIL, 2010; CARDOSO, 2015).

A construção em *wood frame* é composta por perfis leves de madeira, contraventados com placas estruturais em OSB, que formam painéis resistentes à cargas horizontais e verticais. A combinação e o revestimento com outros materiais garante o conforto térmico e acústico, além de proteger a edificação de intempéries e da ação do fogo (MOLINA; CALIL, 2010).

De acordo com Dias (2005), o Sistema Plataforma é geralmente o mais empregado nesse tipo de construção e caracteriza-se pela altura dos montantes ser restrita à altura de cada pavimento. A estrutura de piso é apoiada sobre as paredes e se estende até o contorno da edificação, criando uma plataforma para a montagem das paredes do pavimento superior. Dessa forma, é simplificado o processo de execução das estruturas e se tem um melhor desempenho perante o fogo (DIAS, 2005).

No Brasil, a madeira mais utilizada para esse tipo de construção é o pinus, e em menor quantidade o eucalipto. Ambas as espécies são reflorestadas e apresentam elevada taxa de crescimento e boa reprodução. Além disso, têm como características a fácil trabalhabilidade, alta relação resistência-peso e versatilidade para a industrialização e grande capacidade produtiva no país. Para garantir a proteção da

madeira contra agentes deterioradores de origem biológica, como por exemplo cupins, é necessário o tratamento em autoclave (MOLINA; CALIL, 2010; FINATTI, 2014).

Considerado um método construtivo a seco, por não utilizar água na composição estrutural, o *wood frame* proporciona um ambiente de obra muito mais limpo e organizado. Além disso, os painéis feitos em madeira diminuem o peso da estrutura, facilitando o transporte de peças e a montagem em obra, além de reduzirem os custos na execução das fundações.

Souza (2012) ressalta que as vantagens do wood frame são:

- a geração de uma obra limpa e seca (não utilização de água no processo) com menos resíduos;
- utilização de madeira de reflorestamento, sendo a única matéria-prima renovável na construção civil;
- estabilidade do preço da matéria-prima (madeira);
- conforto térmico e acústico ao usuário e resistência da construção.

O Sistema Plataforma em madeira apresenta as seguintes vantagens (SÁNCHEZ, 1995; DIAS, 2005; SOUZA, 2012):

- possibilidade de pré-construção em ambiente industrializado, reduzindo o tempo de obra;
- racionalização no processo construtivo com aplicação da coordenação modular, reduzindo o desperdício de material;
- apresenta um alto grau de flexibilidade, tanto em relação ao projeto inicial, como também em modificações futuras, se necessárias;
- rapidez de execução devido à pré-fabricação;
- racionalização da mão-de-obra nas etapas de montagem;
- união simples entre as peças, sem juntas ou encaixes especiais, bastando o emprego de pregos ou parafusos, melhorando a produtividade;
- menor necessidade de espaço para instalação do canteiro de obras;
- menor espessura das paredes e conseqüente ganho de área útil interna da edificação;
- conforto térmico e acústico ao usuário e resistência da construção;
- facilidade de impermeabilização e isolamento térmico e acústico da edificação, pois as cavidades existentes na ossatura permitem a passagem de instalações elétricas e hidráulicas e o preenchimento com materiais isolantes

2.3.4. Etapas do sistema construtivo em *Wood Frame*

2.3.4.1. Fundação

As fundações de edificações em sistemas leves de *wood frame* estão sujeitas a forças relativamente reduzidas, pois a estrutura principal é de madeira e distribui as cargas ao longo das paredes. Dessa forma, são utilizadas soluções mais simples e econômicas para as fundações (DIAS, 2005).

A escolha deve ser sempre feita levando em conta as cargas de projeto e o tipo de solo. Além disso, as fundações precisam ser muito bem executadas, com uma superfície nivelada, no esquadro e com medidas precisas, para que não afetar o andamento da obra com trabalhos corretivos posteriores, peças com medidas fora do padrão e assim por diante (DIAS, 2005; MOLINA; CALIL, 2010).

Em função das condições específicas de cada terreno pode-se ter usualmente uma das seguintes soluções (DIAS, 2005):

- laje do tipo radier, que forma uma superfície plana sobre a qual são assentados e fixados os elementos de parede;
- fundações com sapatas de pescoço alongado e cintas de amarração, permitindo elevar do nível do solo a estrutura de piso do pavimento térreo, sendo uma boa opção no caso de terrenos em declive, por exemplo;
- fundações em sapata corrida, com vigas baldrame sob o alinhamento das paredes;
- estacas de concreto ou postes de madeira tratada.

Segundo a LP *Building Products* (2011), sistemas como o *wood frame* podem ser feitos com qualquer tipo de fundação. No entanto, os dois tipos mais utilizados são a sapata corrida e o radier (Figura 2), sendo que esse último permite uma maior velocidade de montagem de casas em série (PENNA, 2009).

Figura 2: Fundação em radier



Fonte: (https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/radier-de-concreto-e-solucao-de-fundacao-rasa-para-varios-tipos-de-solo_17269_10_0)

A fundação em radier deve ser executada com uma base de saibro compactado, laje maciça de concreto com altura de 12 a 15 cm com tela de armadura superior e inferior. Durante essa etapa, devem ser previstas as esperas para as instalações hidro sanitárias e elétricas e também parafusos e tiras metálicas para a ancoragem dos painéis de parede (CARDOSO, 2015; TECVERDE, 2016).

2.3.4.2. Painéis de parede

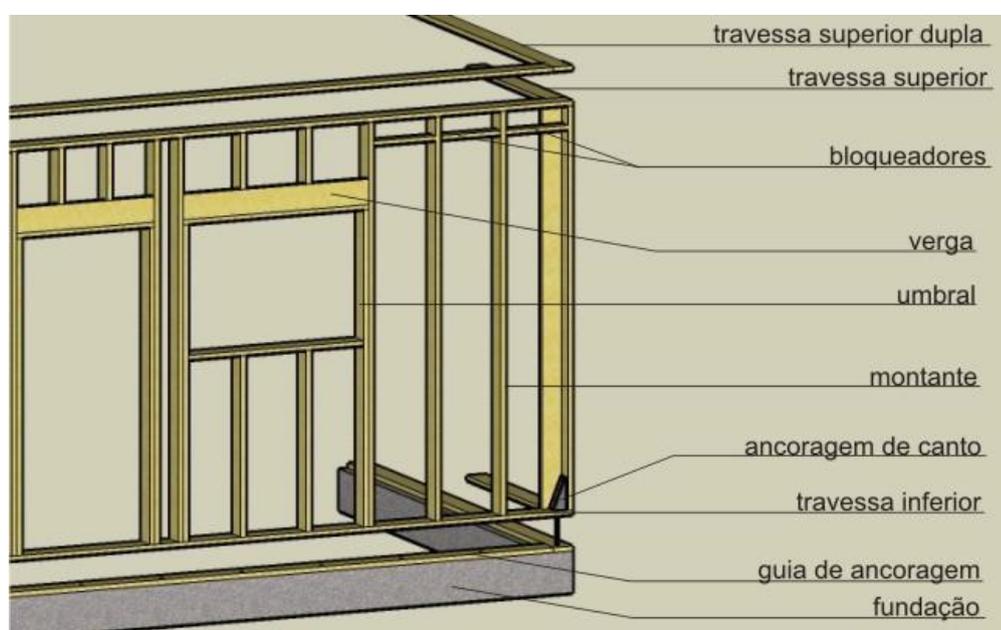
O principal elemento do sistema em *wood frame* são os painéis de parede, quadros de madeira maciça serrada formados basicamente por elementos verticais (montantes) e horizontais (soleiras, travessas e bloqueadores). O espaçamento máximo entre os montantes é de 60 cm e as peças tem seções entre 38mm x 89mm e 38 mm x 140mm (CARDOSO, 2015).

Cada painel de parede é fechado com duas peças de madeira, uma superior e outra inferior, as chamadas travessas ou soleiras. Uma guia de madeira fixada em ganchos metálicos ancorados na fundação facilitam a montagem das paredes, pois os painéis serão pregados a ela. Após serem posicionados, os painéis são unidos através de uma segunda guia de madeira, também chamada de travessa superior dupla (SACCO; STAMATO, 2008; VELLOSO, 2010).

Nas construções em *wood frame* podem existir paredes portantes e paredes não portantes de carga. No caso de uma edificação com um único pavimento e área construída pequena, geralmente as paredes externas são portantes, e, dessa forma, suportam unicamente toda carga proveniente da cobertura. Já as paredes divisórias internas são geralmente não portantes e devem ser capazes de resistir o peso próprio de sua estrutura e revestimento (CARDOSO, 2015).

Os elementos de composição de um painel de parede em *wood frame* podem ser observados na Figura 3 abaixo.

Figura 3: Elementos da composição do painel de parede

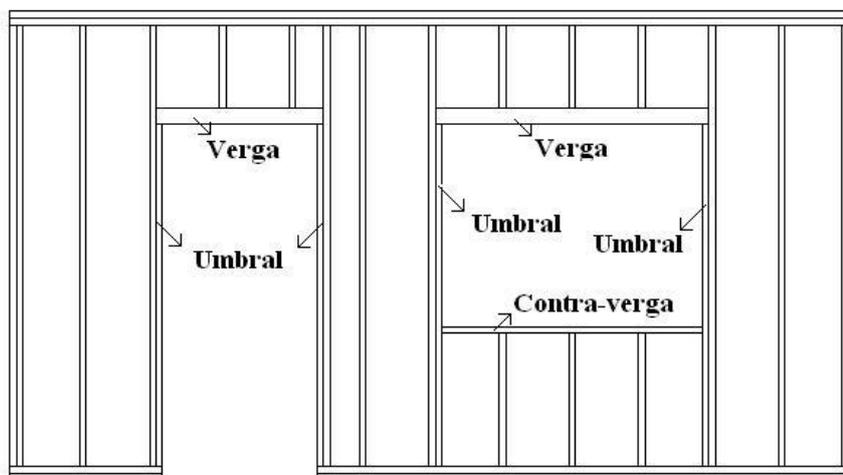


Fonte: VELLOSO, 2010

A maior parte das conexões entre os elementos estruturais no painel são feitas com a utilização de pregos, que devem ser galvanizados para garantir uma maior durabilidade. Embora ainda exista um grande preconceito em relação à construção com madeira e pregos no Brasil, vista como um processo primitivo e de baixa qualidade, nos países em que a madeira é bastante utilizada o prego é considerado um ótimo recurso para fixação. A fixação no sistema *wood frame* também pode ser feita com pregos tipo ardox ou tipo anelado que dificultam o arrancamento, especialmente em madeiras macias como o pínus (MOLINA, CALIL, 2010; SACCO; STAMATO, 2008).

No caso de paredes que contenham portas e/ou janelas, deve ser alterado o espaçamento entre os montantes da ossatura para a inserção das aberturas. Dessa forma, são utilizados elementos especiais, tais como: verga, contraverga e umbral, conforme mostra a Figura 4 (DIAS 2005).

Figura 4: Ossatura de parede com aberturas de porta e janela



Fonte: DIAS, 2005

Os umbrais são peças idênticas aos montantes que servem de apoio para as vergas, que funcionam como uma viga bi apoiada, recebendo as cargas transversais advindas dos pavimentos superiores e da cobertura. Dessa forma, os umbrais têm seu comprimento limitado ao nível da verga, e devem estar fixados aos montantes posicionados em cada extremidade da verga. A contraverga das janelas é formada por uma peça única horizontal que é fixada a montantes curtos e geralmente tem mesma seção transversal dos montantes (DIAS, 2005; VELLOSO, 2010).

2.3.4.3. Fechamento e vedação

O fechamento no sistema *wood frame* é feito através de chapas fixadas nos lados externos e internos das paredes. Um dos materiais mais indicados para essa função são as chapas de OSB (*Oriented Strand Board*), placas estruturais de alta resistência físico-mecânica, que também funcionam como um sistema de

contraventamento, tanto para paredes, como para lajes e telhados. As chapas OSB são feitas a partir da união de tiras de madeira 100% proveniente de reflorestamento, orientadas em três camadas perpendiculares, unidas com resina resistentes a intempéries e prensadas sob alta temperatura, que garantem alta rigidez, resistência mecânica e estabilidade (CARDOSO, 2015; LP BUILDING PRODUCTS, 2019)

A fixação das chapas de OSB é feita diretamente na ossatura de madeira das paredes através da pregação de todas suas arestas, para evitar a sua flambagem (DIAS, 2005).

Para complementar a vedação da estrutura, é utilizada uma camada impermeabilizante que atua protegendo a ossatura das paredes e as chapas de OSB da água da chuva e da umidade do ambiente externo à edificação. Essa camada pode ser constituída por uma membrana hidrófuga (Figura 5) fixada na face externa sob o OSB, que é impermeável à água, porém possibilita que o vapor e a umidade interna sejam liberados, permitindo a respiração da habitação (CARDOSO, 2015).

Figura 5: Membrana hidrófuga utilizada no sistema em *wood frame*



Fonte: (<http://madeirasmg.com.br/plus/modulos/conteudo/?tac=membrana>)

Além disso, nas áreas como banheiro e cozinha, que são expostas a água, são utilizadas placas cimentícias com selador acrílico anti-fungo e pintura de resina

acrílica pura, ou ainda placas de gesso acartonado revestidas com azulejo (MOLINA, CALIL, 2010).

2.3.4.4. Revestimento externo e interno

Por ser um método construtivo considerado muito versátil, as edificações construídas em *wood frame* permitem inúmeras possibilidades de revestimento final, sendo adaptável de acordo com o estilo arquitetônico pretendido para a moradia, conforme se observa na Figura 6. Dessa forma, é possível morar em uma casa de madeira sem que necessariamente o revestimento externo seja com esse material (CARDOSO, 2015; DIAS, 2005).

Figura 6: Residência em *wood frame* com estilo arquitetônico moderno, em Vinhedo/SP



Fonte: (http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/11/ARQUITETURA-E-CONSTRU%C3%87%C3%83O_nov2016.pdf)

As paredes externas podem ser revestidas com materiais como placas cimentícias – que dão acabamento semelhante ao da alvenaria convencional, tijolos aparentes ou argamassa armada. Além disso, pode-se utilizar *sidings* de madeira, aço ou PVC, que são desenvolvidos especificamente para este sistema (SACCO; STAMATO, 2008).

De acordo com Cardoso (2015), um dos revestimentos externos mais comuns para a construção de casas populares nos Estados Unidos é o *siding* vinílico, ou em

PVC, material de instalação fácil e rápida, que dá a edificação um aspecto de revestimento de madeira, conforme observa-se na Figura 7.

Figura 7: Residência Unifamiliar em *Wood Frame* com Revestimento em Siding Vinílico



Fonte: CARDOSO, 2015

Do lado interno das paredes, um dos materiais mais utilizados para revestimento é o gesso acartonado, que garante bom acabamento estético e excelente desempenho acústico e proteção contra incêndio. Esse material também pode ser utilizado como revestimento do forro, sendo que as placas devem ser fixadas aos banzos inferiores das tesouras do telhado por meio de parafusos para *drywall* (CARDOSO, 2015; ESPÍNDOLA, 2008)

Tanto as placas cimentícias como as de gesso acartonado podem receber diversos tipos de acabamento, como por exemplo cerâmica, pintura, laminados, verniz, massa texturizada, porcelanatos, pastilhas, entre outros.

A composição final de um painel em *wood frame*, após fixação de revestimento e acabamento, pode ser observada na Figura 8.

Figura 8: Estrutura de painel em *wood frame*



Fonte: (http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2017/03/Reportagem_Guia-da-Constru%C3%A7%C3%A3o_146.pdf)

2.3.4.5. Cobertura

A estrutura da cobertura da construção pode ser executada com painéis, treliças industrializadas de madeira ou da forma convencional. Assim, é possível utilizar os mais diversos tipos de telhas disponíveis no mercado, como as cerâmicas, metálicas, de fibrocimento ou asfálticas, bem como outros tipos de telhado – contido, cobertura verde ou platibanda (TECVERDE, 2016).

Boa parte das edificações construídas em *wood frame* emprega treliças pré-fabricadas (Figura 9) na composição dos telhados, o que possibilita vencer vãos livres maiores, além de que representa uma redução de cerca de 40% no peso da cobertura, pois as seções dos elementos que a compõem são de pequenas dimensões. O sistema estrutural do telhado neste sistema construtivo também pode ser composto por caibros, principalmente quando o projeto da cobertura é complexo, possuindo muitas águas e diferentes inclinações (MOLINA, CALIL, 2010; VELLOSO, 2010).

Figura 9: Içamento de treliça de madeira pré-fabricada



Fonte: TECVERDE, 2016

2.3.5. Níveis de industrialização do *wood frame*

As casas em *wood frame* podem ser construídas em diferentes níveis de industrialização, conforme descritos nos itens seguintes (VELLOSO, 2010):

- Casas em Kits pré-cortados: uma das formas mais artesanais e tradicionais de construção com *wood frame* é conhecida como *stick-built* ou *stick framing*, que se caracteriza por kits de peças de madeira pré-cortadas conforme projeto, sendo toda a montagem realizada em obra.
- Casas Panelizadas: utilizam componentes industrializados, com maior valor agregado, como painéis de parede e treliças de cobertura pré-fabricadas, visando reduzir o tempo de execução no canteiro de obras. Além disso, é mais fácil garantir a confiabilidade dimensional dos elementos e componentes produzidos no ambiente de fábrica, para que posteriormente a montagem da

edificação no canteiro seja realizada, sem a necessidade de ajustes, ou de retrabalho.

- Casas Modulares: apresentam componentes com um maior grau de industrialização, como módulos com esquadrias instaladas e instalações já embutidas nas paredes.
- Casas industrializadas: são transportadas inteiramente prontas ao canteiro de obras, com as instalações elétricas e hidráulicas, e inclusive o acabamento das paredes, já finalizados. Para o transporte, é instalada sobre um chassi metálico.

3. ANÁLISE DO *WOOD FRAME* COMO ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

3.1. Análise de pesquisas e estudos comparativos entre sistemas construtivos

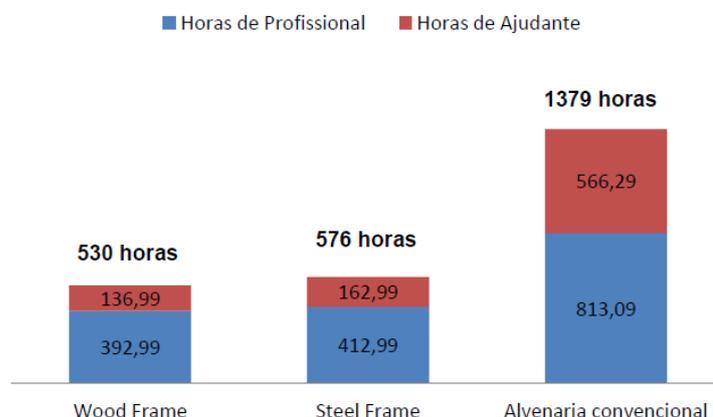
3.1.1. Produtividade e tempo de obra

A possibilidade de montagem dos painéis de parede de *wood frame* em fábrica traz um grande benefício ao sistema construtivo, uma considerável diminuição do prazo para a construção de residências. Essa produção em ambiente controlado e com maior domínio do sistema, além de garantir maior qualidade dos painéis, permite o aumento da produtividade (CBIC, 2016).

Para a construção de uma casa de 33 m² em alvenaria, leva-se em torno de 4 a 6 meses com uma equipe de 5 pessoas. Utilizando o *wood frame*, com uma equipe de 5 pessoas, se constrói a casa em 30 dias. A produção em fábrica fornece maior segurança e conforto, assim como reduz imprevistos que podem atrasar o prazo de execução, como por exemplo a chuva, de modo que a diferença de prazos estimados possa ser ainda maior (SILVA et al., 2016).

Ecker e Martins (2014) analisam de forma mais detalhada o prazo para construção em diferentes sistemas construtivos, comparando a quantidade de horas necessárias para a execução de uma mesma residência (Figura 10). Com as horas trabalhadas divididas entre profissional e ajudante, observa-se que o percentual de profissionais é maior no sistema *wood frame*, o que gera uma produção de maior qualidade, por ter mais funcionários especializados.

Figura 10: Horas trabalhadas para a produção de uma residência



Fonte: ECKERS; MARTINS, 2014

Na Figura 11 abaixo, pode-se observar um comparativo entre alguns dos métodos construtivos mais utilizados no Brasil para um empreendimento de 250 unidades de 43,8 m². O *wood frame* se mostra até 3 vezes mais rápido que a alvenaria convencional, além de diminuir em pelo menos 30% o número de funcionários em obra (TECVERDE, 2019).

Figura 11: Comparativo de Tecnologias para um empreendimento de 250 unidades de 43,8 m²

	ALVENARIA CONVENCIONAL	ALVENARIA ESTRUTURAL	PAREDE DE CONCRETO	BLOCO DE CONCRETO	WOOD FRAME
PRAZO DE OBRA (Meses)	21	15,9	9,95	17	6,97
IP (Pessoas/UH/Mês)	9	7	4,7	9	2,1
Número de Pessoas em obra	107,11	110,03	118,06	132	75,34
Custos diretos + Custos indiretos	\$\$	\$\$\$	\$\$	\$\$	\$

Fonte: (<http://www.tecverde.com.br/predio-em-wood-frame/>)

De acordo com Ferreira (2013), a construção do primeiro empreendimento do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) com a utilização da tecnologia em *wood frame*, o Residencial Haragano (Figura 12), localizado em Pelotas (RS), permitiu a

redução do tempo de obra para um terço do prazo que seria necessário se fosse optado pela alvenaria convencional. As 280 unidades habitacionais do conjunto, de 45 m² cada, foram construídas e entregues à fase de acabamento final (que é feito manualmente, da forma tradicional) no prazo de 5 meses, em uma média de montagem de 2,5 unidades por dia.

Figura 12: Residencial Haragano, localizado em Pelotas, no Rio Grande do Sul



Fonte: (<http://pelotas.com.br/noticia/residencial-haragano-recebe-projeto-bons-vizinhos>)

A produtividade do sistema em *wood frame* também se mostra evidente através da análise dos dados da construção do Residencial Vancouver, em Araucária, no Paraná (Figura 13). Executado pela empresa Tecverde em parceria com a CRM Construtora, é o primeiro prédio do Brasil a ser construído com a tecnologia *wood frame*. Nessa obra, a montagem dos painéis, entrespisos e cobertura de uma torre de 3 pavimentos e 12 apartamentos foi feita em 64 horas, com produtividade de 4,4 m²/homem*hora, além de ser necessário mais 172 horas para a finalização pós montagem (TECVERDE, 2019).

Figura 13: Residencial Vancouver, localizado em Araucária, no Paraná



Fonte: (<http://www.tecverde.com.br/portfolio/residencial-vancouver-2/>)

3.1.2. Qualidade, conforto térmico e acústico

O comportamento estrutural do *wood frame* é superior ao da alvenaria estrutural tanto em peso e resistência, quanto em conforto térmico e acústico. Como as paredes do sistema são duplas, há um isolamento térmico mais eficiente, o que faz com que o consumo de energia para serem aquecidas ou resfriadas seja até 50% menor (MOLINA; CALIL, 2010; SILVA et al., 2016).

Segundo a CBIC (2012), a camada de isolamento que é introduzida no interior de paredes, lajes e coberturas, faz com que o nível de isolamento térmico e acústico de um painel em *wood frame* chega a ser 2 vezes superior ao de uma parede de alvenaria convencional.

Conforme a Sra. Monich, Gerente de Inovação na TecVerde, embora o Brasil seja um país muito extenso, o *wood frame* pode se adaptar a todas as zonas climáticas brasileiras, justamente por ser um sistema muito dinâmico. De forma geral, todos os componentes de um painel contribuem em parte com a resistência térmica da edificação. A própria estrutura de madeira com o fechamento apresenta um bom

desempenho térmico para quase todas zonas climáticas do país. É recomendada, apenas para as regiões mais frias, a utilização de lã de vidro como isolante térmico (COINASKI; SIQUEIRA, 2016).

Analisando as propriedades térmicas dos componentes de cada sistema construtivo pode-se compreender melhor as vantagens do *wood frame* em relação à alvenaria. Quanto menor a condutividade térmica de um material, maior a sua resistência térmica, e dessa forma, melhor o seu desempenho no isolamento térmico (CARDOSO, 2015).

Os materiais utilizados com frequência no sistema de alvenaria convencional, como o concreto, tijolo cerâmico e argamassa comum, apresentam condutividade térmica na faixa de 0,70 à 1,75 W/(m.K). Já os componentes do *wood frame*, como a madeira de pinus e as chapas OSB que formam a estrutura principal das paredes, têm condutividade térmica mais baixa, entre 0,15 e 0,17 W/(m.K); as placas cimentícias e o gesso acartonado, utilizados para revestimento externo e interno, cerca de 0,35 W/(m.K); e a lã de vidro, 0,045 W/(m.K), sendo que por esse motivo é considerada um dos melhores isolantes térmicos e mais indicado para o preenchimento do espaço entre a ossatura dos painéis.

Os dados de condutividade térmica dos materiais podem ser observados na Figura 14.

Figura 14: Condutividade térmica dos materiais

Condutividade Térmica dos Materiais (λ)	
Alvenaria	λ [W/(m.K)]
Concreto	1,75
Argamassa comum	1,15
Tijolos e telhas de barro	0,70 - 1,05
Wood Frame	λ [W/(m.K)]
Madeira (pinus)	0,15
OSB	0,17
Placa cimentícia	0,35
Gesso acartonado	0,35
Lã de vidro	0,045

Fonte: adaptado de NBR 15220-2 ABNT (2005) e GIGLIO (2005)

3.1.3. Impactos ambientais

Uma das principais vantagens do *wood frame* é utilizar como componente principal a madeira, o único material de construção renovável. Além disso, a madeira demanda baixo consumo energético para produção, e seqüestra carbono da atmosfera durante o crescimento da árvore (MOLINA; CALIL, 2010).

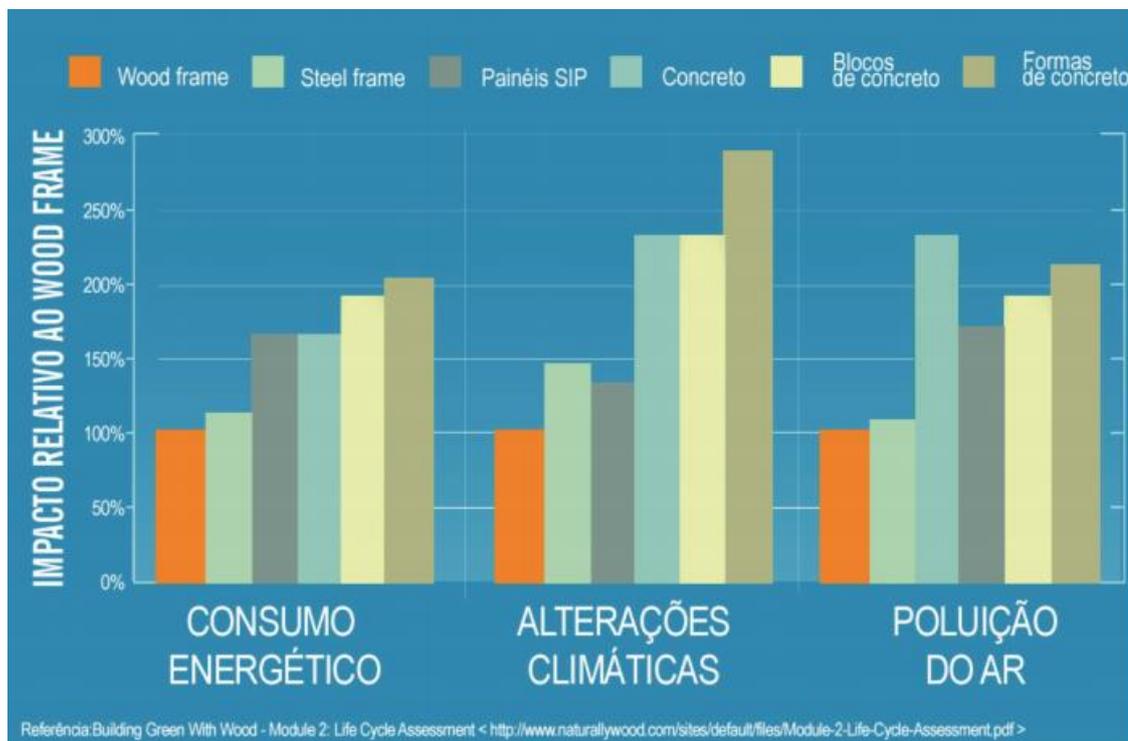
Conforme estudo comparativo de Torquato (2010) para a implantação de uma Biblioteca Cidadã de 184 m², o sistema *wood frame* possui 26% menos energia e gás carbônicos embutidos nos seus materiais de construção em relação à alvenaria convencional. Para uma perspectiva de construção de 300 bibliotecas no Estado do Paraná, seria possível construir o equivalente a mais 72 unidades sem causar mais impactos ao meio ambiente.

De acordo com Santos (2010), a substituição do sistema em alvenaria pelo *wood frame*, deixando de lado a larga utilização de concreto, aço, blocos, tijolos, cimento, areia e cal, pode reduzir em até 80% o desperdício de materiais em obra. Um dos fatores que leva a esse número é a necessidade de poucos ajustes no local da obra, já que a maioria dos painéis já vem pronto de fábrica, faltando somente a fase de acabamento.

A diminuição dos impactos ambientais com o uso do *wood frame* pode ser confirmada através da análise dos números da construção das 280 unidades do Residencial Haragano, em Pelotas (Rio Grande do Sul). Somente nessa obra, foi reduzida em mais de 80% a emissão de gás carbônico, o que representa uma diminuição de mais uma tonelada de CO₂, além da redução de desperdícios em até 90% e redução dos resíduos da construção civil em cerca de 85% (MACIEL, 2018).

A Figura 15 mostra uma análise do impacto ambiental de sistemas construtivos amplamente utilizados no Brasil e no mundo em relação ao *wood frame*. Esse último, apresenta vantagens em relação ao consumo energético, alterações climáticas e poluição do ar. O *steel frame*, por exemplo, que usa o aço como principal material, tem impacto ambiental maior em todos aspectos analisados.

Figura 15: Comparativo de impactos ambientais em relação ao *wood frame*



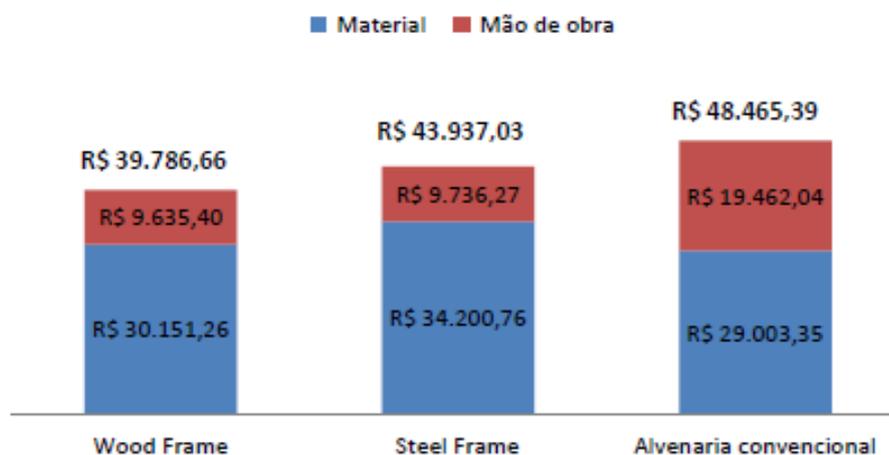
Fonte: CBIC, 2012 apud WERNER, 2007)

3.1.4. Custos com material e mão de obra

Os autores Ecker e Martins (2014), fazem um comparativo entre os sistemas construtivos *wood frame*, *steel frame* e alvenaria convencional para habitações de interesse social. Para a construção de uma residência de 50 m², similar as que são construídas para o Programa Minha Casa Minha Vida, os custos diretos com o sistema *wood frame* seriam de R\$ 39.786,66, contra R\$ 48.465,39 se fosse utilizada a alvenaria convencional (Figura 16). Isso representa uma diferença de quase 18% dos custos ao optar pelo *wood frame*.

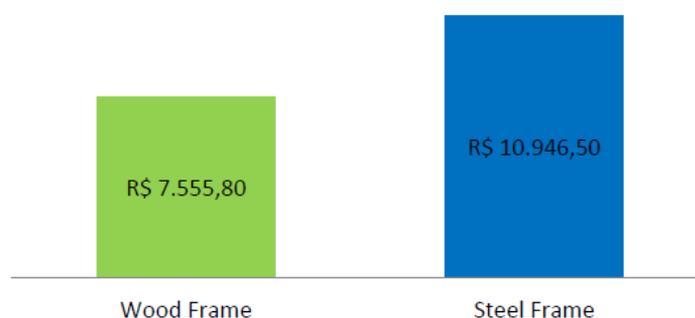
Comparando os sistemas *steel frame* e *wood frame*, ambos sistemas construtivos à seco que utilizam técnicas e materiais muito similares, nota-se que a diferença no custo total da moradia é muito menor em relação à alvenaria convencional, porém o *steel frame* é um pouco mais caro. Isso se explica principalmente devido ao valor do material para a estrutura de cada sistema, pois o aço tem custo mais alto no Brasil. Para o estudo de caso realizado, a estrutura de aço é quase 45% mais cara que a de madeira, conforme observa-se na Figura 17 (ECKER; MARTINS, 2014).

Figura 16: Despesas diretas para a construção de uma residência de 50 m²



Fonte: ECKER; MARTINS, 2014

Figura 17: Custo da estrutura para os sistemas *wood frame* e *steel frame*



Fonte: ECKER; MARTINS, 2014.

Analisando a viabilidade de construção de um conjunto habitacional de 339 residências pode-se notar mais claramente a diferença de custos entre os sistemas construtivos. Essa diferença, por sinal, torna-se ainda mais evidente quando são levados em conta no orçamento total os custos indiretos de obra, como por exemplo, salários de engenheiros e mestres de obras, alimentação, combustível, entre outros. Como essas despesas são proporcionais à duração da obra, o sistema em alvenaria convencional, que tem tempo de construção superior aos outros métodos, acaba se tornando uma opção muito mais cara (ECKER; MARTINS, 2014).

Conforme demonstra a Figura 18, a execução de 339 moradias para um conjunto habitacional é cerca de 25% mais barata optando pelo sistema construtivo em *wood frame* ao invés da alvenaria convencional.

Figura 18: Custos para a construção de 339 residências nos sistemas construtivos steel frame, *wood frame* e alvenaria convencional

	Despesas Diretas	Impostos (5,65%)	Despesas Indiretas	TOTAL
Wood Frame	R\$ 13.487.677,74	R\$ 762.053,79	R\$ 1.343.398,00	R\$ 15.593.129,53
Steel Frame	R\$ 14.894.653,17	R\$ 841.547,90	R\$ 1.151.484,00	R\$ 16.887.685,07
Alvenaria convencional	R\$ 16.429.767,21	R\$ 928.281,85	R\$ 3.454.452,00	R\$ 20.812.501,06

Fonte: ECKER; MARTINS, 2014.

Segundo levantamento feito para a construção de um residencial em Pelotas, Rio Grande do Sul, no ano de 2012, o custo de uma casa térrea de 45 m² no sistema *wood frame* para uma escala maior que 100 moradias, é de aproximadamente R\$ 28 mil por unidade habitacional. Já para a construção da mesma casa em alvenaria convencional, o custo seria por volta de R\$ 30 mil ou mais (FERREIRA, 2013).

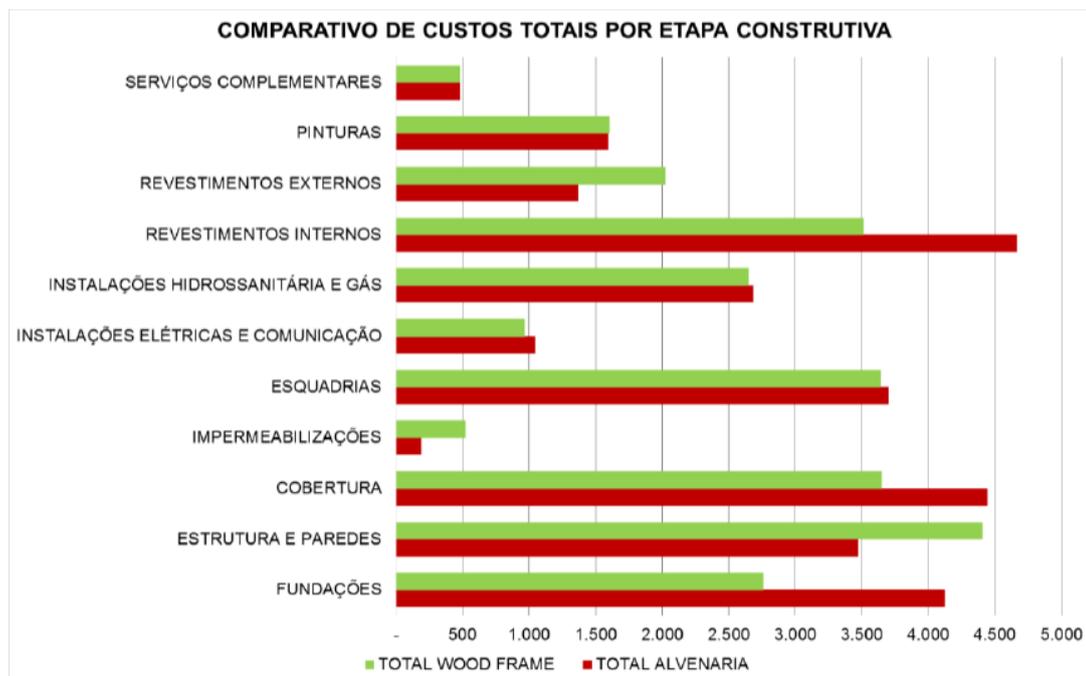
Ainda conforme o mesmo estudo, o custo em materiais é cerca de 10% maior para uma construção em *wood frame*, no entanto, a redução de mão de obra pode chegar a 50% em relação à alvenaria. Assim, a construção com madeira pode representar uma diminuição de até 10% dos custos da obra.

Através de outra análise comparativa entre esses sistemas construtivos, feita por Campos (2015), pode-se perceber a diferença de custos por etapa construtiva (Figura 19), sendo que em quase todas elas há uma redução nas despesas quando utilizado o *wood frame*.

Dessa forma, a construção em *wood frame*, em relação à alvenaria representa um aumento de 9,9% em custos com materiais e diminuição de 35,7% com mão de obra, que geram uma economia total de 5,6% nos custos da obra (CAMPOS, 2015).

Essa vantagem também pode ser observada em edificações que não sejam residenciais e apresentam área total maior. Segundo estudo de Torquato (2010), para a implantação de uma biblioteca pública de 184 m², o sistema *wood frame* tem um investimento 6,92% menor que o sistema tradicional.

Figura 19: Comparativo de custos totais por etapa construtiva



Fonte: CAMPOS, 2015

Após a análise de vários comparativos em relação aos custos dos sistemas construtivos, pode-se afirmar que de modo geral a construção em *wood frame* tem gastos um pouco maiores com materiais em relação à alvenaria. De acordo com Ecker e Martins (2014), isso acontece pelo fato desse sistema ainda não ser tanto utilizado no Brasil, o que gera um aumento de preço desses novos produtos no mercado pela baixa comercialização.

Por outro lado, nota-se que o grande ganho do *wood frame* é em relação ao custo com mão de obra, que são sempre menores nesse sistema, gerando uma economia significativa para a obra. Isso se dá pela maior agilidade na construção, demanda menor de trabalhadores em várias etapas e pelo tempo de execução ser reduzido, diminuindo assim também as despesas indiretas de obra, que muitas vezes não são analisadas em um primeiro momento.

3.2. O futuro do *Wood Frame* no Brasil

O *wood frame* é uma tecnologia ainda recente no Brasil quando comparada à outros métodos construtivos tradicionais, mas sua utilização vem crescendo de forma gradual nos últimos anos.

A expansão do *wood frame* no país ocorreu devido a aprovação desse sistema pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) e submissão ao Sistema Nacional de Aprovação Técnica de Produtos Inovadores (SINAT), sendo que a partir de 2013, o sistema construtivo começou a integrar o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), possibilitando financiamentos pela Caixa Econômica Federal.

Até meados de 2010, verificou-se a presença de poucos construtores com intenção de construir utilizando o *wood frame*. No entanto, a partir de 2011 até o fim de 2016, foram constatadas aproximadamente 23 empresas que utilizaram o sistema nas suas construções. Esse crescimento ocorreu muito devido aos esforços para a homologação do método construtivo *wood frame*, assim como pela inserção no PMCMV, que tornou o acesso à moradia nesse sistema mais viável (ESPÍNDOLA, 2017).

A Tecverde, por exemplo, que tem a homologação para a construção em *wood frame* atendendo ao PMCMV, permite que outras construtoras utilizem sua tecnologia para a execução de empreendimentos nesse mesmo âmbito. Somente através dessa empresa, já foram construídos mais de 130.000 m² com *wood frame* no Brasil, o que a faz ter muito destaque na construção utilizando esse sistema (TECVERDE, 2019).

Segundo Espíndola (2017), já haviam sido construídas no país até o ano de 2015, cerca de 500 unidades habitacionais da Faixa 1 do Programa Minha Casa Minha Vida, e mais de 600 unidades habitacionais da Faixa 2. Assim, observamos que a escala de produção em *wood frame* vem aumentando, o que é fundamental para manter um custo competitivo e mais vantajoso em relação aos sistemas tradicionais.

Por outro lado, de acordo com o estudo feito por Sotsek e Santos (2018) em relação ao panorama do *wood frame* no país, percebe-se que a difusão ainda maior desse sistema construtivo é muito dependente do ambiente regulador. Isso significa que depende fortemente do apoio e incentivo governamental, de mais normatizações para o sistema e da necessidade de disseminar mais informações aos usuários finais como forma de combate ao preconceito com o uso da madeira. Também é importante

a integração dos agentes da cadeia de suprimentos dos setores da construção civil e madeireiro, com a proposta de diminuir a barreira empresarial.

Paralelo a essas questões, é necessária uma maior concorrência no setor de *wood frame* para reduzirem os custos para a utilização do sistema construtivo, fazendo com que esse se torne mais credível e atraente aos olhos de arquitetos, engenheiros, prestadores de serviços e investidores. Além disso, a própria academia possui um papel forte para uma maior divulgação do sistema e capacitação de profissionais para atuar de forma direta com o *wood frame* (MOLINA; CALIL, 2010; SOTSEK; SANTOS, 2018).

4. CONCLUSÃO

A maior parte da atividade da construção civil no Brasil não se mostra aliada ao desenvolvimento sustentável no país. Além de se ter um deficit habitacional muito grande e a moradia não ser acessível à toda população, ainda predominam os métodos construtivos tradicionais, que tem caráter artesanal, baixa produtividade, causam impactos ambientais, tem grande geração de resíduos e desperdício de materiais.

Diante dos claros impactos do atual modelo de construção civil utilizado no país, observa-se a necessidade da escolha por sistemas construtivos que colaborem diretamente para o desenvolvimento sustentável no país. Surge como alternativa para o setor de habitação o *wood frame*, que tem como principal elemento da construção a madeira e já é muito utilizado em vários países desenvolvidos.

Os resultados da análise feita nesse trabalho mostram que o sistema construtivo *wood frame* apresenta uma série de vantagens em relação à alvenaria convencional e outros métodos predominantes no Brasil atualmente.

Como a produção dos painéis de parede, piso e cobertura pode ser feita em fábrica, o aumento da produtividade se mostra uma das principais vantagens do *wood frame*, fazendo com o que o prazo das obras diminua significativamente. Analisando especificamente esse fator, nota-se que a construção com esse método é em média três vezes mais rápida que a alvenaria convencional, podendo chegar em até seis vezes em alguns casos.

O conforto térmico e acústico do *wood frame* também é melhor, devido ao fato dos materiais que compõe os painéis terem maior isolamento e resistência térmica. Conforme os estudos analisados, esses painéis chegam a ter isolamento térmico duas vezes superior ao de uma parede convencional, o que faz com que o consumo de energia das residências seja reduzido.

A utilização da madeira como principal componente do sistema também traz vários benefícios ao *wood frame*. Por ser o único material de construção renovável, contribui para a redução do uso de recursos naturais e dos impactos ambientais. Em comparação com os métodos construtivos tradicionais, a emissão de gás carbônico é reduzida em cerca de 80%, os desperdícios em até 90% e a geração de resíduos da construção civil diminui para 85%. Além disso, o consumo energético embutido nos

materiais de *wood frame* é muito menor, e o consumo de água também reduz em quase 90%.

Em relação aos custos para construção, conclui-se que uma edificação em *wood frame* é geralmente mais barata em comparação à alvenaria convencional. Os custos com materiais se mostram em torno de 10% mais caros, muito devido ao fato do sistema usar materiais e tecnologias novas no mercado, que ainda tem pouca comercialização. No entanto, a grande diferença se dá na diminuição com gastos de mão de obra, que varia de pelo menos 30% a até 50% quando comparado à alvenaria. Em relação ao orçamento de custos diretos totais de obra, o *wood frame* apresenta uma economia que geralmente varia de 5 a 10%, mas que pode chegar a até 18%. Essa diferença aumenta ainda mais quando são considerados os custos indiretos de construção, pois esses são proporcionais ao tempo de obra, que são menores quando utilizado esse sistema.

Em suma, embora o *wood frame* ainda seja um sistema relativamente novo no Brasil, conclui-se que o mesmo já se mostra como uma alternativa viável para o desenvolvimento sustentável no país. Além de reduzir significativamente os impactos ambientais e uso de recursos naturais, proporciona maior conforto e qualidade de vida para os usuários. Junto a isso, por ser mais barato e mais rápido que os sistemas tradicionais, pode contribuir para a diminuição do déficit habitacional do Brasil: torna-se uma opção mais atraente para profissionais, construtoras e população em geral, principalmente a faixa mais carente, bem como pode garantir a construção de mais moradias em um prazo menor de tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE, “**Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013**”. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>> Acesso em: 02 out. 2019.

ALLEN, E.; THALLON, R. **Fundamentals of Residential Construction**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011.

ALVES, Letícia Pereira. **COMPARATIVO DO CUSTO BENEFÍCIO ENTRE O SISTEMA CONSTRUTIVO EM ALVENARIA E OS SISTEMAS STEEL FRAME E WOOD FRAME**. 2015. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/56095151/alves-2015>> Acesso em: 05 out. 2019.

AMBIENTE BRASIL. **Conceito de Construção Sustentável**. Disponível em: <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/arquitetura/construcoes_verdes/conceito_de_construcao_sustentavel.html>. Acesso em: 27 set. 2019.

BARBOSA, Gisele Silva. **O DESAFIO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. 2008. Revista Visões 4ª Edição, Nº4, Volume 1 - Jan/Jun 2008. Disponível em: <http://www.fsma.edu.br/visoes/ed04/4ed_O_Desafio_Do_Deenvolvimento_Sustentavel_Gisele.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019.

BARRETO, Ismeralda Maria Castelo Branco do Nascimento. **Gestão de resíduos na construção civil**. Aracaju: SENAI/SE; SENAI/DN; COMPETIR; SEBRAE/SE; SINDUSCON/SE, 2005. 28p. il.

BARTH, F.; VEFAGO, L. H. M. **Tecnologia de fachadas pré-fabricadas**. Florianópolis: Letras Contemporâneas, 2007.

BEVILAQUA, Rosane. **ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE PRÉDIOS ESTRUTURADOS EM PERFIS FORMADOS A FRIO SEGUNDO OS SISTEMAS APORTICADO E “LIGHT STEEL FRAMING”**. 2005.

Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/290M.PDF>>. Acesso em: 05 out. 2019.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E.. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v61n358/0366-6913-ce-61-358-00178.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2019.

BRÜSEKE, Josef F. “O problema do desenvolvimento sustentável”.in: *Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável*. CAVALCANTI, Clóvis (org.) - 2a ed. - São Paulo: Cortez; Recife, PE: Fundação Joaquim Nabuco, 1998. <<http://biblioteca.clacso.edu.ar/Brasil/dipes-fundaj/uploads/20121129023744/cavalcanti1.pdf#page=15>>. Acesso em: 15 set. 2019.

CAMPOS, Patricia Farrielo de; LARA, Arthur Hunold. **SISTEMAS CONSTRUTIVOS ALTERNATIVOS PARA HABITAÇÕES POPULARES**. Disponível em: <https://www.usp.br/nutau/nutau_2012/1dia/Artigo_Patricia%20Campos.pdf>. Acesso em: 28 set. 2019.

CARDOSO, Larriê Andrey. **ESTUDO DO MÉTODO CONSTRUTIVO WOOD FRAMING PARA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**. 2015. Disponível em: <<http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/CARDOSO-L.-A.-Estudo-do-me%CC%81todo-construtivo-wood-framing-para-construc%CC%A7o%CC%83es-de-HIS.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.

CASTRO, Aline Antonia et al. **A CONSTRUÇÃO CIVIL E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS: UMA ANÁLISE SOBRE A POSSIBILIDADE DO USO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS PARA REDUÇÃO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS**. Disponível em: <<http://www.revistaeea.org/pf.php?idartigo=3216>>. Acesso em: 21 set. 2019.

CBIC. **SISTEMA CONSTRUTIVO WOOD FRAME PODE AJUDAR A REDUZIR O DÉFICIT DE HABITAÇÃO EM CURTO PRAZO NO BRASIL**. 2016. Disponível em:

<<https://cbic.org.br/sistema-construtivo-wood-frame-pode-ajudar-a-reduzir-o-deficit-de-habitacao-em-curto-prazo-no-brasil/>>. Acesso em: 30 out. 2019.

COINASKI, Melissa dos Santos; SIQUEIRA, Vinícius de Azevedo. **WOOD FRAME: UM ESTUDO DE ATENDIMENTO ÀS NORMAS E À CULTURA HABITACIONAL BRASILEIRA**. 2016. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7676/1/PB_COECI_2016_1_15.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2019.

COLOMBO, R. C.; BAZZO, W. A. **Desperdício na construção civil e a questão habitacional: um enfoque CTS**. 2001. Disponível em: <<http://www.oei.es/salactsi/colombobazzo.htm>> Acesso em: 22 set. 2019

CONDEIXA, Karina de Macedo Soares Pires. **COMPARAÇÃO ENTRE MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: SISTEMA DRYWALL E ALVENARIA DE VEDAÇÃO**. 2013. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/6226460-Karina-de-macedo-soares-pires-condeixa.html>>. Acesso em: 03 out. 2019.

Déficit habitacional no Brasil 2015/ Fundação João Pinheiro, Diretoria de Estatística e Informações. – Belo Horizonte : FJP, 2018.

DIAS, Gustavo Lacerda. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE PAREDES ESTRUTURAIS DE SISTEMA LEVE EM MADEIRA (SISTEMA PLATAFORMA) SUBMETIDAS A FORÇA HORIZONTAL NO SEU PLANO**. 2005. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – Ufsc, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102897>>. Acesso em: 15 out. 2019.

ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa. **O wood frame na produção de habitação social no Brasil**. 2017. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-04092017-113504/en.php>>. Acesso em: 08 nov. 2019.

FIESS, Julio Ricardo et al. **CAUSAS DA OCORRENCIA DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONJUNTOS HABITACIONAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO**. 2004. Disponível em: <https://www.academia.edu/37883410/CAUSAS_DA_OCORRENCIA_DE_MANIFESTAÇÕES_PATOLÓGICAS_EM_CONJUNTOS_HABITACIONAIS_DO_ESTADO_DE_SÃO_PAULO?auto=download>. Acesso em: 29 set. 2019.

FINATTI, Euclesio Manoel. **WOOD FRAME**: Curitiba, 2014. 38 slides, color. Disponível em: <http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/Casa-Inteligente_2o.-Simpósio-de-Madeira-e-estrutura.pdf>. Acesso em: 17 out. 2019.

FUTURENG - PROJECTOS E CONSTRUÇÃO CIVIL, LDA. **Wood Frame**. Disponível em: <<http://www.futureng.pt/wood-framing>>. Acesso em: 07 out. 2019.

GIGLIO, Thalita Gorban Ferreira. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO EM MADEIRA PARA O CLIMA DE LONDRINA - PR**. 2005. Disponível em: <<http://www.uel.br/pos/enges/dissertacoes/17.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

HAMASSAKI, Luiz Tsugio. **Processamento do lixo – Reciclagem de Entulho**. In: D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero; VILHENA, André (Coord.). Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT/Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE, 2000. Cap. 4, p. 179-189. Acesso em: 22 set. 2019.

HASS, Deleine Christina G.; MARTINS, Louise F. **VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DO SISTEMA CONSTRUTIVO STEEL FRAME COMO MÉTODO CONSTRUTIVO PARA HABITAÇÕES SOCIAIS**. 2011. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LOTURCO, Bruno. **CHILE APOSTA EM PROGRAMA NACIONAL PARA INDUSTRIALIZAR CONSTRUÇÃO**. 2019. Disponível em: <<https://www.buildin.com.br/construye-2025-boris-naranjo/>>. Acesso em: 12 out. 2019.

LP BUILDING PRODUCTS. **LP OSB HOME PLUS**. Disponível em: <<https://www.lpbrasil.com.br/produtos/lp-osb-home-plus/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

MACIEL, Diego Lima de Oliveira et al. **SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL – PAINÉIS DE MADEIRA**. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/view/5569>>. Acesso em: 04 nov. 2019.

MATEUS, Ricardo. **NOVAS TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS COM VISTA À SUSTENTABILIDADE DA CONSTRUÇÃO: PARTE I ENQUADRAMENTO DO TRABALHO DE INVESTIGAÇÃO NA REALIDADE DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. O IMPACTE AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO**. 2004. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/817/5/Parte%20I.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2019.

MELLO, L. C. B. B. **Modernização das pequenas e médias empresas de Construção Civil: impactos dos programas de melhoria da gestão da qualidade**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Civil, Universidade Federal Fluminense. Niterói-RJ, 2007. 22/09/2019

MOLINA, Julio Cesar; CALIL JUNIOR, Carlito. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/view/4017>>. Acesso em: 10 set. 2019.

MOTTA, Luana Dias. **A QUESTÃO DA HABITAÇÃO NO BRASIL: POLÍTICAS PÚBLICAS, CONFLITOS URBANOS E O DIREITO À CIDADE**. Disponível em: <<https://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/wp-content/uploads/2014/04/TAMC->

MOTTA_Luana_-_A_questao_da_habitacao_no_Brasil.pdf>. Acesso em: 28 set. 2019.

NAKAMURA, J. **Light wood frame**. Revista Técnica: Edição 148 - Julho/2009

OLIVEIRA, L. A. **Avaliação da Aceitabilidade do Sistema Construtivo “Wood Frame”**. Curitiba, 2014. 61 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2014

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (Org.). **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acesso em: 10 set. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Humanidade consome recursos da Terra a taxas insustentáveis, alerta agência da ONU**. 2019. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/humanidade-consome-recursos-da-terra-a-taxas-insustentaveis-alerta-agencia-da-onu/>>. Acesso em: 30 set. 2019.

PAESE, Michelle Cristine Bonatto. **ANÁLISE DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA IMPLANTADOS NA REGIÃO DE CURITIBA - PARANÁ**. 2012. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/500/1/CT_PPGECC_M_Paese%2c%20Michelle%20Cristine%20Bonatto_2012.pdf>. Acesso em: 12 out. 2019.

PENNA, Fernando C.F. **Análise da viabilidade econômica do sistema light steel framing na execução de habitações de interesse social: uma abordagem pragmática**. 2009. 92f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

PEREIRA, Caio. **O que é Alvenaria?**. Escola Engenharia, 2017. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/alvenaria/>. Acesso em: 21 set. 2019.

PINTO, Tarcísio de Paulo (Org.). **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: A experiência do SindusCon-SP**. 2005. São Paulo: Obra Limpa; Sinduscon-SP; I&T. Disponível em: <http://www.gerenciamento.ufba.br/Downloads/Manual_Residuos_Solidos.pdf>. Acesso em: 24 set. 2019.

PRUDÊNCIO, Marcus Vinícius M. V. **Projeto e análise comparativa de custo de uma residência unifamiliar utilizando os sistemas construtivos convencional e Light Steel Framing**. 2013. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

REIS, Jorge Fernando dos. **MÉTODOS CONSTRUTIVOS ALTERNATIVOS PARA A OTIMIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES POPULARES**. 2018. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024945.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2019.

REVISTA EM DISCUSSÃO!: Rio+20: Em busca de um mundo sustentável. Brasília: Secretaria Jornal do Senado, n. 11, jun. 2012. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/NOTICIAS/JORNAL/EMDISCUSSAO/upload/201202%20-%20maio/pdf/em%20discuss%C3%A3o!_maio_2012_internet.pdf>. Acesso em: 17 set. 2019.

RODRIGUES, F. C. **Steel Framing**: Engenharia. Rio de Janeiro, RJ: IBS/CBCA, 2006. SACCO, M. F.; STAMATO, G. C. **Light wood frame - construções com estrutura leve de madeira**. Revista Técnica: Edição 140 - Novembro/2008.

SÁNCHEZ, J. E. et al. **Casas de madera: los sistemas constructivos a base de madera aplicados a las viviendas unifamiliares**. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de Madera y Corcho (AITIM), 1995. 699 p.

SANTIAGO, Alexandre Kokke; ARAÚJO, Ernani Carlos de. **SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING COMO FECHAMENTO EXTERNO VERTICAL INDUSTRIALIZADO**. 1998. Disponível em:

<https://www.abcem.org.br/construmetal/2008/downloads/PDFs/2_Alexandre_Santiago_Construmetal-STEEL_FRAMING_COMO_FECHAMENTO_EXTERNO.pdf>.

Acesso em: 21 set. 2019.

SHINTEC. **Wood-Frame: O que é Wood-Frame?**. Disponível em: <<http://www.shintech.com.br/internas/wood.htm>>. Acesso em: 12 out. 2019.

SOTSEK, Nicolle Christine; SANTOS, Adriana de Paula Lacerda. **Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil**. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212018000300309&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 07 nov. 2019.

SOUZA, Laurilan Gonçalves. **Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame**. 2013. Disponível em: <<http://www.ipoggo.com.br/revista-ipog/download/analise-comparativa-do-custo-de-uma-casa-unifamiliar-nos-sistemas-construtivos-de-alvenaria-madeira-de-lei-e-wood-frame>>. Acesso em: 22 set. 2019.

SOUZA, U. E. L. Como Reduzir Perdas nos Canteiros de Obras: manual de gestão do consumo de materiais na construção civil. São Paulo: Pini, 2005.

TECVERDE. **CASAS TECVERDE POSSUEM MAIOR ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO**. 2014. Disponível em: <<http://www.tecverde.com.br/2014/03/25/casas-tecverde-possuem-maior-isolamento-termico-e-acustico/>>. Acesso em: 12 out. 2019.

TECVERDE. **Panorama do Sistema Construtivo Tecverde**. 2016. Disponível em: <<http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/Panorama-do-Sistema-Construtivo-Tecverde-2016.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2019.

TEREZO, R. F. Tecnologia e qualidade para produtos em pinus voltadas ao mercado da construção civil. 3º CONGRESSO INTERNACIONAL DO PINUS, Lages, 17 nov 2011.

TORQUATO, Mario Leonardo. **Estudo comparativo quanto a preceitos da sustentabilidade entre o método tradicional de produção e o sistema Light Wood**

Framing para a construção de Biblioteca Cidadã. 2010. 82 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construção de Obras Públicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/34352/TORQUATO%2c%20MARIO%20LEONARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 08 nov. 2019.

VELLOSO, Joana Geraldí. **DIRETRIZES PARA CONSTRUÇÕES EM MADEIRA NO SISTEMA PLATAFORMA.** 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/94066>>. Acesso em: 20 out. 2019.

WANG, L.; TOPPINEN, A.; JUSLIN, H. **Use of Wood in Green Building: a study of expert perspectives from the UK.** Journal of Cleaner Production, v. 65, p. 350-361, 2014.

WEINSCHENCK, J. H. **Estudo da flexibilidade como mecanismo para a personalização de casas pré-fabricadas: uma abordagem voltada para a indústria de casas de madeira.** Florianópolis, 2012. Dissertação de mestrado (Arquitetura) – Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina.