

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL VELAME SILVA

**COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS DE ALVENARIA DE
VEDAÇÃO DE BLOCO CERÂMICO E *LIGHT WOOD FRAME*:
DESEMPENHO TÉRMICO, ACÚSTICO E IMPACTO AMBIENTAL.**

CAMPO MOURÃO

2021

GABRIEL VELAME SILVA

**COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS DE ALVENARIA DE
VEDAÇÃO DE BLOCO CERÂMICO E *LIGHT WOOD FRAME*:
DESEMPENHO TÉRMICO, ACÚSTICO E IMPACTO AMBIENTAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná — UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Vera Lúcia Barradas Moreira

CAMPO MOURÃO

2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCO CERÂMICO E *LIGHT WOOD FRAME*: DESEMPENHO TÉRMICO, ACÚSTICO E IMPACTO AMBIENTAL.

por

Gabriel Velame Silva

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 18h do dia 23 de agosto de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Dr. Adalberto Luiz Rodrigues de
Oliveira**

(UTFPR)

Prof.^a Dr.^a Jucélia Kuchla Vieira

(UTFPR)

Prof.^a Dr.^a Vera Lúcia Barradas Moreira

(UTFPR)
Orientadora

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial, aos meus pais, Gisélia e Luiz, que me incentivaram em todos os momentos, garantiram a minha permanência na Universidade e contribuíram de todas as formas para a realização deste sonho.

À minha irmã, Laís, a quem admiro por sua dedicação e com quem posso sempre contar.

À UTFPR e aos meus professores e professoras, que me permitiram apresentar um melhor desempenho neste longo processo de formação. Em especial, à professora Vera Lucia Moreira, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e paciência.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

A todas as pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

No mais, qualquer palavra limitaria o quanto agradeço a cada um que tornou este sonho possível.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar que, apesar dos notórios benefícios da Engenharia Civil na conjuntura nacional para a manutenção das condições necessárias ao bem-estar global da população, corroborando com a redução do índice de desemprego, garantindo e aumentando a renda familiar, o setor enfrenta significativos impasses. Tais impasses perpassam questões financeiras e tangem questões como degradação ambiental, poluição e desperdício de recursos naturais não renováveis. Nesse contexto, propõe-se o estudo da viabilidade da implementação de estratégias de construções sustentáveis. Portanto, apresenta-se neste estudo a comparação entre o tradicional método construtivo brasileiro, de alvenaria, e o estadunidense, de construção em madeira (*Wood Frame*), para que se apure a viabilidade ambiental do emprego do *Wood Frame* no Brasil. Comparação esta feita por intermédio de revisão bibliográfica e termos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), definidos nos itens da *NBR 15.575: Desempenho Térmico, desempenho acústico e impacto ambiental*. O *wood frame* gerou impacto ambiental muito inferior à alvenaria. Nenhum material atendeu todos os itens de desempenhos térmico e acústico porém os resultados foram muito próximos, sendo possível utilizar alternativas complementares para a viabilização.

Palavras-chave: Alvenaria. *Wood Frame*. Construção Sustentável.

ABSTRACT

This paper has the objective of presenting that, despite the notorious benefits of Civil Engineering in the national conjuncture to maintain the conditions required for the overall well-being of the population, contributing to the reduction of the unemployment rate, guaranteeing and increasing the family income, the sector faces some significant stalemates. Such impasses go beyond financial issues and reach on questions such as environmental degradation, pollution and waste of non-renewable natural resources. In this context, it proposes to study the feasibility of implementing sustainable building strategies. Therefore, this study presents a comparison between the traditional Brazilian construction method, of masonry, and the American method, of wood construction (Wood Frame), in order to determine the environmental viability of using Wood Frame in Brazil. This comparison is made by means of literature review and the terms of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), defined in the items of “NBR 15.575: Thermal performance, acoustic performance and environmental impact”. The wood frame generated a much lower environmental impact than masonry. No material met all the thermal and acoustic performance items, but the results were very close, making it possible to use complementary alternatives for feasibility.

Keywords: Masonry. Wood Frame. Sustainable Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Primeira obra em Wood Frame, Igreja Saint Mary, Chicago (1883)	17
Figura 2 — Piso Pav. Superior (vista inferior)	19
Figura 3 — Piso tipo plataforma (térreo)	19
Figura 4 — Estrutura do painel parede	20
Figura 5 — Instalações elétricas (a) e Instalações hidráulicas (b)	21
Figura 6 — Revestimento interno com lã de vidro	22
Figura 7 — Parede revestida	22
Figura 8 — Telhado de um sistema em Wood Frame	23
Figura 9 — Coliseu de Roma	26
Figura 10 — Bloco cerâmico	28
Figura 11 — Alvenaria de vedação ligada a estrutura de concreto armado.....	29
Figura 12 — Alvenaria cortada para passagem de dutos.....	30
Figura 13 — Estrutura de telhado convencional.....	31
Figura 14 — Estrutura de telhado com telha de fibrocimento.....	32
Figura 15 — Mapa bioclimático brasileiro.....	33
Figura 16 — Painéis em Wood Frame	44
Figura 17 — Vedação em Wood Frame (a) Parede externa (b) Parede interna	46
Figura 18 — Transmitância térmica e Capacidade térmica em diferentes paredes.....	51
Figura 19 — Transmitância térmica e Capacidade térmica da Alvenaria Convencional.....	52
Figura 20 — Vedação em alvenaria (a) Parede externa (b) Parede interna.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Transmitância térmica de paredes externas.....	34
Quadro 2 — Capacidade térmica de paredes externas.....	34
Quadro 3 — Critério de avaliação de desempenho térmico para verão	35
Quadro 4 — Critério de avaliação de desempenho térmico para inverno	35
Quadro 5 — Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas	36
Quadro 6 — Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes	37
Quadro 7 — Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m, nT, w}$, para ensaio de campo	38
Quadro 8 — Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT, w}$, para ensaio de campo	38
Quadro 9 — Vida Útil de Projeto (VUP).....	39
Quadro 10 — Vida Útil de Projeto para partes do edifício.....	40
Quadro 11 — Transmitância e capacidade térmica Wood Frame.....	45
Quadro 12 — Temperatura Interna no wood frame em dias típicos de temperatura extrema.....	46
Quadro 13 — Redução Sonora ponderada Wood Frame.....	47
Quadro 14 — Diferença de nível ponderada Wood Frame.....	48
Quadro 15 — Emissão de gases Wood Frame.....	49
Quadro 16 — Emissão de gases por metro quadrado de alvenaria.....	49
Quadro 17 — Transmitância térmica e capacidade térmica no bloco cerâmico.....	52
Quadro 18 — Transmitância e capacidade térmica alvenaria.....	53
Quadro 19 — Temperatura simulada alvenaria.....	54
Quadro 20 — Valores do índice de redução sonora ponderado.....	55
Quadro 21 — Desempenho acústico bloco cerâmico.....	55
Quadro 22 — Amostra PTF15.....	56
Quadro 23 — Diferença padronizada de nível ponderada bloco cerâmico.....	56
Quadro 24 — Emissão de gases alvenaria.....	57
Quadro 25 — Emissão de gases por metro quadrado de alvenaria.....	58
Quadro 26 — Comparativo entre sistemas.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Valores de U e CT para os painéis de Wood Frame	44
--	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CT	Capacidade Térmica
dB	Decibel
DnT	Diferença de nível ponderada
EUA	Estados Unidos da América
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LWF	<i>Light Wood Frame</i>
NBR	Norma Brasileira
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
Pnad	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio
RCC	Resíduos da Construção Civil
Rw	Índice de redução sonora ponderado
U	Transmitância Térmica
VU	Vida Útil
VUP	Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3 JUSTIFICATIVA.....	14
4 REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1 Construção Civil nos Estados Unidos da América	15
4.1.1 <i>Wood Frame</i>	15
4.1.1.1 Histórico.....	16
4.1.1.2 Características	18
4.2 Construção Civil no Brasil	23
4.2.1 Histórico.....	24
4.2.2 Características	27
4.3 ABNT NBR 15.575:2013	32
4.3.1 Desempenho Térmico.....	32
4.3.2 Desempenho acústico.....	36
4.3.3 Sustentabilidade	39
5 METODOLOGIA	42

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
6.1 Avaliação do <i>Light Wood Frame</i>	43
6.1.1 Desempenho térmico do <i>Light Wood Frame</i>	43
6.1.2 Desempenho acústico do <i>Light Wood Frame</i>	46
6.1.3 Impacto ambiental <i>Wood Frame</i>	49
6.2 Avaliação da Alvenaria de Vedação	50
6.2.1 Desempenho térmico da Alvenaria	51
6.2.2 Desempenho acústico da Alvenaria	54
6.2.3 Impacto Ambiental Alvenaria	57
6.3 Comparação entre Sistemas	58
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS	611

1 INTRODUÇÃO

É notória e já comprovada por pesquisas a importância da construção civil no cenário nacional, visto que o setor tem a capacidade de diminuir a taxa de desemprego e aumentar a renda familiar. Segundo Walter Cover (SEBRAE, 2016), presidente da Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção, em 2016, o setor foi responsável por promover 13 milhões de empregos no Brasil, direta e indiretamente, atuando essencialmente na qualidade de vida, garantindo o bem-estar e o conforto da população.

Em contrapartida, o setor tem como desafio a diminuição dos impactos ambientais gerados, tais como geração de resíduos, gasto de energia, poluição e desperdício de água. Uma das formas de reduzir os impactos ambientais que a construção pode causar é implementando métodos construtivos mais eficientes; gastando menos tempo nas construções; aproveitando melhor os insumos e evitando o desperdício, gerando, assim, menores impactos, tanto ambientais quanto financeiros.

Portanto, é neste contexto que se insere o tema deste trabalho, em que será efetuada uma comparação entre o método construtivo tradicionalmente utilizado em residências unifamiliares no Brasil — o sistema de alvenaria — e o método mais utilizado nos Estados Unidos — o sistema de *Wood Frame* (construção em madeira) — com o intuito de averiguar a viabilidade ambiental para a aplicação do *Wood Frame* no Brasil.

Para realizar as comparações, serão utilizados dados sobre cada sistema, obtidos com empresas do ramo, pesquisas e literatura técnica. Será comparada a eficiência de ambos os processos, de acordo com os termos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), definidos nos seguintes itens da Norma Brasileira 15.575 (Desempenho térmico, desempenho acústico e impacto ambiental – encontrados nas partes 1 e 4 da NBR 15.575).

Assim, pretende-se descobrir se o sistema de *Wood Framing*, caso adotado em maior escala no Brasil, contribuiria para a redução de impactos ambientais.

2 OBJETIVOS

Aqui falaremos sobre os objetivos deste trabalho.

2.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise comparativa, através de parâmetros, entre os sistemas construtivos tradicionalmente utilizados no Brasil e nos Estados Unidos para a execução de residências unifamiliares e verificar a viabilidade da aplicação do sistema estadunidense no Brasil.

2.2 Objetivos Específicos

- Conceituar os sistemas construtivos;
- Avaliar os confortos térmico e acústico pela NBR 15575 parte 1 e parte 4;
- Analisar o impacto ambiental de acordo com a energia embutida nos insumos principais dos sistemas construtivos e pela emissão de gases na atmosfera por esses insumos;
- Definir se o sistema estadunidense é adequado e viável no Brasil.

3 JUSTIFICATIVA

Em 2017, o déficit de habitações no Brasil atingiu o recorde histórico e apontou para a necessidade de construção de quase 8 milhões de residências para que o direito à moradia digna fosse garantido, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (Pnad) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esse crescimento no déficit habitacional se dá por alguns fatores: aumento no valor dos aluguéis; valorização dos imóveis; baixa valorização do salário mínimo e crescimento populacional. Segundo o IBGE, a população brasileira (em 2020) passa de 210 milhões.

Acompanhando o crescimento populacional, tem-se como consequência iminente o aumento da degradação ambiental, seja pela utilização de recursos de forma não planejada ou pelo impacto ambiental causado pelas construções convencionais. Alguns dos impactos gerados são os altos desperdícios de insumos e água, além do grande aumento de consumo energético, causado direta ou indiretamente pela construção.

De acordo com CZERWINSKA (2019), diretora do *Green Building Council* Brasil, a construção civil emite cerca de 1/3 dos gases lançados na atmosfera terrestre. Segundo Cardoso (2017), a construção civil é responsável por produzir 50% dos resíduos sólidos do país. Obras que utilizam o processo de construção convencional geram entre 0,1 a 0,15 m³ de Resíduos da Construção Civil — RCC /m² de área construída. Estima-se que metade desse volume se refere à alvenaria, concreto, argamassas e cerâmicos. A situação se torna ainda mais prejudicial quando os resíduos são depositados em locais inadequados.

Como profissionais responsáveis pelo setor da construção, os engenheiros civis têm a obrigação de buscar soluções que resolvam os problemas relacionados à moradia, diminuindo o impacto ambiental causado, dado que, segundo o Código de ética do CREA (2002, p. 12), “a preservação e o desenvolvimento harmônico do ser humano, de seu ambiente e de seus valores” são responsabilidades atribuídas a esse profissional. Portanto, faz-se necessária a utilização de sistemas construtivos mais eficazes, que diminuam os impactos sobre o meio ambiente, mantendo o conforto e a qualidade que as habitações demandam.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Para aprofundar um pouco mais nos métodos construtivos, este capítulo apresentará um panorama sobre a história da construção civil e uma visão geral sobre o modelo mais utilizado nos EUA (*Wood Frame*) e o método mais utilizado no Brasil (alvenaria de vedação). Além disso, o capítulo ainda trará uma visão geral sobre a norma NBR 15.575, que será utilizada para medir os parâmetros comparativos dos métodos abordados.

4.1 Construção Civil nos Estados Unidos da América

A origem da construção “leve” (*light wood frame*), nos Estados Unidos, remete ao início do século XIX. Com o grande crescimento da população, foi necessária a busca por métodos construtivos mais ágeis e produtivos e, a partir de então, as construções em *wood frame* passaram a ser o sistema residencial mais comum nos EUA (CASTRO; FREITAS, 2006).

No início do século XX, o desenvolvimento industrial possibilitou a utilização de estruturas de aço na construção civil e, no período pós-Segunda Guerra Mundial, houve um farto crescimento da produção de aço, possibilitando a substituição da madeira pelo aço nas construções (ECKER; MARTINS, 2014). Apesar disso, segundo Howard (2017) — CEO da Associação Nacional de Construtores dos EUA —, a madeira ainda é o material mais importante para a construção de casas nos EUA.

4.1.1 *Wood Frame*

De acordo com Calil Junior e Molina (2010, p.144):

O *wood frame* para casas consiste num sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o fogo.

Segundo Balen, Pansera e Zanardo (2016), a industrialização no processo de produção das casas não significa que elas serão todas padronizadas. Afirma-se,

também, que qualquer tipo de projeto pode ser executado com esse sistema, tendo a limitação apenas em sua altura.

4.1.1.1 Histórico

De acordo com Morikawa (2006, apud ECKER; MARTINS, 2014), a madeira vem sendo utilizada na construção civil desde a pré-história, tendo sua técnica evoluída durante a Antiguidade, passando pela Idade Média e chegando até a realidade atual, que incorpora diversas inovações proporcionadas pelo nascimento e avanço da indústria. No entanto, foi durante a Idade Média que a madeira passou a ser utilizada de forma mais organizada e se transformou no material de construção mais utilizado na Europa, dando origem a diversas formas de construção.

Allen e Thallon (2011) afirmam que a execução de edificações pelo método do *Wood Frame* (também conhecido como *Light Wood Frame* ou LWF) iniciou-se nos Estados Unidos há cerca de 150 anos, tendo uma rápida evolução em seu modelo de execução para casas e edifícios de pequeno porte. Os autores também afirmam que cerca de 90% das edificações de pequeno porte nos Estados Unidos são realizadas com técnicas derivadas do método tradicional de LWF.

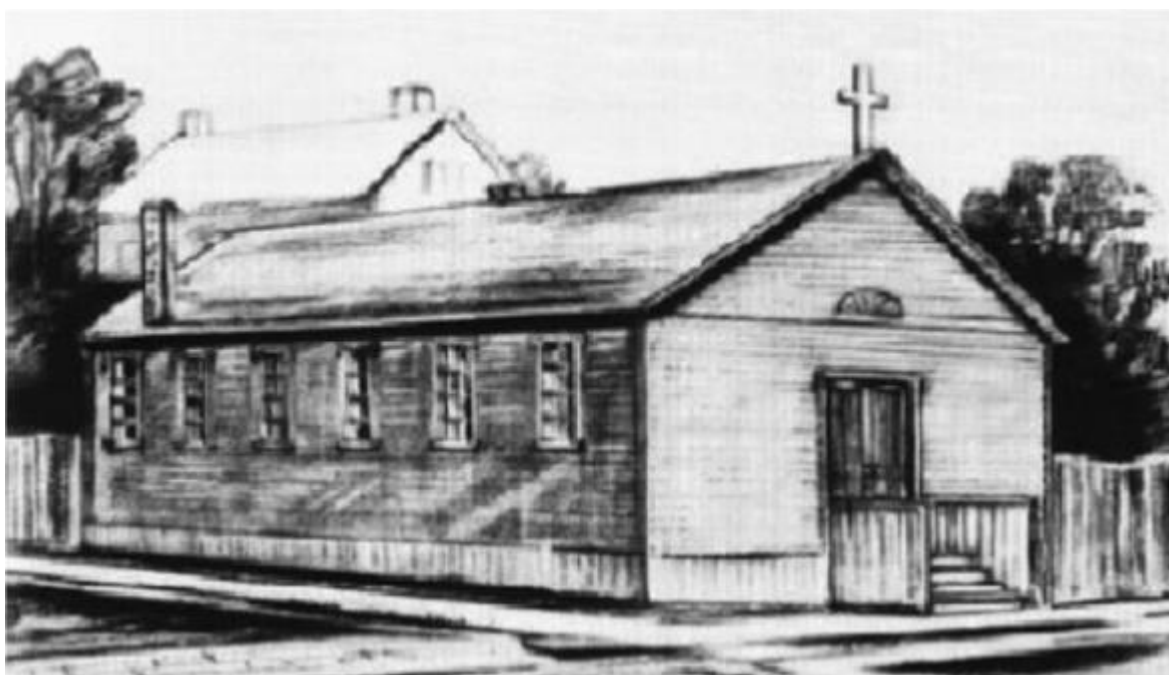
Espíndola (2017) alega que, na Europa, a construção em madeira teve importante participação no *light wood frame* e que teve início entre os séculos XVIII e XIX nos Estados Unidos, sob influência de colonos ingleses e franceses. Nesse período, destacaram-se os sistemas denominados: *braced frame*, *balloon frame* e *platform frame*, sendo os dois últimos os mais significativos.

No sistema de balão (*balloon frame*), segundo Velloso (2010), houve uma redução da seção transversal das peças de madeira, e tábuas passaram a ser utilizadas no fechamento das paredes, contribuindo de forma considerável para a rigidez do conjunto estrutural e também para a diminuição do peso das construções.

De acordo com Espíndola (2017), o *balloon frame* teve seu desenvolvimento atrelado às práticas de construção nas fazendas de New England. Rapidamente, portanto, o sistema se tornava a principal forma de construção em Chicago e em áreas vizinhas, sendo utilizado pela primeira vez em uma obra em 1883 (Figura 1).

Ainda segundo Espíndola (2017) o crescimento acelerado se deu por alguns fatores sociais, entre eles, a agroindustrialização e a mecanização da produção, em que pregos começaram a ser fabricados em série e a madeira serrada passou a ser utilizada; a grande disponibilidade de materiais e a expansão territorial norte-americana, que teve um crescimento populacional acelerado e a necessidade de construir reduzindo os custos.

Figura 1 — Primeira obra em *Wood Frame*, Igreja Saint Mary, Chicago (1883)



Fonte: Leal *et al.*, 2011.

Em meados do século XX, o sistema de balão foi quase que totalmente substituído pelo sistema de plataforma (*platform frame*), que é um sistema nervurado, composto por planos horizontais de cada pavimento, que formam pisos sobrepostos por planos verticais de cada pavimento, que formam as paredes, e assim sucessivamente (VELLOSO, 2010). Após a Segunda Guerra Mundial, no mercado, surgem os conectores metálicos estampados e, com eles, as treliças pré-fabricadas para telhados. Em 1960, os painéis de parede passaram a ser produzidos em fábricas. Após isso, a industrialização evoluiu em casas modulares e, posteriormente, casas totalmente industrializadas (SÜCZ *et al.*, 2007, apud VELLOSO 2010). Segundo a Tecverde, a aplicação de LWF “Representa a solução para mais de 90% das casas Canadenses e Suecas, mais de 75% das Americanas e mais de 30% das Alemãs”.

4.1.1.2 Características

Calil Junior e Molina (2010) afirmam que o processo de construção de uma residência em *wood frame* pode ser dividido nas seguintes etapas: fundação, pisos, paredes, sistema elétrico e hidráulico, revestimentos, contraventamento e telhado.

O sistema de LWF pode ser executado com qualquer tipo de fundação, de acordo com a LP *Building Products* (2011) e Espíndola (2017), e é muito comum a utilização de fundações superficiais, como radier e sapata corrida, visto que, assim, o peso da estrutura é aliviado e melhor distribuído.

De acordo com Espíndola (2017), algumas medidas devem ser tomadas para que a umidade do solo não chegue à estrutura de madeira, como a adição de um solo menos permeável no superior da fundação. Com a fundação finalizada, é necessária a realização da impermeabilização da superfície, com material betuminoso, antes da ancoragem da soleira ou guia de madeira.

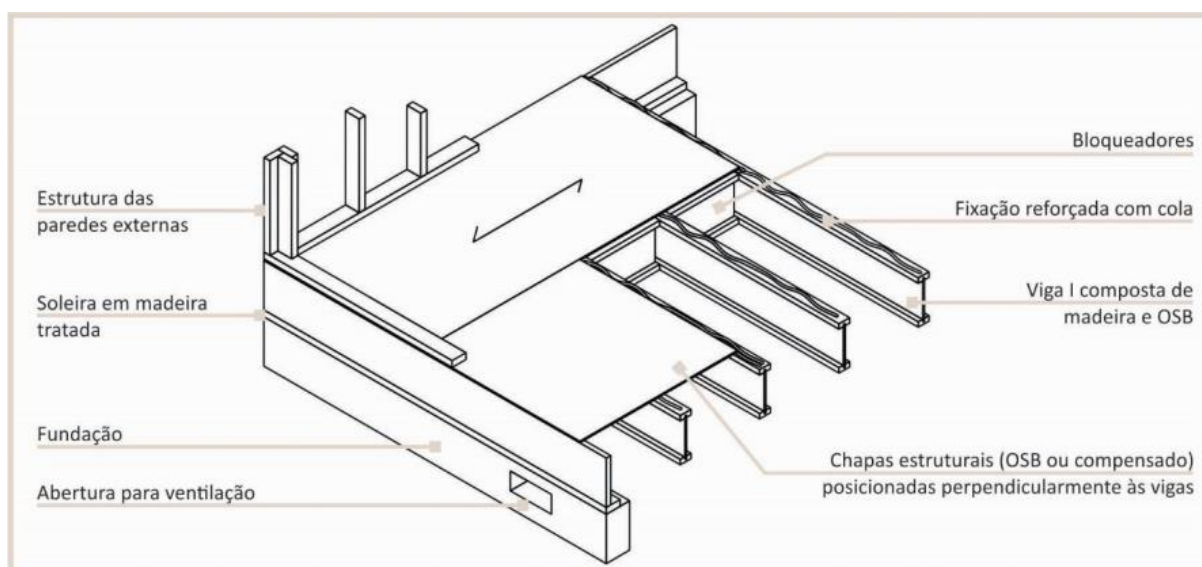
Segundo Calil Junior e Molina (2010), o piso do primeiro pavimento das casas de *wood frame* é executado com a utilização das técnicas tradicionais de alvenaria e os pisos superiores seriam executados com a utilização do sistema de plataformas (Figura 2). Já Espíndola (2017) afirma que uma plataforma de piso pode substituir o concreto em fundações constituídas por viga-baldrame ou sapata corrida (Figura 3). As plataformas seriam compostas por placas de OSB (*Oriented Strand Board*) colocadas sobre vigas de madeira retangulares ou em seção I. Essas chapas são fixadas com a utilização de pregos e o acréscimo de cola pode reforçar a rigidez da estrutura. De acordo com Calil Junior e Molina (2010), em áreas úmidas são coladas chapas cimentícias sobre o contrapiso OSB e, sobre as chapas, aplica-se impermeabilização por pintura.

Figura 2 — Piso Pav. Superior (vista inferior)



Fonte: Calil Junior e Molina (2010)

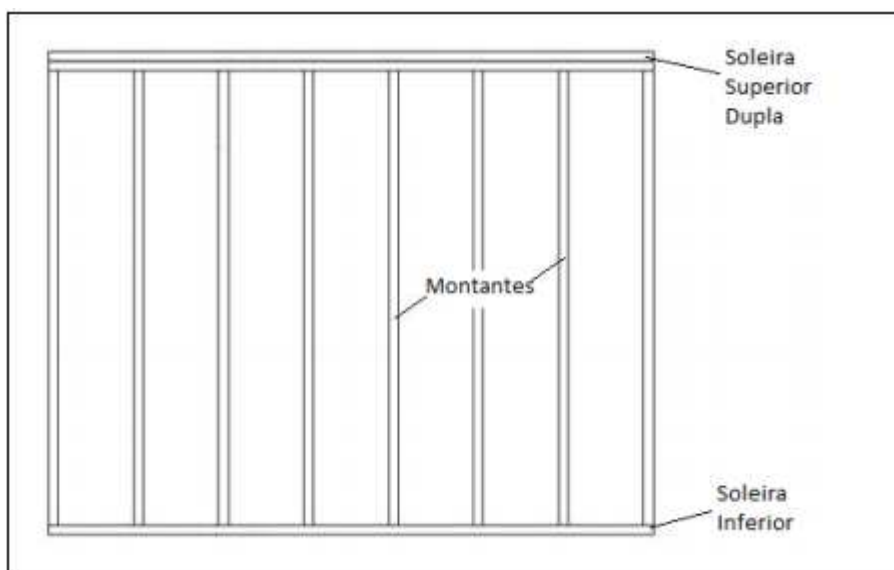
Figura 3 — Piso tipo plataforma (térreo)



Fonte: Espíndola (2017)

Espíndola (2017) mostra que as paredes devem ser instaladas sobre a fundação do radier ou sobre a plataforma de piso em madeira. As paredes (Figura 4) são compostas de montante verticais, barra inferior e barra superior, podendo conter travamentos na horizontal entre os montantes ou na diagonal da estrutura geral. Chapas estruturais como o OSB ou o compensado darão a rigidez e o contraventamento necessários para a estrutura.

Figura 4 — Estrutura do painel parede

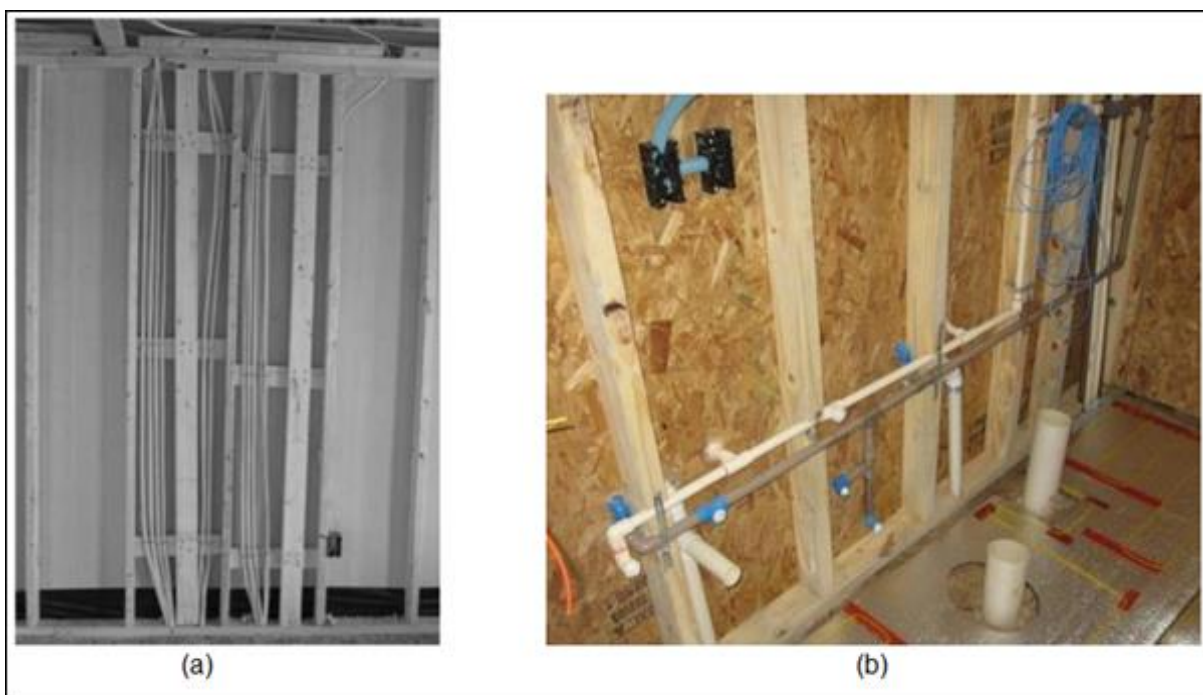


Fonte: Cardoso (2015)

Segundo Calil Junior e Molina (2010), para abertura de portas e janelas, os montantes podem sofrer deslocamento vertical, mas nunca devem ser eliminados. Também afirmam que, nos EUA, esses painéis em *wood frame* são, normalmente, produzidos em fábricas e, depois, transportados para o local da obra.

As instalações elétricas (Figura 5-a) e hidráulicas (Figura 5-b) no sistema de *wood frame* são muito semelhantes às instalações no sistema de alvenaria convencional, mas com as vantagens da praticidade e agilidade para a construção em LWF, e em eventuais reparos, já que essas instalações são embutidas nos vãos dos montantes, não sendo necessária a quebra da parede para embutir e/ou reparar (CALIL JUNIOR; MOLINA, 2010).

Figura 5 — Instalações elétricas (a) e Instalações hidráulicas (b)



Fonte: Calil Junior e Molina (2010).

Segundo Calil Junior e Molina (2010), podem ser utilizados revestimentos tanto na parte externa da casa quanto na parte interna. As paredes externas podem ser revestidas com diversos tipos de materiais que, de maneira geral, visam atender aos requisitos de arquitetura, proteger o sistema de intempéries e prover isolamento térmico.

Espindola (2017) afirma que, na parte interna, na estrutura da parede, entre os montantes e as barras, devem ser aplicados materiais que cumpram a função de obter isolamento térmico e acústico. Os materiais mais comuns a serem utilizados são fibra de vidro (Figura 6) e lã mineral, mas alguns outros podem ser aplicados também, como a fibra plástica, derivada do reaproveitamento de garrafas PET, e a fibra de celulose, produzida com papéis reciclados.

Segundo Espíndola (2017), na superfície da parede interna (Figura 7), são aplicadas chapas de gesso acartonado (sendo mais comum que essas placas sejam fixadas sobre a chapa estrutural, ainda que possam ser fixadas diretamente no entramado de madeira). Os mecanismos utilizados nas paredes devem também garantir a estanqueidade do sistema.

Figura 6 — Revestimento interno com lã de vidro



Fonte: ConstruindoDecor (2020)

Figura 7 — Parede revestida

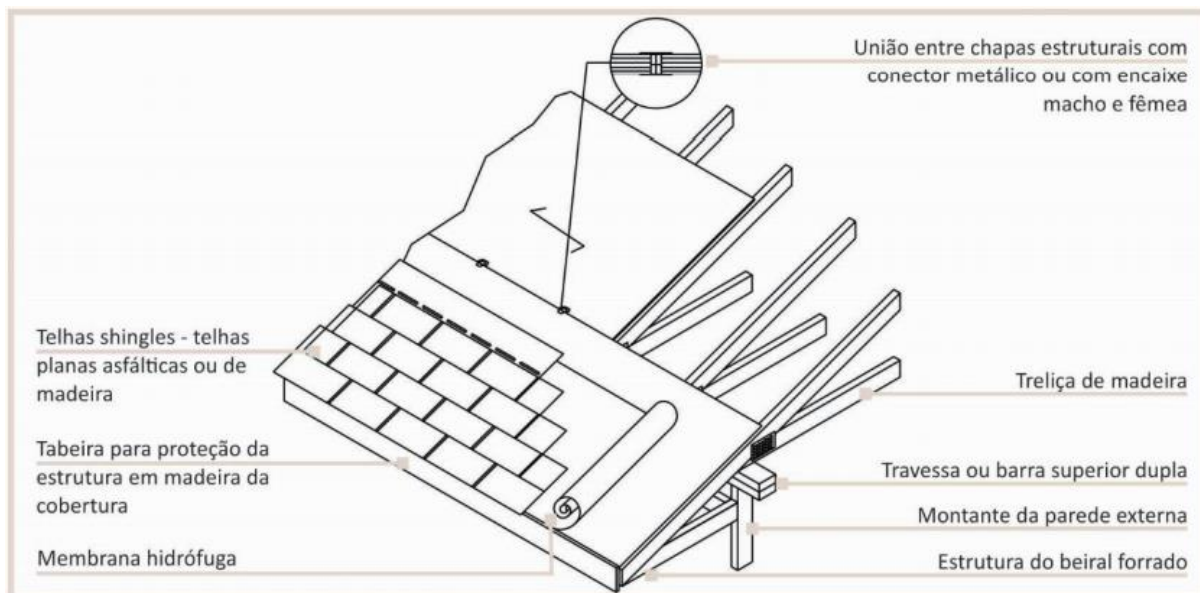


Fonte: Immergrum (2020)

De acordo com Calil Junior e Molina (2010), sobre as paredes do último piso da casa, geralmente, são colocadas treliças industrializadas de madeira, o que ajuda a diminuir em até 40% o peso da cobertura, já que as seções dos elementos que compõem as treliças são pequenas. Espíndola (2017) mostra que, sobre a treliça, são fixadas chapas de OSB ou de compensado e, sobre essas chapas, são aplicadas as membranas hidrófugas e a telha escolhida (sendo as *shingles* — telhas planas asfálticas ou de madeira — as mais comuns nos EUA). É possível, ainda, aplicar

isolantes térmicos e acústicos e, no beiral, utilizar pequenas aberturas para a circulação de ar e vento. Na Figura 8, vem vê-se a estrutura de um telhado em *Wood Frame*.

Figura 8 — Telhado de um sistema em *Wood Frame*



Fonte: Espíndola (2017)

4.2 Construção Civil no Brasil

De acordo com Telles (1984), ao chegarem ao Brasil, as primeiras construções realizadas pelos colonizadores eram abrigos rudimentares cobertos de palha e serviam como moradia, capelas e armazéns. Mesmo as obras de defesa, muros e fortins eram muito primitivas, sendo apenas tapumes de troncos justapostos.

Ainda de acordo com Telles (1984), a história da engenharia e arquitetura no Brasil começa em 1549, na cidade de Salvador, quando o Governador Geral trouxe ao Brasil um grupo de profissionais construtores para construir uma grande e forte cidade em uma fortaleza de pedra e cal.

Santos (2006) cita que atualmente, o sistema construtivo mais utilizado no Brasil é o concreto armado em conjunto com a alvenaria de vedação. O concreto

armado é um processo construtivo criado na Europa em meados do século XIX e que em nenhum outro país foi tão predominante quanto no Brasil.

Segundo Silveira (2014), o concreto armado tem a função estrutural nas edificações, enquanto a função de vedação é exercida pela alvenaria, material considerado de grande durabilidade, por ser utilizado há mais de 2000 anos e por possuir edificações que permanecem em pé até hoje.

4.2.1 Histórico

Com base em diversos autores (BUNDER, 2016; KAEFER, 1998; MOTA, 2001; SOUZA, 2002), pode-se perceber que as histórias da alvenaria e do concreto têm como ponto de partida o início da civilização. Apesar de, em algum ponto, as tecnologias tenham se desenvolvido de formas separadas, tem-se, hoje, a junção dessas tecnologias como principal forma de construção no Brasil. Eckert (2017) mostra que o sistema construtivo mais tradicional no Brasil é o de concreto armado aliado à alvenaria de vedação.

A história do concreto utilizado atualmente (ou concreto moderno) não começa no século XIX na Europa e sim no início da civilização humana, que sempre teve como necessidade a moradia e “morar melhor a cada dia, desenvolvendo novas tecnologias para isto”, como apontado por Kaefer (1998).

Bunder (2016) afirma que estudos arqueológicos apontam as primeiras construções em pedra datadas do final do período Neolítico e início da idade do bronze (8.000 a 4.000 a.C.). Já durante o Império Egípcio (3.000 a 1.000 a.C.), a pirâmide escalonada, primeira grande obra de concreto natural (rochas calcárias), foi projetada pelo primeiro arquiteto da humanidade, Imhopet, encomendada pelo faraó Dsjoer. Na Grécia antiga (800 a.C.), as grandes obras eram compostas pelo sistema estrutural trilítico, composto de colunas, arquivadas e cobertura, muito semelhantes ao sistema atual, que é composto por pilares, vigas e lajes.

Segundo Kaefer (1998), no Império Romano (300 a.C. a 476 d.C.), primeiro, o concreto foi utilizado na construção dos muros de uma cidade (século IV a.C.) e, depois, em edificações em Roma (II a.C.). Esse concreto era composto por cal, areia

e pozolana e, para incorporar ar à mistura, gordura animal, leite e sangue foram utilizados como aditivos.

De acordo com Bunder (2016), durante a Idade Média, pouca evolução ocorreu com o concreto e suas tecnologias construtivas. No século XVIII, a reconstrução do Farol de Eddystone, na Inglaterra, foi um marco na evolução do concreto. Após a queimada do farol, em 1755, John Smeaton foi o escolhido como responsável pela sua reconstrução. Ciente do ambiente agressivo ao qual o farol estava submetido, Smeaton realizou diversas experiências e testes, para determinar a melhor argamassa a ser utilizada. Sua versão do farol durou mais de um século. O autor também afirma que, no ano de 1770, houve a primeira associação de pedra com ferro, na construção da Igreja de Santa Genoveva (Paris/França).

Kaefer (1998) afirma que, em 1824, na Inglaterra, Joseph Aspdin inventou o cimento Portland, realizando a queima de calcário e argila. Porém, a definição de cimento Portland moderno não se aplica ao criado por Aspdin. Acredita-se que, na década de 1840, as companhias de cimento inglesas produziam o cimento Portland com a concepção moderna. Na década de 1850, Joseph Louis Lambot, considerado por muitos o pai do concreto armado, expôs um barco de cimento e ferro em Paris. Em 1875, na França, Joseph Monier executou a primeira ponte de concreto armado do mundo, com 16,50 metros de comprimento e 4,0 metros de altura.

Segundo Marcolin (2006), no Brasil, o concreto armado tem como primeira referência o trabalho de 1904 do professor Antônio de Paula Freitas, que menciona a execução de seis prédios do engenheiro Carlos Poma no Rio de Janeiro.

De acordo com Santos (2008), por volta de 1940, o concreto já estava estabilizado no país, com uso normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e regulado pelas atribuições profissionais do sistema CONFEA-CREAs, mas, sobretudo, estava extremamente popularizado nas ruas, tanto em obras de arquitetura quanto em edificações de caráter comum.

Assim como a história do concreto, a história da alvenaria tem como origem os primórdios da civilização. Segundo Souza (2002), a utilização da alvenaria pela humanidade tem como início a cidade de Jericó (Cisjordânia): o estabelecimento urbano mais antigo da humanidade, que já existia no ano 7000 a.C., tratando-se de uma cidade com edifícios constituídos de paredes de adobe e tijolo cozido ao sol.

Mota (2001) diz que, por volta de 3000 a.C., foram feitos os primeiros tijolos de barro queimado em forno, conseguindo-se um material mais resistente. Com o passar dos séculos, grandes obras foram construídas e marcaram a História, por sua beleza e grandiosidade. Pode-se citar entre elas as pirâmides do Egito (4000 a.C.) e o Coliseu de Roma (86 d.C.) (que pode ser observado na Figura 9).

Figura 9 — Coliseu de Roma



Fonte: Pixabay

Souza (2002) afirma que, entre os séculos IV e X na Europa, houve um grande desenvolvimento da alvenaria, graças ao desenvolvimento do catolicismo. Os tetos de madeira foram substituídos por abóbodas de pedra nas catedrais românicas. Posteriormente, as catedrais góticas exigiram estruturas mais esbeltas e mais luminosidade, demandando novas tecnologias e evolução de técnicas. Embora o legado do nível das catedrais góticas seja excepcional, estas ainda tiveram estruturas mais fracas que as românicas, e foram marcadas por inúmeros colapsos.

Souza (2002) mostra que, com o progresso da revolução industrial, a alvenaria perdeu competitividade como elemento estrutural, voltando a despertar interesse novamente apenas no século XX. Nessa época, as empresas já produziam tijolos e cimentos de grande resistência, disseminando, assim, o uso da alvenaria.

Moreira e Silva (2017) afirmam que, no Brasil, a alvenaria vem sendo utilizada principalmente como vedação para estruturas de concreto armado, executada de forma tradicional, mais especificamente estruturada de maneira empírica. Segundo

Santos (2008), o sistema de construção convencional é hegemônico no Brasil e possui grande naturalização, de modo que “construir de maneira normal”, ou mais informalmente “construção de material”, são sinônimos de construção de alvenaria de tijolos estruturada em concreto armado.

4.2.2 Características

A exemplo do realizado ao abordar o sistema construtivo estadunidense (LWF), separam-se as etapas do sistema construtivo brasileiro para aborda-las. Assim, para manter uma similaridade com o que já foi trabalhado, divide-se o sistema construtivo brasileiro nas seguintes etapas: estrutura, vedação, sistemas elétrico e hidráulico e cobertura.

Segundo Barbosa (2014), são denominadas edificações tradicionais (ou convencionais), aquelas produzidas em concreto armado com estrutura de pilares, vigas e lajes moldadas no local. De acordo com Pinheiro (2004, p. 8), os elementos estruturais têm as seguintes definições:

Lajes: são placas que, além das cargas permanentes, recebem as ações de uso e as transmitem para os apoios; travam os pilares e distribuem as ações horizontais entre os elementos de contraventamento;

Vigas: são barras horizontais que delimitam as lajes, suportam paredes e recebem ações das lajes ou de outras vigas e as transmitem para os apoios;

Pilares: são barras verticais que recebem as ações das vigas ou das lajes e dos andares superiores e as transmitem para os elementos inferiores ou para a fundação.

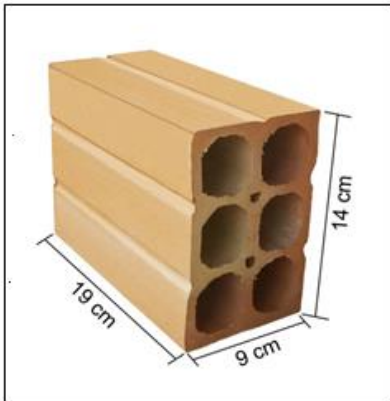
Por terem sua produção *in loco*, essas estruturas precisam de formas e escoramento em sua construção. A NBR 15696 (2009, p. 9), *Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos*, define formas e escoramentos da seguinte maneira:

Fôrmas: estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento do concreto fresco, até que o concreto se torne autoportante.

Escoramentos: estruturas provisórias com capacidade de resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura do escoramento todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as fôrmas horizontais e verticais, até que o concreto se torne autoportante.

Segundo Silveira (2014), os materiais utilizados para alvenaria de vedação com preenchimento de argamassa de conexão nas juntas horizontais e verticais são os blocos cerâmicos, que podem apresentar diversas dimensões, mas que, em sua maioria, compõem paredes de 15 cm, sendo a argamassa de assentamento composta por cimento Portland, areia, cal e água. Na Figura 10, pode-se observar um bloco cerâmico de dimensões 9,0 x 14,0 x 19,0 cm.

Figura 10 — Bloco cerâmico



Fonte: Cerâmica Atlanta

Thomaz (2001) afirma que as paredes de vedação com bloco cerâmico ficam apoiadas sobre vigas, lajes ou outros elementos estruturais e são interligadas com pilares ou paredes estruturais. As alvenarias de vedação não têm como função suportar carregamentos, apesar de ser comum a transmissão de tensões por deformações impostas, como flechas e movimentações térmicas. Na Figura 11, observa-se uma construção de concreto armado com alvenaria de vedação.

Figura 11 — Alvenaria de vedação ligada a estrutura de concreto armado



Fonte: Escola Engenharia

A ABNT NBR 15270-1 (2005) afirma que os blocos cerâmicos de vedação devem ser fabricados a partir de matéria prima argilosa, podendo conter aditivos. Esses blocos são fabricados por prensagem e, após algum tempo de secagem natural, são queimados a elevadas temperaturas. A norma também especifica que esses blocos possuem furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm. Esses furos podem ser tanto na vertical quanto na horizontal dos blocos fabricados.

De acordo com Forner (2015), alguns requisitos de identificação devem ser seguidos, podendo o lote inteiro ser suspenso caso não sigam a norma. Esses blocos não devem apresentar defeitos, deformações, irregularidades, queimadura (indicando tempo excessivo de forno) ou estarem quebrados. Além disso, os blocos devem passar por ensaios de absorção de água e resistência à compressão, para garantir que estejam dentro dos limites estabelecidos pela NBR 15270-1.

Junto à construção da alvenaria de vedação, tem-se a execução das instalações elétricas e hidráulicas. Moreira e Silva (2017) dizem que pela facilidade de alterações e cortes nas estruturas de alvenaria, utiliza-se em larga escala técnicas não racionalizadas para a construção dessas estruturas. Posteriormente ao assentamento dos blocos cerâmicos, são realizados cortes nas paredes para a passagem de instalações. Depois disso, são realizados remendos com argamassa para fechamento dos cortes. É muito comum a adoção de soluções construtivas durante a obra, devido a incompatibilizações percebidas durante o processo, como o cruzamento de instalações e, geralmente, essas soluções são tomadas pelo próprio

pedreiro ou mestre de obras. Na Figura 12, observa-se o corte para a passagem de dutos realizado na alvenaria.

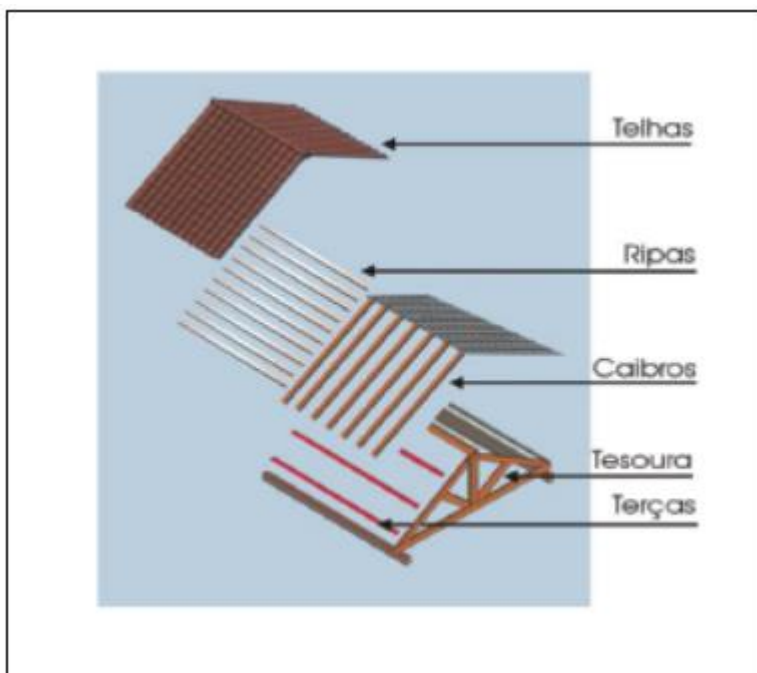
Figura 12 — Alvenaria cortada para passagem de dutos



Fonte: Moreira e Silva (2017)

Por fim, tem-se a cobertura da edificação. Weirich (2012) explica que a cobertura convencional tem como estrutura a construção em madeira. Ele destaca a importância de cada componente presente nas estruturas e também que, a depender do tipo de telhas a serem utilizadas, essa estrutura pode sofrer alguma alteração. Na Figura 13, tem-se um exemplo de como se estrutura uma cobertura convencional. Nela, observa-se a tesoura, as terças, caibros, ripas e telhas.

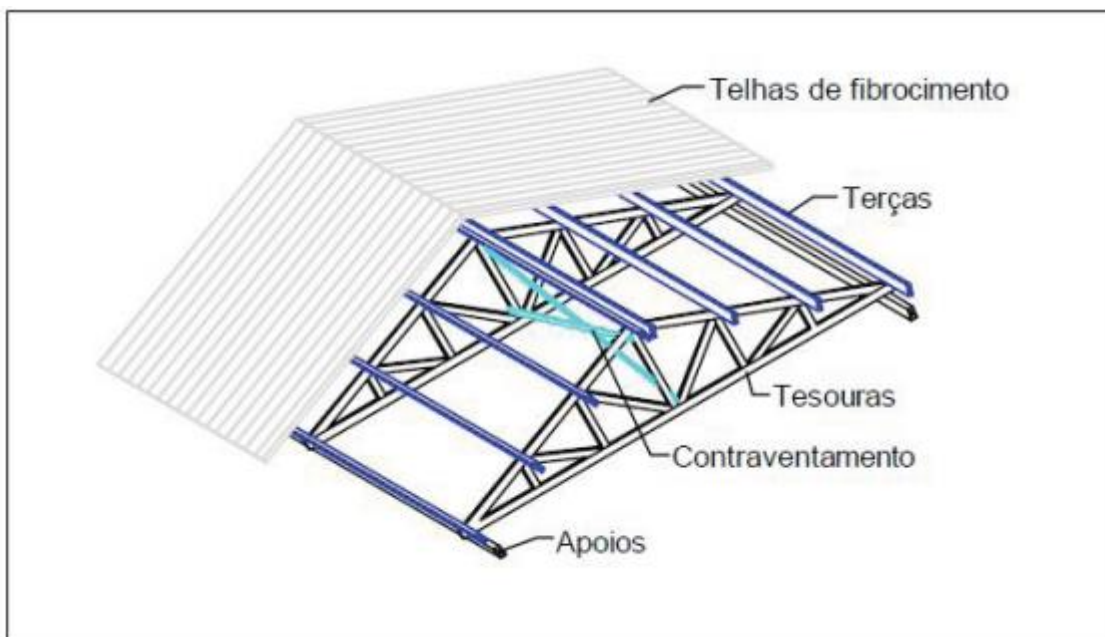
Figura 13 — Estrutura de telhado convencional



Fonte: Pedrero (2008)

De acordo com Logsdon (2002), as tesouras são estruturas que recebem as cargas que atuam paralelas a seu plano e as transmitem para os apoios; as terças são vigas que transmitem para as tesouras o carregamento que recebem dos caibros; os caibros servem de apoio para as ripas e as ripas são as peças que recebem as telhas. Como dito anteriormente, a depender do tipo de telhas, essa estrutura pode sofrer alguma alteração, como pode ser observado na Figura 14, em que as telhas utilizadas são as de fibrocimento, sem a presença de ripas e caibros.

Figura 14 — Estrutura de telhado com telha de fibrocimento



Fonte: Weirich (2012)

4.3 ABNT NBR 15.575:2013

Em vigor desde 2013, a NBR 15575 tem como objetivo atender aos interesses dos usuários de edifícios habitacionais, independentemente dos materiais e dos sistemas construtivos utilizados, estabelecendo desempenhos mínimos a serem alcançados. O estabelecimento desses desempenhos se dá pela definição de requisitos, critérios e métodos de avaliação, que permitem uma clareza e mensuração de seus resultados. A norma é dividida em 6 partes e o desempenho dividido, de forma geral, em três categorias: Mínimo (M), Intermediário (I), Superior (S).

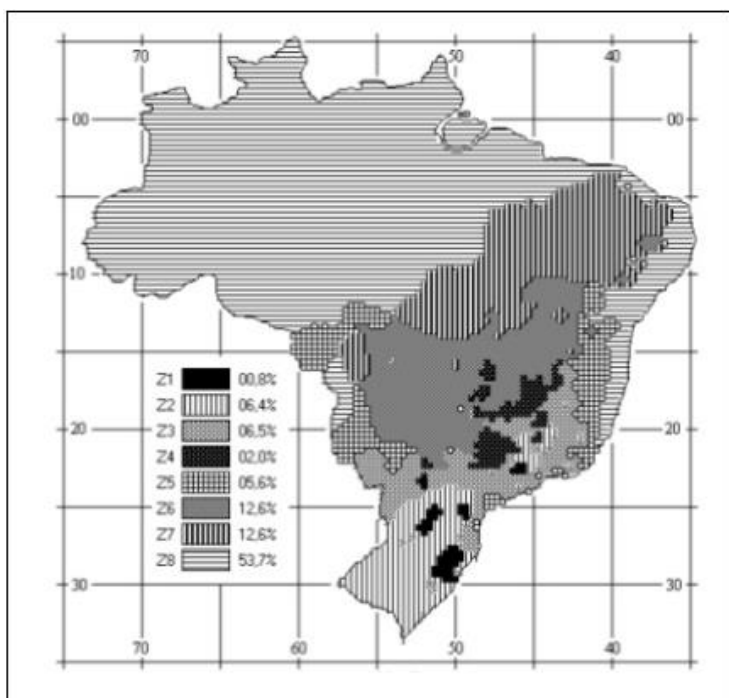
4.3.1 Desempenho Térmico

A NBR 15575, em suas partes 1, 4 e 5, apresenta os requisitos e critérios mínimos para o desempenho térmico, conforme definições, símbolos e unidades da ABNT NBR 15220 — Desempenho Térmico de Edificações.

A avaliação desses critérios pode ser feita através de simulação de desempenho térmico ou da realização de medições em campo. No processo de simulação, podem ser consideradas condições de sombreamento e de ventilação. No caso da ventilação, pode ser considerada uma ventilação “padrão”, em que há uma taxa de renovação de ar do ambiente por hora e uma condição “ventilada”, em que a taxa de renovação é de 5 ren/h. O sombreamento das aberturas pode ser considerado “padrão”, em que não há sombreamento e uma condição “sombreada”, mas uma proteção sobre as aberturas que impeçam ao menos 50% da radiação solar incidente no ambiente.

Para avaliação do desempenho térmico, as paredes externas devem cumprir os requisitos estabelecidos para transmitância térmica e capacidade térmica, de acordo com suas zonas bioclimáticas, definidas na NBR 15220 e apresentadas na Figura 15.

Figura 15 — Mapa bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT NBR 15220 (2005)

De acordo com a NBR 15.575-4 a transmitância térmica (U) é a quantidade de calor que atravessa um material ou superfície em determinado período de tempo. Seus valores dependem da absorção de radiação solar do material (α), ou seja, se um

material possui uma maior taxa de absorção, sua transmitância térmica deve ser menor, para garantir o desempenho térmico do sistema. Os valores máximos para a transmitância térmica em paredes externas podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1 — Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α ^a ≤ 0,6	α ^a > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
^a α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ABNT NBR 15575:2013

Já a capacidade térmica, pela NBR 15.575-4, é a quantidade de calor que o material tem que receber para variar sua temperatura. Os valores mínimos para a capacidade térmica (CT) das paredes externas podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2 — Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) kJ / m ² .K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013)

Além da transmitância e da capacidade térmica das paredes externas, as edificações devem ainda cumprir mais duas exigências da NBR 15575 para oferecer um desempenho térmico mínimo, o desempenho no verão e no inverno.

A NBR 15.575-1 especifica que durante um dia típico de verão, a temperatura máxima no interior dos ambientes de permanência prolongada, como quartos e salas, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, equipamentos eletrônicos, lâmpadas, entre outros) não deve ser superior ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. O Quadro 3 mostra as condições necessárias para se atingir os índices mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) de desempenho.

Quadro 3 — Critério de avaliação de desempenho térmico para verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1\text{o C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{o C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1\text{o C})$

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013)

Os requisitos para avaliação no inverno deverão ser atingidos nas zonas bioclimáticas de 1 a 5. Nas zonas 6 a 8, não é necessária a verificação dos requisitos. A NBR 15.575-1 diz que para um dia típico de inverno, a temperatura do ar mínima interna de ambientes de permanência prolongada deve ser sempre superior a temperatura do ar mínima externa acrescida de 3 °C. No Quadro 4, podemos observar os critérios para se atingir os desempenhos M, I e S.

Quadro 4 — Critério de avaliação de desempenho térmico para inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5)	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^\circ \text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^\circ \text{C})$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^\circ \text{C})$	

$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013)

4.3.2 Desempenho acústico

A NBR 15575-4 dispõe de três métodos diferentes para medição do desempenho acústico das edificações, o método de precisão, o método de engenharia e o simplificado de campo, sendo o primeiro realizado em laboratório e os dois últimos realizados em campo.

O método de precisão determina a isolamento sonora de cada um dos componentes e elementos construtivos, ensaiando cada um dos componentes de forma individual fornecendo os dados para o cálculo do isolamento global do conjunto. Não Quadro 5, são observados os critérios de desempenho desse método.

Quadro 5 — Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas

Classe de ruído	Localização da habitação	R_w [dB]	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013)

Há ainda uma outra tabela na norma, que indica a redução sonora entre ambientes. Esses dados podem ser vistos no Quadro 6.

Quadro 6 — Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes

Elemento	R_w [dB]	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013)

De acordo com a NBR 15.575-4, o método de engenharia, realizado em campo, é dividido em duas etapas. A primeira delas é para fachadas, determina de forma rigorosa o isolamento sonoro global da vedação externa da habitação, caracterizando o comportamento acústico do sistema. A segunda etapa é a verificação das paredes internas, determinando de forma rigorosa unidades autônomas e entre unidades e áreas comuns. O método de engenharia é o mais preciso dos métodos de campo.

Já o método simplificado de campo, segundo a NBR 15.575-4, permite obter uma estimativa do isolamento sonoro global da vedação externa e entre recintos, em casos onde não se dispõem dos instrumentos necessários para medir o tempo de reverberação ou quando os ruídos não permitem a mediação desse parâmetro. Nos Quadros 7 e 8 poderemos ver os critérios de avaliação e desempenho acústico dos métodos de campo para paredes externas (Quadro 7) e internas (Quadro 8).

Quadro 7 — Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$, para ensaio de campo

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013)

Quadro 8 — Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$, para ensaio de campo

Elemento	$D_{nT,w}$ [dB]	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que pelo menos um dos ambientes é dormitório	45 a 49	M
	50 a 55	I
	≥ 55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades).	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013)

4.3.3 Sustentabilidade

A NBR 15575-1 divide sustentabilidade em três fatores – Durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental. Neste trabalho trataremos especificamente sobre o impacto ambiental das edificações.

A durabilidade de uma edificação está ligada diretamente ao custo global do imóvel. A durabilidade de um produto se expira quando ele deixa de cumprir as funções atribuídas, seja pela deterioração que o deixa em um estado de uso insatisfatório ou por sua obsolescência funcional. O tempo de durabilidade de uma edificação, que compreende o início de seu uso até o momento que deixa de atender as necessidades do usuário, é denominado vida útil.

Os projetistas, construtores e incorporadores são responsáveis pelos valores teóricos de Vida Útil de Projeto (VUP), apesar de não poderem prever ao certo o tempo de Vida Útil (VU), já que depende de inúmeros fatores fora de seu controle. O valor final atingido da Vida Útil será uma composição do valor teórico influenciado positivamente ou negativamente pela manutenção, intemperes e outros fatores internos e externos (fora do controle do usuário).

O projeto deve especificar o valor teórico (VUP) para os sistemas que o compõem. Os valores devem ser elaborados para que os sistemas tenham potencial durabilidade compatível com a vida útil de projeto e seus valores são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 — Vida Útil de Projeto (VUP)

Sistema	VUP anos	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013)

Vale ressaltar que os valores consideram os corretos uso e manutenção dos sistemas, que devem ser especificados no “Manual de Uso, Operação e Manutenção” entregue aos usuários e elaborado de acordo com a NBR 5674.

Já a manutenibilidade, de acordo com a NBR 15575-1, é o grau de facilidade de um sistema, elemento ou componente ser conservado ou recolocado no estado no qual possa exercer sua função, quando a manutenção é executada conforme condições e procedimentos determinados. Os riscos que falhas no desempenho podem acarretar, a possibilidade de substituição, manutenção ou não, de elementos e componente e o custo ao realizar essas manutenções vai impactar diretamente a Vida Útil de Projeto da edificação, em uma variação recomendada entre 5% a 100% da VUP da estrutura. No Quadro 10 vemos a vida útil de projeto para algumas partes da edificação.

Quadro 10 — Vida Útil de Projeto para partes do edifício

Categoria	Descrição	Vida útil	Exemplos típicos
1	Substituível	Vida útil mais curta que o edifício, sendo sua substituição fácil e prevista na etapa de projeto	Muitos revestimentos de pisos, louças e metais sanitários
2	Manutenível	São duráveis, mas necessitam de manutenção periódica, e são passíveis de substituição ao longo da vida útil do edifício	Revestimentos de fachadas e janelas
3	Não-manutenível	Devem ter a mesma vida útil do edifício por não possibilitarem manutenção	Fundações e muitos elementos estruturais

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013)

Temos como último fator o impacto ambiental gerado pela edificação. A norma diz que a avaliação dos impactos ambientais decorrentes da cadeia produtiva da construção ainda está em processo de estudos e, portanto, não é possível estabelecer critérios de avaliação relacionados a esses impactos. A NBR 15575-1 destaca também que, apesar de não ser possível estabelecerem os critérios e métodos de avaliação, os empreendimentos devem ser projetados para diminuir os impactos ambientais que possam causar e minimizar as alterações no ambiente.

Silveira (2014) avalia os impactos ambientais das construções analisando os insumos principais e seus respectivos danos ao meio ambiente. Para isso, são considerados os valores de CO_2 equivalente emitidos ($kgCO_2eq$) pelos materiais e sua energia embutida. Para alvenaria são verificados quatro insumos: Bloco cerâmico,

cimento Portland, cal e areia. Já para o *Wood Frame* os insumos analisados são: madeira, placa cimentícia, placa OSB, placa de gesso acartonado e lã mineral.

5 METODOLOGIA

Diante do cenário mundial pela busca de maneiras mais eficientes de se produzir e diminuir os danos ambientais, além do contexto atual brasileiro no qual há um grande déficit habitacional, esta pesquisa apresenta dois tipos diferentes de métodos construtivos com o objetivo de compará-los através de parâmetros (conforto térmico, acústico e impacto ambiental) e analisar se os modelos atendem as especificações da NBR 15.575 partes 1 e 4; para verificar se o sistema tradicional estadunidense seria viável e até vantajoso se aplicado no Brasil.

Inicialmente foi analisado se o conforto térmico de ambos os sistemas está de acordo com os valores exigidos pela norma. Os resultados do conforto térmico tanto da alvenaria quanto do *wood frame* foram obtidos através de revisão teórica, utilizando de literatura técnica de livros, artigos, sites confiáveis, catálogos de produtos e dados de empresas do ramo. Após análise individual dos sistemas, fez-se um comparativo dos dois sistemas para averiguar qual é mais efetivo.

Replicou-se os métodos acima para o conforto acústico e impacto ambiental, sempre comparando a efetividade dos sistemas para cada um dos tópicos apresentados.

Por fim, foram analisados os sistemas como um todo, avaliando se o sistema estadunidense atinge os requisitos normativos, de forma geral, e se pode trazer benefícios técnicos e ambientais em relação ao sistema tradicional brasileiro.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste item se apresenta os dados obtidos para cada sistema através de pesquisas. Verifica-se a conformidade dos dados com os critérios estabelecidos na NBR 15575 e se compara os dois sistemas construtivos a fim de determinar qual é o mais eficiente em cada um dos critérios estabelecidos.

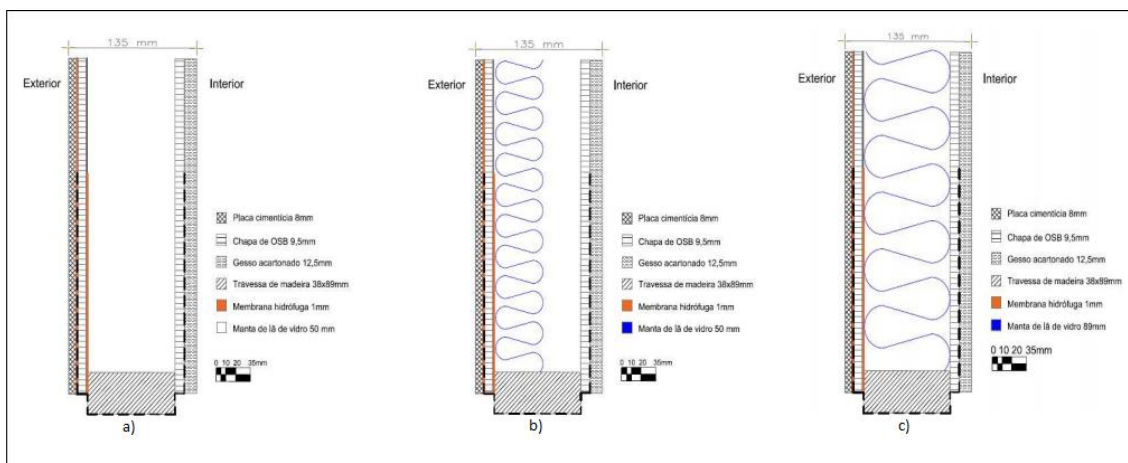
6.1 Avaliação do *Light Wood Frame*

O sistema construtivo de LWF foi avaliado nos quesitos de desempenho térmico, desempenho acústico e impacto ambiental. Para a avaliação do desempenho térmico se utiliza os parâmetros estabelecidos na NBR 15.575-1 e NBR 15.575-4, para o desempenho acústico utiliza-se os parâmetros da NBR 15.575-4 e para o impacto ambiental os parâmetros definidos no item 4.3.3.

6.1.1 Desempenho térmico do *Light Wood Frame*

Na pesquisa de Brauhardt (2016), vê-se os resultados de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) de painéis de *LWF*. Para avaliar esses valores são utilizados os parâmetros definidos pela NBR 15.575-4. Foram obtidos os valores de três tipos de painéis em *Wood Frame*, os quais possuem espessura de 13,5 cm e altura de 150 cm. Na Figura 16 observa-se a representação dos painéis, sendo o painel com câmara de ar não ventilada (a), painel com núcleo de lã de vidro e câmara de ar não ventilada(b) e o painel com núcleo de lã de vidro (c).

Figura 16 — Painéis em Wood Frame



Fonte: Brauhardt (2016)

Após definir a composição dos painéis em *Wood Frame*, foram então calculados os valores de transmitância térmica e capacidade térmica para os respectivos painéis. Para a obtenção dos valores de U e CT, Brauhardt (2016) utilizou os procedimentos de cálculo indicado na NBR 15220-2 (2005), chegando aos resultados apresentados abaixo na tabela 1.

Tabela 1 — Valores de U e CT para os painéis de *Wood Frame*

Parede em <i>Wood Frame</i> em câmara de ar não ventilada	
U	CT
[W/(m ² .K)]	[kJ/(m ² .K)]
1,800	54,511
Parede em <i>Wood Frame</i> com lã de viro e câmara de ar	
U	CT
[W/(m ² .K)]	[kJ/(m ² .K)]
0,649	26,712
Parede em <i>Wood Frame</i> com lã de vidro	
U	CT
[W/(m ² .K)]	[kJ/(m ² .K)]
0,483	27,006

Fonte: Brauhardt (2016)

No Quadro 11, observa-se os comparativos entre os valores obtidos na pesquisa de Brauhardt (2016) com os valores estabelecidos pela NBR 15.575-4. Vê-se que todos os painéis tem desempenho de transmitância térmica (U) dentro do estipulado em norma, porém, os desempenhos de capacidade térmica (CT) estão aquém do esperado. Isso se dá, segundo a autora, pelo fato de a capacidade térmica ser a capacidade de um material em reter calor e o quanto ele pode contribuir em inércia térmica ao ambiente. Por se tratar de um sistema leve, seus componentes tem baixa espessura e densidade de massa aparente, resultando em baixos valores de capacidade térmica.

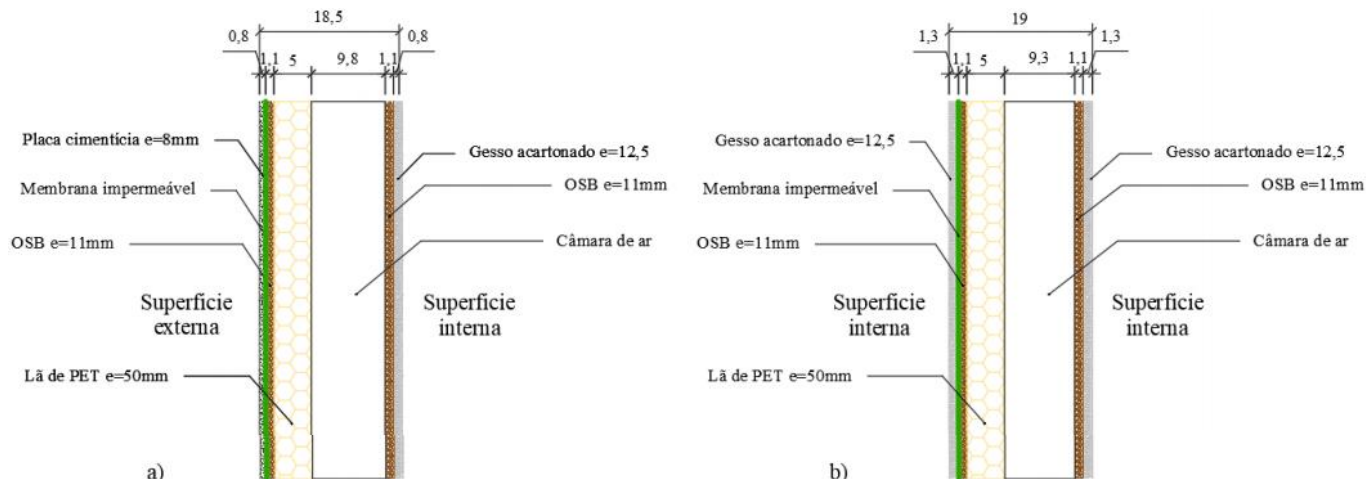
Quadro 11 — Transmitância e capacidade térmica *Wood Frame*

	Transmitância Térmica U [W/(m ² .k)]	Capacidade Térmica CT [kJ/(m ² .k)]
Valores estabelecidos pela NBR 15575-4	< 2,5	> 130
Valores atingidos parede com câmara de ar não ventilada	1,8	54,511
Valores atingidos parede com lã de vidro e câmara de ar	0,649	26,712
Valores atingidos parede com lã de vidro	0,483	27,006

Fonte: autoria própria

Já Brüggemann (2017), assim como no desempenho térmico da alvenaria, utiliza o programa *EnergyPlus* para fazer a simulação da temperatura interna dos ambientes de uma unidade residencial na cidade de Florianópolis (Zona Bioclimática 3) em situações de temperatura externa extrema, comparando então os resultados simulados com os valores exigidos pela NBR 15.575-1. Na Figura 17 estão os modelos de paredes externas e internas projetadas para a simulação.

Figura 17 — Vedação em *Wood Frame* (a) Parede externa (b) Parede interna



Fonte: Brüggemann (2017)

Comparando os dados resultantes da simulação no *software EnergyPlus*, com os valores mínimos exigidos pela NBR 15575-1, pode-se observar que o *wood frame* tem desempenho satisfatório, sendo superior ao mínimo exigido. No Quadro 12, tem-se a comparação entre os dados da simulação e os exigidos.

Quadro 12 — Temperatura Interna no *wood frame* em dias típicos de temperatura extrema

Dia típico	Temperatura Externa (°C)	Estabelecido pela NBR 15575-1 (°C)	Temperatura cômodos <i>Wood Frame</i> (°C)			
			Estar	Quarto 1	Quarto 2	Suíte
Verão	29,44	< 29,44	25,04	24,54	24,77	24,65
Inverno	14	> 17	17,01	17,07	17,17	17,03

Fonte: Brüggemann (2017) – Adaptado pelo autor

6.1.2 Desempenho acústico do *Light Wood Frame*

Assim como no desempenho térmico, o desempenho acústico foi avaliado conforme as especificações da NBR 15575-4. Os sistemas foram avaliados segundo os critérios descritos no item 4.3.2 e que tem suas demonstrações explicitadas nos Quadros 5, 6, 7 e 8.

A Tecverde (2018) traz resultados para o índice de redução sonora ponderada (R_w) e para a diferença de nível ponderada ($D_{nT,w}$). A determinação dos índices de redução sonora ponderada foi realizada através de ensaios em cinco diferentes tipos de parede. Dessas paredes as duas com espessuras mais próximas de 15 cm foram analisadas neste trabalho. De acordo com a Tecverde (2018, p 37.), as paredes possuem as seguintes características:

“[...] parede constituída por chapa de gesso para *drywall* com 12,5mm de espessura, chapa de OSB com 9,5mm de espessura, quadro estrutural em peças de madeira serrada com seção de 38mm x 90mm, chapa de OSB com 9,5mm de espessura e chapa de gesso para *drywall* com 12,5mm de espessura, totalizando espessura de 134mm; [...] parede constituída por chapa de gesso para *drywall* com 12,5mm de espessura, chapa de OSB com 9,5mm de espessura, quadro estrutural em peças de madeira serrada com seção de 38mm x 140mm, lâ de rocha (IBAR-PSRIN – 32kg/m³, espessura de 50mm), chapa de OSB com 9,5mm de espessura e chapa de gesso para *drywall* com 12,5mm, totalizando espessura aproximada de 184mm.”

Os ensaios foram realizados em laboratório e no Quadro 13 pode-se ver os resultados obtidos e a comparação com o mínimo exigido pela NBR 15575-4.

Quadro 13 — Redução Sonora ponderada *Wood Frame*

Elemento	R_w mínimo [dB]	Parede 134 mm [dB]	Parede 184 mm [dB]
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	47	48
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39		
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54		

Fonte: Autoria Própria (2021)

Pode-se observar que as duas paredes possuem índice de redução sonora ponderada muito próximos, o que traz resultados comparativos com a norma iguais para as duas. Ve-se que ambas as paredes não atingem o mínimo solicitado em apenas um dos itens (Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas...).

Já para a Diferença de nível ponderada (DnT,w) as paredes ensaiadas, de acordo com Tecverde (2018, p.2), são compostas com as seguintes características:

“quadros estruturais conformados por peças de madeira serrada de 38mm x 89mm e chapas de OSB com 9,5mm de espessura nas duas faces. O acabamento interno das áreas secas é em duas camadas de chapas de gesso para *drywall* de 12,5mm de espessura em cada face, totalizando aproximadamente 158mm de espessura. As faces das paredes das áreas molhadas (banheiro) e molháveis (cozinha, lavanderia), recebem chapa de gesso para *drywall* (do tipo RU) de 12,5mm de espessura, revestida com placas cerâmicas assentadas com argamassa colante do tipo ACII.”

Para a parede cega entre unidades habitacionais e áreas comuns de trânsito eventual, o resultado do teste em campo foi de DnT,w = 39dB. No Quadro 14, compara-se o resultado obtido com os valores exigidos pela NBR 15.575-4.

Quadro 14 — Diferença de nível ponderada *Wood Frame*

Elemento	DnT,w mínimo [dB]	<i>Wood Frame</i> [dB]
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	39
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	30 a 34	
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	

Fonte: Autoria própria (2021)

Como pode-se ver no Quadro, a parede ensaiada atinge os valores mínimos de norma apenas em um dos itens (Parede cega de salas e cozinhas entre uma

unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos) onde chegaria a atingir o desempenho intermediário. Vale ressaltar que essa mesma parede cumpriu sua função de projeto, tendo os outros itens verificados apenas para efeito de comparação.

6.1.3 Impacto ambiental *Wood Frame*

O impacto ambiental foi avaliado de acordo com a quantidade de CO_2 equivalente emitidos pelos principais insumos utilizados no *LFW*, além de suas respectivas energias embutidas, a fim de definir o impacto causado a cada m^2 construído. Para as construções leves em madeira, os insumos analisados foram os seguintes: Madeira, placa cimentícia, placa OSB, placa de gesso acartonado e lã mineral.

Para a madeira, Deeke (2009, apud Rodel, 2005) considera que o pinus absorve $735 \text{ kg } CO_2/m^3$ e possui energia embutida de $11200 \text{ MJ}/m^3$. Para a placa cimentícia Silveira (2014) nos dá um valor de energia embutida de $72,34 \text{ MJ}/m^2$, enquanto Sozin e Melo (2017) diz que um metro quadrado de placa gera $5,13 \text{ kg}CO_2eq$. A placa de gesso acartonado segundo Silveira (2014) possui energia embutida de $64,15 \text{ MJ}$ a cada metro quadrado e, de acordo com Sozin e Melo (2017), gera $3,92 \text{ kg}CO_2eq$. Já as placas OSB possuem energia embutida de $79,95 \text{ MJ}$ (Silveira, 2014) e absorve um total de $442,56 \text{ kg}CO_2eq/m^3$ (Sozin e Melo, 2017). Por fim, Silveira (2014) diz que a lã de rocha possui 19 MJ de energia embutida a cada quilograma enquanto Sozin e Melo diz que para a produção do material é gerado $62,90 \text{ kg}CO_2eq/m^3$. Tudo isso pode ser observado logo abaixo (Quadro 15).

Quadro 15 — Emissão de gases *Wood Frame*

Insumo	Unidade	Energia Embutida (MJ)	CO ₂ eq (kg)
Madeira	m ³	11200	-735
Placa Cimentícia	m ²	72,34	5,13
Placa OSB	m ²	79,95	-4,43
Placa Gesso Acartonado	m ²	64,15	3,92
Lã Mineral	m ³	608	62,90

Fonte: Silveira (2014) e Sozin e Melo (2017)

Considerando que, de acordo com Silveira (2014), são utilizados 0,0036 m³ de madeira; 1 m² de placa cimentícia, 1 m² de placa OSB; 1m² de placa de gesso e 0,05 m³ de lã de vidro, as energias embutidas e CO₂ equivalente são as apresentadas no Quadro 16.

Quadro 16 — Emissão de gases por metro quadrado de alvenaria

Insumo	Unidade	Quantidade	Energia Embutida (MJ)	CO ₂ eq (kg)
Madeira	m ³	0,0036	40	-3
Placa Cimentícia	m ²	1	72,34	5,13
Placa OSB	m ²	1	79,95	-4,43
Placa Gesso Acartonado	m ²	1	64,15	3,92
Lã Mineral	m ³	0,05	30,40	3,15
Total			287	5

Fonte: Autoria própria (2021)



6.2 Avaliação da Alvenaria de Vedação

Assim como o *Wood Frame*, a alvenaria foi avaliada nos quesitos de desempenho térmico, desempenho acústico e impacto ambiental. Para a avaliação do desempenho térmico foram utilizados os parâmetros estabelecidos na NBR 15.575-1 e NBR 15.575-4, para o desempenho acústico foram utilizados os parâmetros da NBR 15.575-4 e para o impacto ambiental os parâmetros definidos no item 4.3.3.

6.2.1 Desempenho térmico da Alvenaria

Silva e Moreira (2017) trazem em sua pesquisa, o cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica de diversas paredes com as mesmas condições de assentamento e revestimento fazendo assim uma comparação de desempenho entre esses sistemas. Entre as paredes apresentadas está a de bloco cerâmico. Os resultados atingidos são vistos na figura 18.

Figura 18 — Transmitância térmica e Capacidade térmica em diferentes paredes

Sistemas de Vedação Vertical		U (W/(m ² .K))	CT (kJ/(m ² .K))
	Parede de blocos cerâmicos de 6 furos assentados na menor dimensão Dimens. Bloco: 9,0 x 19,0 x 39,0 cm Espessura arg. de assent: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,38	161,95
	Parede de blocos cerâmicos de 9 furos assentados na menor dimensão Dimens. Bloco: 14,0 x 19,0 x 39,0 cm Espessura arg. de assent: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	1,89	198,28

Fonte: Silva e Moreira (2017)

Em Silva e Moreira (2017) vê-se duas paredes formadas por blocos cerâmicos, tendo como características a argamassa de assentamento de 1,0 cm de espessura e revestimento de 2,5 cm em cada lado da parede. No estudo citado, os autores concluem que independentemente do tipo de material utilizado, quanto maior a espessura da parede, melhor o desempenho térmico.

Foram analisados apenas os dados obtidos com o bloco cerâmico de dimensões 9,0 x 19,0 x 39,0 cm, pois são os que trazem paredes de espessura em torno de 15cm (14 cm ao consideramos 2,5 cm de revestimento).

Comparando os resultados de Silva e Moreira (2017) de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) com os critérios estabelecidos pela norma, pode-se concluir que o bloco cerâmico tem desempenho térmico maior que o mínimo determinado. Essa comparação pode ser verificada no Quadro 17.

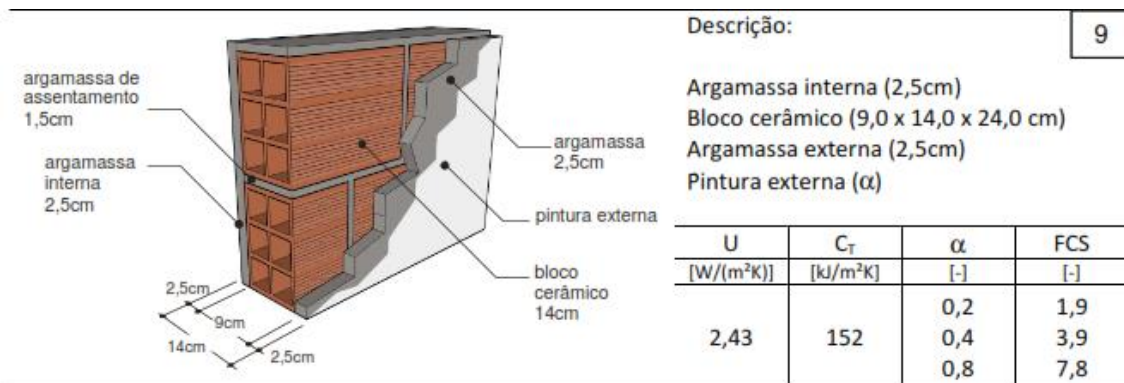
Quadro 17 — Transmitância térmica e capacidade térmica no bloco cerâmico

	Transmitância Térmica $U [W/(m^2 \cdot k)]$	Capacidade Térmica $CT [kJ/(m^2 \cdot k)]$
Valores estabelecidos pela NBR 15575-4	< 2,5	> 130
Valores atingidos bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 39,0cm)	2,38	161,95

Fonte: Autoria própria

Na pesquisa de Morishita et al. (2011) encontra-se resultados semelhantes aos apresentados por Silva e Moreira (2017). Os autores calculam os valores para U e CT de diversos tipos de paredes e telhados. Na Figura 19 vê-se os valores calculados para a parede de alvenaria convencional, com blocos cerâmicos e argamassa interna e externa.

Figura 19 — Transmitância térmica e Capacidade térmica da Alvenaria Convencional



Fonte: Morishita et al. (2011)

Como descrito acima (Figura 19), os blocos cerâmicos utilizados têm como medidas 9,0 x 14,0 x 24,0 cm, seguindo o padrão de 2,5 cm de argamassa nas faces externas e internas das paredes. No Quadro 18 compara-se os valores calculados com os critérios da norma, novamente obtendo resultados superiores aos mínimos estabelecidos.

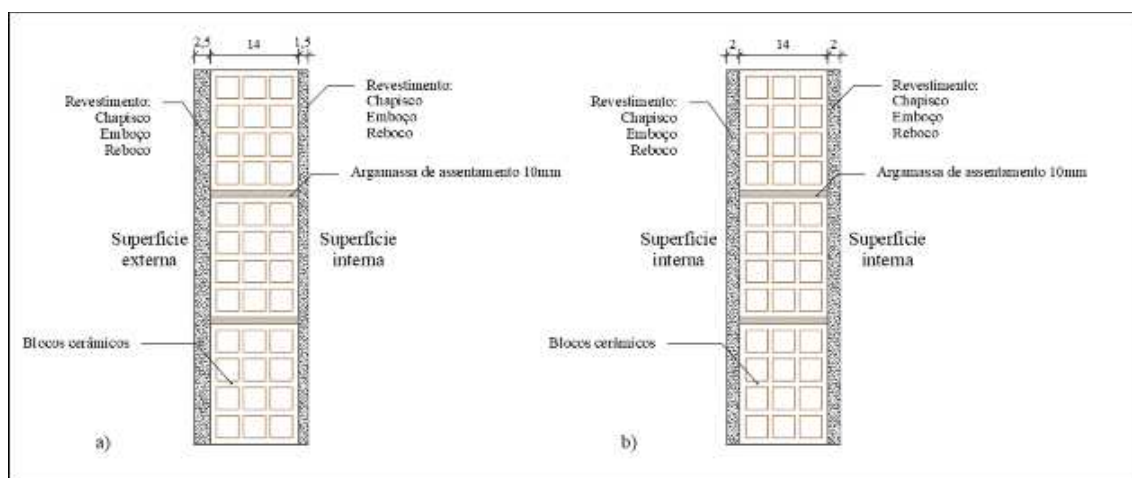
Quadro 18 — Transmitância e capacidade térmica alvenaria

	Transmitância Térmica $U [W/(m^2 \cdot k)]$	Capacidade Térmica $CT [kJ/(m^2 \cdot k)]$
Valores estabelecidos pela NBR 15575-4	< 2,5	> 130
Valores atingidos bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm)	2,43	152

Fonte: Autoria própria

Por fim, Brüggemann (2017) apresenta resultados do desempenho térmico da alvenaria a partir de simulação feita no *software EnergyPlus*, que retorna os valores simulados da temperatura interna dos ambientes. As paredes utilizadas no projeto (Figura 20) possuem blocos com espessura de 14 cm, maior do que a convencional. Considerando a argamassa, as paredes do projeto têm espessura de 18 cm, ou seja, 4 cm a mais que a utilizada como convencional.

Figura 20 — Vedação em alvenaria (a) Parede externa (b) Parede interna



Fonte: Brüggemann (2017)

A NBR 15575-1 define que na Zona Bioclimática 3, a temperatura interna de um cômodo durante o verão deve ser sempre menor que a temperatura máxima externa. Já durante o inverno deve ser maior que a temperatura mínima externa acrescidos 3°C.

A simulação foi realizada para uma construção no município de Florianópolis, que se situa na Zona Bioclimática 3. Foram considerados os dias de temperatura extrema no verão e no inverno. No Quadro 19 apresenta-se os resultados obtidos em simulação comparados com os critérios estabelecidos pela NBR 15.575-1. Os dados são satisfatórios durante o verão e muito próximos aos mínimos no inverno, porém, ainda abaixo dos valores estabelecidos pela norma.

Quadro 19 — Temperatura simulada alvenaria

Dia típico	Temperatura Externa (°C)	NBR 15575-1 (°C)	Temperatura cômodos alvenaria (°C)			
			Estar	Quarto 1	Quarto 2	Suíte
Verão	29,44	< 29,44	24,4	24,13	24,39	24,18
Inverno	14	> 17	16,9	16,91	17,07	16,86

Fonte: Brüggemann (2017) – Adaptado pelo autor

6.2.2 Desempenho acústico da Alvenaria

Assim como no desempenho térmico, o desempenho acústico foi avaliado conforme as especificações da NBR 15575-4. Os sistemas foram avaliados segundo os critérios descritos no item 4.3.2 e que tem suas demonstrações explicitadas nos Quadros 5, 6, 7 e 8.

O Guia de desempenho de edificações da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) fornece dados do índice de redução sonora ponderado (R_w), testado em laboratório, de diversos tipos de parede, variando tanto o material quanto a espessura das paredes. No Quadro 20 apresenta-se os valores de R_w para paredes de blocos cerâmicos vazados.

Quadro 20 — Valores do índice de redução sonora ponderado

Tipo de parede	Largura do bloco	Revestimento	Massa aproximada	Rw (dBA)
Blocos vazados de cerâmica	9 cm	Argamassa de 1,5 cm em cada face	120 kg/m ²	38
	11,5 cm		150 kg/m ²	40
	14 cm		180 kg/m ²	42

Fonte: CBIC (2013)

Pelos dados fornecidos pela CBIC (2013) as paredes alvenaria convencional (blocos vazados de cerâmica com largura da 9,0 cm) possuem índice de redução sonora ponderado de 38 dBA (Decibéis). A norma traz seis diferentes elementos para análise. Dentre os seis tipos de situações apresentadas no Quadro 6, não foram avaliados os elementos de parede geminada e entre apartamentos (por possuir uma forma de teste específica para o caso). Dos elementos analisados, em apenas um deles o bloco de 9 cm atinge o desempenho mínimo. No Quadro 21, observa-se a comparação do bloco cerâmico com os requisitos mínimos da NBR 15575-4.

Quadro 21 — Desempenho acústico bloco cerâmico

Elemento	Rw mínimo [dB]	Bloco cerâmico [dB]
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	38
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	

Fonte: autoria própria (2021)

Pinto (2011) fornece dados em relação a diferença padronizada de nível ponderada (D_{nT}) na alvenaria de blocos cerâmicos. Para obtenção desses dados, foram feitos testes em campo em uma edificação já concluída. Foram ensaiados diferentes tipos de parede em três residenciais, variando assim o tipo de bloco e espessura final das paredes. Para o presente trabalho foram utilizados os dados

apresentados para o Residencial A amostra PTF15, sendo essa amostra constituída de blocos cerâmicos com 4 furos e espessura final, com revestimento, de 15cm, como mostra o Quadro 22.

Quadro 22 — Amostra PTF15

Amostra	Parede de tijolo	Dimensão do bloco (cm)	Espessura da parede com revestimento (cm)	Densidade média (kg/m ³)
PTF15	4 furos	10 x 10 x 19	15	1300

Fonte: Pinto (2011)

A amostra PTF15 é uma parede de divisão entre dois dormitórios. Os dados obtidos por Pinto (2011) mostram que a parede possui diferença padronizada de nível ponderada de 41 dB. Portanto a parede atinge o mínimo exigido pela NBR 15575-4 para sua função. Logo abaixo (Quadro 23), tem-se a comparação da amostra com todos os itens avaliados pela NBR 15.575-4.

Quadro 23 — Diferença padronizada de nível ponderada bloco cerâmico

Elemento	DnT,w mínimo [dB]	Bloco cerâmico [dB]
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	41
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	30 a 34	
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	

Fonte: Autoria própria

Observa-se que para os itens avaliados, em apenas um não se atinge o nível mínimo de desempenho (parede cega entre unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas). Além disso em um dos itens (parede cega de salas e cozinhas entre unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual) a eficácia é

acima da mínima estabelecida, atingindo o nível de desempenho superior (acima de 40 dB).

6.2.3 Impacto Ambiental Alvenaria

O impacto ambiental causado pela alvenaria foi avaliado de acordo com a quantidade de CO_2 equivalente emitidos por seus principais insumos utilizados, além de suas respectivas energias embutidas, a fim de definir o impacto causado a cada m^2 construído. Avalia-se os seguintes insumos: Bloco cerâmico, cimento, cal e areia.

Lobo (2010) desenvolve uma ferramenta para levantar os dados de emissão de CO_2eq e energia embutida em todas as etapas da obra, até sua conclusão. Para isso, o mesmo utiliza dados da tese desenvolvida por Tavares (2006) e relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). No Quadro 24, pode-se ver os valores energéticos e de emissão para os insumos avaliados.

Quadro 24 — Emissão de gases alvenaria

Insumo	Unidade	Energia Embutida (MJ)	$CO_2 eq$ (kg)
Bloco cerâmico 6 furos (9x 14x 19cm)	Pç	15,97	1,25
Cimento	kg	4,2	1,84
Cal hidratada	kg	4,03	3,13
Areia	m^3	75,75	6

Fonte: Lobo (2010)

Silveira (2014) traz a quantidade de insumos para a execução de $1m^2$ de alvenaria de vedação, são eles: 31 peças de bloco cerâmico; 14,21 kg de cimento; 9,1 kg de cal e $0,077 m^3$ de areia. Utilizando esses dados em conjunto com os apresentados em Lobo (2010) chega-se aos resultados apresentados a seguir (Quadro 25).

Quadro 25 — Emissão de gases por metro quadrado de alvenaria

Insumo	Unidade	Quantidade	Energia Embutida (MJ)	CO ₂ eq (kg)
Bloco cerâmico 6 furos (9x 14x 19cm)	Pç	31	495,07	38,75
Cimento	kg	14,21	59,68	26,15
Cal hidratada	kg	9,1	36,67	28,48
Areia	m ³	0,077	5,83	0,46
Total			597,26	93,84

Fonte: Autoria própria (2021)

Portanto, para o painel de alvenaria utilizaremos os valores de energia embutida total de 597 MJ/m² e o valor total de emissão de 93,84 kgCO₂eq/m² de painel.

6.3 Comparação entre Sistemas

Após avaliar cada um dos sistemas individualmente com base nos parâmetros estabelecidos no decorrer dos trabalhos, compara-se os dois sistemas estudados. Para isso, utiliza-se um Quadro comparativo com todos os valores encontrados. O Quadro 26 traz o resultado dessas comparações.

Quadro 26 – Comparativo entre sistemas

	Parâmetros	Alvenaria	Wood Frame
Desempenho Térmico	CT [kJ / (m ² .k)]	2,38	0,48
	U [W / (m ² .k)]	161,95	54,51
	Temp. Inverno	16,86	17,01
	Temp. Verão	24,4	25,04
Desempenho Acústico	Rw [dB]	38	48
	DnT,w [dB]	41	39
Impacto Ambiental	Energia Embutida (MJ)	597,26	287
	kgCO ₂ eq	93,84	5

Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto no quadro acima (quadro 26), ambos os sistemas possuem valores muito próximos tanto para o desempenho térmico, quanto para o desempenho acústico. Já quando falamos sobre o impacto ambiental, o *Wood Frame* utiliza menos energia e emite uma quantidade significativamente menor de gases que o sistema de alvenaria de vedação.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do cenário nacional e mundial na busca pela diminuição dos impactos ambientais e de garantir o direito à moradia digna de todos os habitantes, vê-se, no Brasil, o *wood frame* como alternativa viável em relação ao modelo de construção de alvenaria tradicional.

O sistema de construção leve em madeira, de modo geral, possui valores muito semelhantes aos atingidos pelo bloco cerâmico tanto para o conforto térmico quanto para o conforto acústico, porém, ao analisar os impactos ambientais causados por cada um, o sistema tradicional estadunidense se mostra menos destrutivo, tornando-o mais vantajoso.

Deve-se considerar alguns pontos ao concluir esse estudo, sendo eles: as diversidades de cada sistema e os limites de pesquisa.

Para a diversidade dos sistemas, é necessário salientar que ao não atingirem os valores mínimos exigidos pelas NBR 15.575-1 e NBR 15.575-4 para o conforto térmico e acústico, ambos os sistemas possuem alternativas viáveis dentro de cada um, como por exemplo para a alvenaria – aumento da espessura do bloco, aumento da espessura da argamassa de revestimento, parede de vedação dupla; e para o *wood frame* pode-se falar sobre os diversos tipos de painéis de vedação, variando o material de isolamento, espessuras de placas e paredes.

Quanto ao impacto ambiental há ainda de se considerar que muito da extração de materiais pode ocorrer de maneira ilegal e mais prejudicial ao meio ambiente que o necessário. Além disso, pela amplitude que é o impacto ambiental, cada autor leva em consideração os pontos que considera mais relevantes para o cenário temporal e espacial em que estão inseridas suas respectivas pesquisas.

Para uma avaliação mais precisa, poderia ser realizado um estudo baseado em orçamentos de duas unidades habitacionais com mesma metragem e condições de execução, utilizando cada uma delas um dos sistemas estudado. Assim, o impacto ambiental poderia ser melhor visualizado devido a assertividade em relação aos materiais utilizados e rastreabilidade de cada um.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Rio de Janeiro, 2009.

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

BALEN, E.; PANSERA, R. D.; ZANARDO, R. L. P. *Wood frame – Busca por sustentabilidade*. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Brasil. 2016.

BARBOSA, Joao A. L. Análise de patologias geradas na interface estrutura pré-moldada e estrutura convencional – Estudo de caso. 2014. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.

BRAUHARDT, Barbara. Sistema construtivo em Wood Frame: Desempenho Térmico das Vedações Verticais e Potencial de Aplicação para Habitação Social em Foz do Iguaçu-PR. Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu, PR. 2016.

BRÜGGEMANN, Carolina. Comparativo entre alvenaria e wood frame ao longo da vida útil. Universidade Federal de Santa Catarina. 2017.

BUNDER, Jeferson. O Concreto: sua origem, sua história. 2016. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

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

CARDOSO, Larriê Andrey. Estudo do método construtivo *wood framing* para construção de habitações de interesse social. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

CARDOSO, Luiza Moura. Tudo sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil. Sienge, 2017. Disponível em: < <https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil>>. Acesso em: 7 de fev. de 2020.

CASTRO, Renata C. M. de; FREITAS, Arlene M. S. *Steel Framing: Arquitetura*. Instituto Brasileiro de siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006.

CREA-SP. Código de Ética. 2002. Disponível em <http://www.creasp.org.br/arquivos/publicacoes/2017-codigo_de_etica_v2.pdf>. Acesso em 29 jan. 2020.

CZERWINSKA, Dominika. A contribuição das Construções Sustentáveis para Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. **Green Building Council Brasil**, 2019. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/a-contribuicao-das-construcoes-sustentaveis-para-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu>. Acesso em: 7 fev. 2020.

DEEKE, Vania. Materiais convencionais utilizados na construção civil e emissão de CO2: estudo de caso de um edifício educacional da UTFPR. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

DIRETRIZES para Avaliação Técnica de Produtos - Sistemas construtivos TECVERDE: “Sistema leve em madeira”. DATec nº 20. Instituto Falcão Bauer da Qualidade. São Paulo, 2013.

ECKER, Taienne W. P.; MARTINS, Valdemar. Comparativo dos Sistemas Construtivos *Steel Frame* e *Wood Frame* para Habitações de Interesse Social. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

ECKERT, Deisy Gisely. Comparativo orçamentário utilizando os sistemas construtivos convencional e *Light Steel Framing*. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

ESPÍNDOLA, L. R. O *wood frame* na produção de habitação social no Brasil. 2017. 331 p. Tese (Doutorado – Programa de pós graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

FORNER, Talita. Comparativo entre alvenaria de vedação com juntas verticais secas e alvenaria convencional. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015. IBGE. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. 2020. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 28 jan. 2020.

KAEFER, Luís Fernando. A Evolução do Concreto Armado. São Paulo, 1998.

LOBO, Fernando Henrique Rodrigues. Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas. Estudo de caso no estado do Paraná, 2010. 1000p. Dissertação (Mestrado em construção civil) – Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

LOGSDON, Norman B. Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997. Cuiabá - MT, 2002, 62 p.

MARCOLIN, Nedson. Criação no concreto: Há cem anos o concreto armado começava a ser usado no Brasil. Revista Pesquisa Fapesp, Ed. 127, 2006.

MOREIRA, Rodrigo R.; SILVA, Patrícia E. V. Projeto de alvenaria de vedação – Diretrizes para elaboração, histórico, dificuldades e vantagens da implementação e relação com a NBR 15575. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

MORISHITA, Claudia *et al.* Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas. Universidade Federal de Santa Catarina. 2011.

Nos Estados Unidos a madeira é o material mais importante para construir casas. Celulose Online, 2017. <<https://www.celuloseonline.com.br/nos-estados-unidos-madeira-e-o-material-mais-importante-para-construir-casas/>>. Acesso em: 07 fev. 2020.

PEREIRA, Caio. O que é radier?. Escola Engenharia, 2013. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/radier/>>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2020.

PEREIRA, Caio. Sapatas de fundação. Escola Engenharia, 2016. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/sapatas-de-fundacao/>>. Acesso em: 8 de fevereiro de 2020.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. Estruturas de Concreto – Capítulo 1. São Paulo: Campus USP, 2004.

PINTO, Rodrigo Barcelos. Determinação experimental e numérica da redução sonora aérea em paredes de alvenaria utilizadas em habitações. Universidade Federal de Santa Maria. 2011.

SANTOS, Roberto Eustaáquio dos. A cultura do concreto armado no Brasil: educação e deseducação dos produtores do espaço construído. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de História da Educação. Goiania: Universidade Católica de Goiânia, 2006.

SANTOS, Roberto Eustaáquio dos. A armação do concreto no Brasil: história da difusão do sistema construtivo concreto armado e da construção de sua hegemonia – Belo Horizonte, 2008.

SEBRAE. Construção civil emprega 13 milhões de pessoas no país. Sebrae Inteligência Setorial, 2016. Disponível em:

<https://sebraeinteligenciasetorial.com.br/produtos/noticias-de-impacto/construcao-civil-emprega-13-milhoes-de-pessoas-no-pais/57ad24523553321900188ae1>. Acesso em: 7 fev. 2020

SILVA, Patrícia Emília Villela; MOREIRA, Rodrigo Resende. Projeto de alvenaria de vedação – diretrizes para a elaboração, histórico, dificuldades e vantagens da implementação e relação com a NBR 15575. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, [S. l.], 2017.

SILVEIRA, Rafael Ribeiro. Análise comparativa de sistemas construtivos – alvenaria, *steel framing* e *wood framing* – em unidades habitacionais de interesse social. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Construções Sustentáveis) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SOUZA, Hipólito de. Construções em Alvenaria. 2002. Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia. Porto, Portugal.

SOZIN, J.P.F.; MELO, P. C. Avaliação do ciclo de vida de emissão de co2 equivalente de vedação de light wood frame em Brasília. Universidade de Brasília. 2017.

TELLES, P. C. S. História da Engenharia no Brasil (Século XVI a XIX). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.

THOMAZ, Ercio. Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção. São Paulo: Editora Pini, 2001.

VELLOSO, Joana G. Diretrizes Para Construções Em Madeira No Sistema Plataforma. 2010, 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

WEIRICH, Patrick. Análise comparativa do volume de madeira empregado em telhados convencionais e no sistema *Wood-Frame*. 2012. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2012.