

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

RAFAEL RIBEIRO SILVEIRA

**ANALISE COMPARATIVA DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS –
ALVENARIA, STEEL FRAMING E WOOD FRAMING – EM UNIDADES
HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA - PR

2014

RAFAEL RIBEIRO SILVEIRA

**ANALISE COMPARATIVA DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS –
ALVENARIA, STEEL FRAMING E WOOD FRAMING – EM UNIDADES
HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Especialista em Construções Sustentáveis” -

Orientador: Prof. Dr. José Alberto Cerri

CURITIBA - PR

2014

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, por tudo.

Pois não existem palavras para expressar a gratidão e orgulho que sinto por eles.

Aos meus filhos,

Aos filhos dos meus filhos, ...

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, pelos ensinamentos e pelas possibilidades que me deram, pois sem a sua dedicação estas palavras não seriam escritas.

Agradeço a todos aqueles que cruzaram meu caminho, me ensinaram algo, ou me fizeram entender alguma coisa nova.

Àqueles que leem este texto pois não há sentido em se criar algo que não possa ser compartilhado e utilizado por outras pessoas; da mesma maneira que sou grato àqueles que serviram como referência para este trabalho, pois seus estudos são a base que possibilitou esta pesquisa.

Aos meus amigos e colegas que me acompanharam ao longo desta especialização. Em especial as queridas amigas Cátia e Rachel, pela presença em sala de aula e nos momentos de descontração. Ao meu grande amigo Guilherme, pela amizade sempre presente ao longo dos anos. A Flavia, pelos momentos de felicidade, conversas instigantes, curiosidade constante e alegria sempre presente.

Ao meu orientador José Alberto Cerri, pela dedicação e esforço.

Aos amigos, familiares e outras pessoas que não citei. A estes peço que não tomem esta página como um registro da minha ingratidão ou pouca memória, vocês estão presentes no meu coração. Para que vocês estivessem nomeados aqui, esta página não teria fim nem começo, ou estaria escrita com letras muito pequenas.

A todos vocês, obrigado por alegrarem meus dias, me ajudando a evoluir constantemente e colaborando para que eu me defina como sou.

RESUMO

SILVEIRA, Rafael Ribeiro. Análise Comparativa de Sistemas Construtivos – Alvenaria, *Steel framing* e *Wood framing* – em Unidades Habitacionais de Interesse Social. 2014. 173 f. Monografia (Construções Sustentáveis), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.

Esta pesquisa analisa os sistemas construtivos em alvenaria, *steel framing* e *wood framing*; com o objetivo de determinar qual deles é o mais adequado para a construção de habitações de interesse social em grande quantidade no PMCMV. O déficit habitacional brasileiro é um problema grave que necessita de programas específicos para ser controlado e suprimido. Atualmente, o PMCMV é a ferramenta utilizada pelo governo brasileiro para diminuir esta demanda de habitações. Ainda neste contexto, é aprovada a NBR 15.575, determinando o desempenho a ser atingido pelas edificações brasileiras. Por meio dos critérios desta norma e de outros parâmetros definidos nesta pesquisa, foram analisados os sistemas construtivos em alvenaria, *steel framing* e *wood framing*. Como resultado dessas avaliações, constatou-se que: nenhum dos painéis estudados atende a todos os requisitos e critérios, referentes a desempenho térmico e acústico, da NBR 15.575-4; e que, segundo os parâmetros estabelecidos nesta pesquisa, ambos os métodos construtivos, *steel framing* e *wood framing*, são adequados a construção de habitações de interesse social em grande quantidade pelo PMCMV.

Palavras-chave: Déficit habitacional. Programa Minha Casa Minha Vida. Alvenaria. *Steel Framing*. *Wood Framing*.

ABSTRACT

SILVEIRA, Rafael Ribeiro. Comparative Analysis of Constructive Systems – Masonry, Steel framing and Wood framing - of Social Interest Housing Units. 2014. 173 pages. Monograph (Sustainable Constructions), Federal University of Technology of Paraná. Curitiba, Brasil.

This study analyses the constructive systems – masonry, steel framing and wood framing – with the objective of defining which, among them, is the most appropriate for the construction of social interest housing units in big quantity on the PMCMV. The brazilian housing deficit is a serious issue that require specific programs to be controlled and suppressed. Presently, the PMCMV is the tool used by the brazilian government to reduce this housing demand. Still in this context, is approved the NBR 15.575, determining the performance brazilian buildings should reach. With the rules of this regulation and the standards defined in this study, the constructive methods were analyzed. As results of this evaluation, was found that: neither one of the constructive systems reached all the requirements, related to acoustic and thermal performance, of the norm NBR 15.575-4; and that, according to the parameters established in this study, both constructive methods, steel framing and wood framing, are suitable to the construction of social interest housing units in big quantity on the PMCMV.

Keywords: Housing déficit. Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Masonry. Steel Framing. Wood Framing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Vila Dignidade em Avaré, São Paulo.	23
Figura 2: Residencial Haragano no canteiro de obras e na fábrica	24
Figura 3: Explicação da expressão relativa ao consumo de componentes de alvenaria.	26
Figura 4: Produtividade em horas homem por metro quadrado.	28
Figura 5: Fluxograma da produção de tijolos.	29
Figura 6: Processos para a produção do cimento Portland	30
Figura 7: Tipos de resíduos que podem ser utilizados para a produção de cimento Portland	31
Figura 8: Esquema da produção de cal.....	32
Figura 9: Emissão de quilogramas de CO ₂ eq e Energia embutida da areia.	34
Figura 10: Resultados obtidos em cálculo no programa desenvolvido por Moreira e Labaki.	35
Figura 11: Processo de produção do OSB.....	46
Figura 12: Processo de produção das chapas de gesso acartonado.	50
Figura 13: Processo de produção da lã de rocha.	52
Figura 14: Perspectiva mostrando a estrutura em WLF e as vedações internas e externas.	59
Figura 15: Perspectiva mostrando o painel em WLF e os seus componentes.....	60
Figura 16: Zoneamento bioclimático brasileiro.	68
Figura 17: Métodos de avaliação do desempenho térmico.	69
Figura 18: Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano.	71
Figura 19: Perspectiva ilustrativa do painel de estudo em <i>steel framing</i>	83
Figura 20: Perspectiva ilustrativa do painel de estudo em <i>wood framing</i>	92
Figura 21: Tijolo de estudo, com e sem argamassa de fechamento. Localização das seções 01 (em vermelho) e 02 (em azul).	149
Figura 22: Tijolo de estudo, seção da argamassa e do reboco, respectivamente	150
Figura 23: Painel em <i>steel framing</i> de estudo. Localização das seções 01 (em vermelho) e 02 (em azul).....	155
Figura 24: Painel em <i>wood framing</i> de estudo. Localização das seções 01 (em vermelho) e 02 (em azul).....	166

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição do déficit por faixa de renda.....	22
Tabela 2: Custos de insumos para a produção de um metro quadrado alvenaria.	27
Tabela 3: Emissão de quilogramas de CO ₂ eq e Energia embutida do tijolo.....	30
Tabela 4: Emissão de quilogramas de CO ₂ eq e Energia embutida do cimento.....	32
Tabela 5: Emissão de quilogramas de CO ₂ eq e Energia embutida da cal.....	33
Tabela 6: Emissão de quilogramas de CO ₂ eq e Energia embutida da areia.	34
Tabela 7: Diferença do Índice de redução sonora em experimento e simulação.....	36
Tabela 8: Diferença de nível sonoro e Índice de redução sonora em experimento e simulação na parede PTF 15.	37
Tabela 9: Composição do Modelo M4 na pesquisa de Palacio (2013).	39
Tabela 10: Quantitativo de materiais por metro quadrado para o Modelo M4 na pesquisa de Palacio (2013).....	39
Tabela 11: Energia embutida para peças de aço presentes em um painel de <i>steel framing</i> .44	
Tabela 12: Emissões de kgCO ₂ eq para peças de aço presentes em um painel de <i>steel framing</i>	44
Tabela 13: Energia embutida para peças de aço presentes em um painel de <i>steel framing</i> .45	
Tabela 14: Energia embutida na placa de OSB.	47
Tabela 15: Emissão de kgCO ₂ eq e energia embutida na placa de OSB e na placa de gesso acartonado.....	48
Tabela 16: Quantidade de quilogramas de Carbono estocados na placa de OSB.	48
Tabela 17: Emissão de kgCO ₂ eq na placa de OSB.	49
Tabela 18: Energia embutida em um metro quadrado desta membrana.....	49
Tabela 19: Energia embutida na chapa de gesso acartonado.....	51
Tabela 20: Energia embutida na chapa de gesso acartonado.....	51
Tabela 21: Fatores de emissão de kgCO ₂ para a lã de rocha.	52
Tabela 22: Transmitância térmica dos modelos de vedação utilizados por Palacio (2013). .	53
Tabela 23: Capacidade térmica dos modelos de vedação utilizados por Palacio (2013).....	53
Tabela 24: Índice de redução sonora Rw para chapas de gesso de diferentes fabricantes. 54	
Tabela 25: Índice de redução sonora Rw para placas cimentícias em diferentes tipos de parede.	55
Tabela 26: Índice de redução sonora Rw para paredes do sistema construtivo Saint-Gobain - LSF.....	56
Tabela 27: Índice de redução sonora Rw para paredes do sistema construtivo LP Brasil OSB - LSF.....	57
Tabela 28: Índice de redução sonora Rw para paredes contendo painéis OSB.....	57
Tabela 29: Produtividade dos sistemas LSF e WLF no contexto norte americano.	62
Tabela 30: Produção de Pinus no Brasil.	63
Tabela 31: Energia embutida e emissões de CO ₂ para diversos materiais no sistema WLF.64	
Tabela 32: Energia embutida e emissões de CO ₂ para diversos materiais de construção. ..	64
Tabela 33: Capacidade e Transmitância térmica para a parede de estudo em Ferreira (2012).	65
Tabela 34: Índice de redução sonora para parede em WLF.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dados sobre o Residencial Haragano.	24
Quadro 2: Quantitativo e custos de insumos para a produção de um metro quadrado alvenaria.	27
Quadro 3: Produtividade em horas homem por insumo na alvenaria.	28
Quadro 4: Valores de Densidade de massa aparente (r), condutividade térmica (l) e calor específico (c) para os materiais do painel de estudo em alvenaria.	35
Quadro 5: Preços dos principais insumos para a composição de um painel em <i>steel framing</i>	40
Quadro 6: Comparação de custos para execução de uma parede em alvenaria e em LSF.	41
Quadro 7: Comparação de custos da execução de acabamentos numa parede de alvenaria e em LSF.	41
Quadro 8: Composição de preços para a construção de uma parede em LSF.	42
Quadro 9: Produtividade para a montagem de um painel de <i>steel framing</i>	42
Quadro 10: Valores de Densidade de massa aparente (r), condutividade térmica (l) e calor específico (c) para os materiais do painel de estudo em <i>steel framing</i>	54
Quadro 11: Custos dos insumos para a composição de um painel em WLF.	61
Quadro 12: Composição de preços para um painel em WLF.	61
Quadro 13: Valores de Densidade de massa aparente (r), condutividade térmica (l) e calor específico (c) para os materiais do painel de estudo em <i>wood framing</i>	65
Quadro 14: Critério de avaliação da transmitância térmica para paredes externas.	70
Quadro 15: Critério de avaliação da capacidade térmica para paredes externas.	70
Quadro 16: Influência do isolamento acústico sobre a inteligibilidade da fala, para ruído no ambiente interno em torno de 35 a 40 dB.	71
Quadro 17: Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, da vedação externa de dormitório.	72
Quadro 18: Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, entre ambientes.	73
Quadro 19: Modelo de quadro para a avaliação de conformidade com a NBR 15.575.	75
Quadro 20: Avaliação da transmitância térmica para o painel em alvenaria.	80
Quadro 21: Avaliação da capacidade térmica para o painel em alvenaria.	81
Quadro 22: Avaliação do índice de redução sonora do painel em alvenaria quanto a paredes de vedação externa de dormitório.	81
Quadro 23: Avaliação da diferença padronizada de nível ponderada do painel em alvenaria quanto a paredes entre ambientes.	82
Quadro 24: Resumo do índice de redução sonora dos insumos do painel LSF estudado de acordo com as pesquisas avaliadas.	87
Quadro 25: Avaliação da transmitância térmica para o painel em <i>steel framing</i>	89
Quadro 26: Avaliação da capacidade térmica para o painel em <i>steel framing</i>	89
Quadro 27: Avaliação do índice de redução sonora do painel em <i>steel framing</i> quanto a paredes de vedação externa de dormitório.	90
Quadro 28: Avaliação da diferença padronizada de nível ponderada do painel em <i>steel framing</i> quanto a paredes entre ambientes.	90
Quadro 29: Avaliação da transmitância térmica para o painel em <i>wood framing</i>	94
Quadro 30: Avaliação da capacidade térmica para o painel em <i>steel framing</i>	94
Quadro 31: Avaliação do índice de redução sonora do painel em <i>wood framing</i> quanto a paredes de vedação externa de dormitório.	95

Quadro 32: Avaliação da diferença padronizada de nível ponderada do painel em <i>wood framing</i> quanto a paredes entre ambientes.....	95
Quadro 33: Composição de preços atualizados para a construção de uma parede em LSF.	102
Quadro 34: Custos dos insumos atualizados para a composição de um painel em WLF... ..	105
Quadro 35: Composição de preços para um painel em WLF.	106
Quadro 36: Custo da mão-de-obra de carpinteiro e ajudante de carpinteiro	107
Quadro 37: Emissão de quilogramas de CO ₂ eq e Energia embutida dos insumos do painel em alvenaria.	116
Quadro 38: Emissão de quilogramas de CO ₂ eq e Energia embutida do painel em alvenaria.	117
Quadro 39: Emissão de quilogramas de CO ₂ eq e Energia embutida dos insumos em um metro quadrado do painel de estudo em <i>steel framing</i>	121
Quadro 40: Emissão de quilogramas de CO ₂ eq e Energia embutida dos insumos em um metro quadrado do painel de estudo em <i>wood framing</i>	123
Quadro 41 – Resumo dos resultados dos parâmetros avaliados.	135
Quadro 42: - Resistência térmica da camada de ar superficial interna e externa.....	152

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: População urbana e rural entre 1950 e 2000.....	19
Gráfico 2: Modelo de gráfico para a comparação dos sistemas construtivos segundo os parâmetros estabelecidos.....	76
Gráfico 3: Modelo de gráfico de quadrantes para a comparação simultânea de parâmetros dos sistemas construtivos estudados.....	77
Gráfico 4: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base no custo.....	109
Gráfico 5: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na produtividade.....	110
Gráfico 6: Comparação dos painéis LSF e WLF com base na produtividade (com base no contexto norte americano).....	112
Gráfico 7: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na produtividade e custo.....	114
Gráfico 8: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na energia embutida.....	124
Gráfico 9: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na emissão de kgCO ₂ eq.....	125
Gráfico 10: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na energia embutida e na emissão de kgCO ₂ eq.....	127
Gráfico 11: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na transmitância térmica e comparação com os critérios da NBR 15,575-4.....	129
Gráfico 12: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na capacidade térmica e comparação com os critérios da NBR 15,575-4.....	131
Gráfico 13: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na transmitância térmica e capacidade térmica.....	132
Gráfico 14: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base no índice de redução sonora.....	134

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PMCMV	PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA
IAB	INSTITUTO DOS ARQUITETOS DO BRASIL
BNH	Banco Nacional de Habitação
PNH	Plano Nacional de Habitação
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PlanHab	Plano Nacional de Habitação
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
TCPO	Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
R\$	Reais
CO ₂	Dióxido de carbono
KgCO ₂ eq	Quilograma de dióxido de carbono equivalente
MJ	Mega Joules
U	Transmitância térmica
CT	Capacidade Térmica
r	Massa aparente
l	Condutividade térmica
c	Calor específico
dB	Decibel
Rw	Índice de redução sonora ponderado
LSF	<i>Light Steel Frame</i>
OSB	Oriented Strand Board
CO	Monóxido de carbono
ICE	<i>Inventory of Carbon & Energy</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
WLF	<i>Wood Light Framing</i>
IFBQ	Instituto Falcão Bauer de Qualidade
DnT,w	Diferença padronizada de nível ponderada
D2m, nT, w	Diferença padronizada de nível ponderada a 2 m
INCC	Índice Nacional da Construção Civil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Problema de Pesquisa.....	15
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo Principal.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3 Justificativa.....	16
1.4 Apresentação do trabalho.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Déficit habitacional brasileiro.....	18
2.2 Programa Minha Casa Minha Vida.....	21
2.3 Métodos Construtivos.....	23
2.3.1 Alvenaria.....	26
2.3.1.1 Componentes usados na alvenaria.....	26
2.3.1.2 Custo e Produtividade.....	26
2.3.1.3 Impacto Ambiental.....	28
2.3.1.4 Conforto Térmico e Acústico.....	34
2.3.2 <i>Steel Framing</i>	37
2.3.2.1 Componentes usados no <i>steel framing</i>	38
2.3.2.2 Custo e Produtividade.....	39
2.3.2.3 Impacto Ambiental.....	42
2.3.2.4 Conforto Térmico e Acústico.....	53
2.3.3 <i>Wood Framing</i>	58
2.3.3.1 Componentes usados no <i>wood framing</i>	58
2.3.3.2 Custo e Produtividade.....	60
2.3.3.3 Impacto Ambiental.....	62
2.3.3.4 Conforto Térmico e Acústico.....	65
2.4 Norma de Desempenho NBR 15.575.....	66
2.4.1 Desempenho Térmico.....	67
2.4.2 Desempenho Acústico.....	70
3. METODOLOGIA.....	74
3.1 Caracterização da Pesquisa.....	74
3.2 Procedimentos da Pesquisa.....	74
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	79
4.1 Avaliação de desempenho segundo a NBR 15.575 – 4.....	79
4.1.1 Desempenho térmico e acústico da alvenaria.....	79

4.1.2 Desempenho térmico e acústico do <i>steel framing</i>	83
4.1.3 Desempenho térmico e acústico do <i>wood framing</i>	91
4.1.4 Resumo comparativo entre os sistemas com base nos critérios da NBR 15.575	96
4.2 Comparação dos sistemas construtivos.....	98
4.2.1 Custo e produtividade	98
4.2.1.1 Custo e produtividade da alvenaria.....	99
4.2.1.2 Custo e produtividade do <i>steel framing</i>	100
4.2.1.3 Custo e produtividade do <i>wood framing</i>	104
4.2.1.4 Comparativo de custo e produtividade	108
4.2.2 Impacto Ambiental – Energia Embutida e emissões de kgCO ₂ eq	115
4.2.2.1 Impacto ambiental gerado pela alvenaria.....	115
4.2.2.2 Impacto ambiental gerado pelo <i>steel framing</i>	117
4.2.2.3 Impacto ambiental gerado pelo <i>wood framing</i>	121
4.2.2.4 Comparativo de impacto ambiental.....	123
4.2.3 Desempenho Térmico – Transmitância Térmica e Capacidade Térmica	128
4.2.4. Desempenho Acústico – Índice de Redução sonora.....	133
4.2.5 Resumo comparativo entre os sistemas com base nos critérios discutidos.....	134
4.3 Conclusão sobre os resultados apresentados.....	135
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	137
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.	138
REFERÊNCIAS	140
APÊNDICES.....	148
APÊNDICE A – Cálculos dos valores de transmitância e capacidade térmica do painel em alvenaria, baseados no método da NBR 15.220-2.....	148
APÊNDICE C – Cálculos do valor da redução sonora resultante da camada de ar gerada pela distância entre os montantes e pelo material destes.....	161
APÊNDICE D – Cálculos dos valores de transmitância e capacidade térmica do painel em <i>wood framing</i> , baseados no método da NBR 15.220-2.....	165
ANEXOS.....	169
ANEXO A – Orçamento de insumos para o painel em LSF na empresa RUDEGON.....	169
ANEXO B – Tabela dos padrões de desempenho das paredes drywall mais comuns (LUCA, 2013)	170
ANEXO C – Exemplo de cálculo de correção de preços no website Calculador.....	171

1. INTRODUÇÃO

A falta de moradias no Brasil, ou déficit habitacional, é um problema que existe no país desde o início do século XX e vem se agravando até os dias atuais. O governo brasileiro identificou este problema tardiamente e as soluções propostas durante o século XX não conseguiram diminuí-lo, e ele continua a aumentar a cada ano. Um dos problemas constatados ao longo dos anos e das soluções propostas é que o sistema construtivo utilizado tradicionalmente no Brasil, a alvenaria, é um método artesanal que demora muito a ser construído.

Nos últimos anos, desde a criação do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) em 2009, a produção de unidades habitacionais de interesse social e de baixo custo está em crescimento. Esse tipo de construção é, usualmente, realizado em larga escala, com grande repetição de tipologias. Desde o surgimento do PMCMV diversos tipos de sistemas construtivos já foram empregados visando à melhor eficiência do sistema e a construção de um produto final de melhor qualidade.

Neste cenário, é aprovada em 2013 a norma de desempenho NBR 15.575. Por meio do estabelecimento de requisitos e critérios de desempenho referentes a diversos aspectos da qualidade da edificação, esta norma visa melhorar a qualidade das habitações brasileiras.

Este trabalho busca analisar e comparar os principais métodos construtivos utilizados na produção de habitações de interesse social em grande quantidade pelo PMCMV (alvenaria, *steel framing* e *wood framing*); por meio de parâmetros considerados de grande importância para a adequação ao PMCMV, ao contexto atual da construção civil e à norma de desempenho NBR 15.575.

1.1 Problema de Pesquisa

No contexto atual do crescimento da produção de unidades habitacionais voltada ao atendimento do PMCMV e com a aprovação da norma de desempenho NBR 15.575; existe a necessidade de avaliar os métodos construtivos utilizados atualmente de forma a verificar qual deles é mais adequado para a construção de habitações de interesse social em grande quantidade pelo PMCMV.

1.2 Objetivos

Este tópico apresenta os objetivos principais e específicos desta pesquisa.

1.2.1 Objetivo Principal

Comparar os sistemas construtivos alvenaria, *steel framing* e *wood framing* por meio de parâmetros (custo, impacto ambiental gerado e conforto térmico e acústico) e segundo os critérios da NBR 15.575-4; para verificar qual é o mais adequado para a construção de unidades habitacionais de interesse social em grande quantidade pelo PMCMV.

1.2.2 Objetivos Específicos

Comparar os sistemas construtivos alvenaria, *steel framing* e *wood framing*, para verificar se eles atendem a norma de desempenho NBR 15.575-4 e identificar o que apresentar melhor desempenho em cada parâmetro avaliado (custo, impacto ambiental gerado e conforto térmico e acústico).

1.3 Justificativa

No contexto atual brasileiro, de um grande déficit habitacional, e do PMCMV como principal ferramenta do governo para combater este problema; a verificação de qual desses sistemas construtivos é o mais adequado na construção de unidades habitacionais de interesse social em grande quantidade é de grande importância; visto que permite a escolha de um método construtivo com base em parâmetros de comparação de grande relevância para o atendimento ao PMCMV e à norma de desempenho NBR 15.575.

1.4 Apresentação do trabalho

Esta pesquisa é estruturada em cinco capítulos que correspondem à metodologia aplicada:

- No Capítulo 1 o tema é apresentado por meio da descrição do contexto no qual ele se insere; então é apresentado o problema que a pesquisa se propõe a responder seguida dos seus objetivos e justificativa;
- O Capítulo 2 trata da revisão bibliográfica, na qual é apresentada a contextualização detalhada do problema a ser estudado, seguida da apresentação do uso atual dos sistemas construtivos e dos parâmetros que serão usados para comparação. Então, discorre-se sobre cada método construtivo, apresentando os valores a serem utilizados para cada parâmetro com base nas referências apresentadas. Finalmente, trata-se da norma de desempenho, apresentando os seus requisitos e critérios considerados na pesquisa;
- No Capítulo 3 apresenta-se a metodologia empregada para a elaboração desta pesquisa, caracterizando os métodos comparativos para a obtenção dos resultados;
- No Capítulo 4 faz-se, primeiramente, a avaliação dos sistemas construtivos com base na norma de desempenho NBR 15.575. Depois, os métodos construtivos são comparados entre si com base nos parâmetros estabelecidos; para que então sejam apresentadas as conclusões referentes a cada avaliação;
- No Capítulo 5, os resultados são discutidos, é apresentada a opinião do autor e as sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Déficit habitacional brasileiro

O déficit de habitações no Brasil começou a chamar atenção como problema no fim do século XIX e início do século XX, e continua crescendo até os dias atuais.

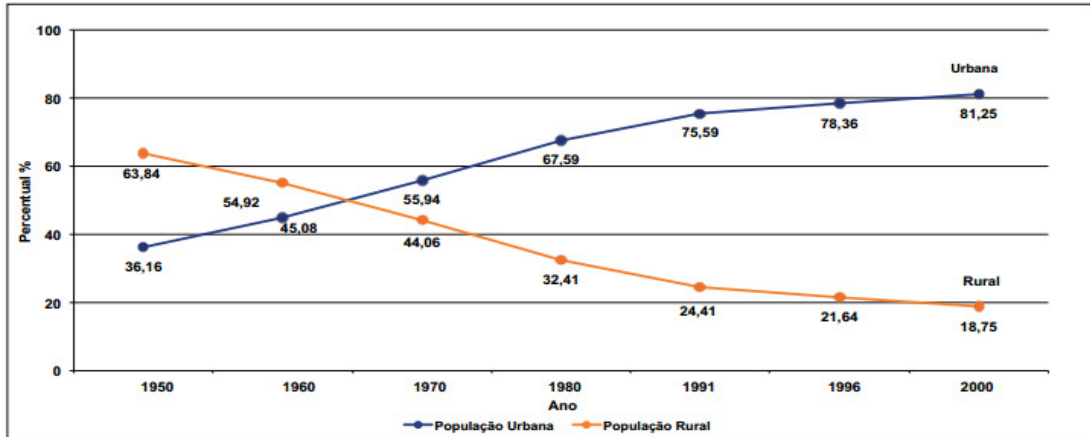
Para a análise da progressão desse problema ao longo do século XX e das medidas do governo para enfrentá-lo foi tomada como base a pesquisa desenvolvida por Nascimento e Braga (2009). Esta pesquisa descreve o déficit habitacional brasileiro durante o século XX por meio de referências de publicações ao longo deste período.

O início do século XX foi marcado pelo aumento da população de ex-escravos e imigrantes nas grandes cidades brasileiras. Esse crescimento não era previsto pelos serviços públicos, que passaram a ficar sobrecarregados e com menor eficiência. É a partir desse processo que surge um maior número de construções provisórias e de ocupações de lotes públicos e privados sem uso. O setor imobiliário da época percebeu essa demanda e começou a produção de alojamentos de baixa qualidade (cortiços). O governo enfrentou essa questão de outra maneira, sob o pretexto de políticas higienistas, demolia as instalações irregulares e afastava os pobres das áreas centrais. Em 1920, foi criada a empresa construtora nacional, que podia construir habitações de aluguel para operários e proletários (NASCIMENTO e BRAGA, 2009 apud ARRUDA, 2004). A imprensa da época também já classificava a falta de habitações como um problema a ser enfrentado citando “fileira dos que já vinham lutando contra a falta de moradia” (NASCIMENTO e BRAGA, 2009 apud A Casa, 1927).

Já na década de 30, outro fator colaborou com o aumento do déficit de moradias. O governo começou a incentivar a industrialização do país, gerando um movimento migratório do interior para as cidades. Assim, o problema da habitação passou a chamar mais atenção do governo, os operários das indústrias precisavam ter onde morar. O governo, então, incentivou a produção de pesquisas para solucionar essa questão. As propostas baseavam-se principalmente em questões técnicas, higiênicas e morais. Pode-se observar pelo Gráfico 01, a diminuição da

população rural e o aumento da urbana, o que pode ser interpretado como reflexo das políticas iniciadas na década de 1930.

Gráfico 1: População urbana e rural entre 1950 e 2000



Fonte: CAIXA, 2012

No período do pós-guerra até 1964 o déficit habitacional começa a ser mensurado, mas o tamanho do país gerava uma dificuldade de produzir uma estatística condizente com a realidade. Na década de 60, as estatísticas apresentavam números de 1,2 milhão (NASCIMENTO e BRAGA, 2009 apud “Idéias e programas em favor da habitação econômica”, Habitat, 1956) até seis ou sete milhões (NASCIMENTO e BRAGA, 2009 apud “Ainda a reforma habitacional”, IAB, 1964). A questão da falta de habitações também foi percebida pelo mercado imobiliário. Surge nesta época o incorporador imobiliário e a lei do condomínio, autorizando os incorporadores a dividir terrenos e verticalizar seus empreendimentos. No entanto, esses empreendimentos tinham foco apenas no lucro, oferecendo o menor espaço com o maior preço possível. “Fica claro que o objetivo das iniciativas públicas não foi atender à demanda habitacional” (NASCIMENTO e BRAGA, 2009), elas foram criadas para expandir o setor da construção, por fatores econômicos.

O Instituto dos Arquitetos do Brasil (IAB) já apresentava preocupação com a questão, dizendo que o problema habitacional brasileiro não poderia depender apenas do investidor privado “porque os investidores particulares naturalmente agiam à base do lucro” (NASCIMENTO e BRAGA, 2009 apud “O problema da habitação no Brasil”, IAB, 1963). O setor imobiliário voltou-se, então, ao mercado daqueles que tinham recursos, agravando a situação da falta de habitações no país.

O estado continuava omissivo, e grande parte das propostas para a solução do problema na época eram direcionadas para soluções técnicas, esquecendo de considerar a “capacidade aquisitiva bem como os hábitos e práticas culturais dos trabalhadores”. Enquanto o déficit aumentava, crescia o número de subhabitações nas proximidades das cidades. Mesmo com diversas publicações alertando sobre a ineficiência das políticas governamentais e sobre o crescimento do déficit habitacional” dois movimentos da produção habitacional se firmaram: “a verticalização, legislada pelo Estado, e a periferização, preterida pelo Estado. ” (NASCIMENTO e BRAGA, 2009).

Em 1964, com o crescimento das favelas, foi criado o BNH (Banco Nacional de Habitação) para incentivar a construção de habitações de interesse social. Mas junto com o investimento no BNH foram criados incentivos para as empresas privadas; o resultado disso foi o atendimento aos interesses dos investidores, criando um mercado de consumo de moradias. Além disso, o BNH tinha um foco técnico, preocupado apenas com a racionalização e construção de moradias em larga escala; mas não havia preocupações sociais nem econômicas. Assim, apenas 33,5% das 4,5 milhões de residências construídas foram destinadas aos setores populares (NASCIMENTO e BRAGA, 2009 apud FARAH, 1996).

Neste cenário o déficit habitacional brasileiro chegou a ser apresentado na década de 80 em 10 milhões de unidades (NASCIMENTO e BRAGA, 2009 apud “Saída para a crise habitacional? ”, AU, 1987). O número de subhabitações aumentava rapidamente. Em São Paulo entre 1973 e 1987, a população morando em favelas aumentou em 1000% (NASCIMENTO e BRAGA, 2009), 22% das moradias da cidade eram autoconstruídas (NASCIMENTO e BRAGA, 2009 apud FARAH, 1996, p.209).

No ano 2000 o déficit habitacional era de 7,2 milhões de unidades (BRASIL, 2004). Em 2003 foi criado o Ministério das Cidades e apresentado o Plano Nacional de Habitação. Neste cenário começaram as políticas de habitação que levaram a criação do PMCMV.

2.2 Programa Minha Casa Minha Vida

O Programa Minha Casa Minha Vida é o resultado atual de uma política voltada para cobrir o déficit habitacional iniciada no início da década de 2000.

Quanto ao PMCMV, tomou-se como referência o artigo de Bonduki (2009) que, envolvido no desenvolvimento das políticas habitacionais do governo desde o início dos anos 2000, traz no artigo uma descrição dos programas que levaram à criação do PMCMV. Da mesma maneira, para complementar informações, também foram utilizadas outras referências.

No ano 2000, tem início o Projeto Moradia, um plano com o objetivo de apresentar propostas para reduzir a demanda por moradias; aplicado não apenas pelo governo federal, mas focado em parcerias com outras esferas de governo e também com o setor privado. Este projeto traz as bases dos planos efetivados nos anos seguintes, como utilizar o Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS) com foco na baixa renda e a criação do Ministério das Cidades.

Em 2003 foi criado o Ministério das Cidades, com quatro secretarias (habitação, saneamento, mobilidade urbana e programas urbanos); e junto a ele o Plano Nacional de Habitação (PNH). Mas o governo não conseguiu obter subsídios para que o PNH funcionasse corretamente, que continuava, então, dependendo da Caixa Econômica Federal.

No entanto, em 2006, o governo instalou o Fundo Nacional de Habitação, comprometendo-se a investir “R\$ 1 bilhão por ano para subsidiar os programas habitacionais” (BONDUKI, 2009) permitindo o melhor funcionamento do programa. Ainda em 2006 foi ampliado o acesso aos recursos do FGTS, o que permitiu que o plano atingisse de forma mais efetiva a população de menor renda.

No ano de 2007 foi lançado o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que incluía um programa de Urbanização de Assentamentos Precários, fornecendo mais recursos para os planos sociais do governo. Nesse período o Brasil estava com o mercado da construção em grande aceleração. As empresas ligadas ao setor estavam crescendo e havia uma grande quantidade de investimentos externos; o que também contribuiu para elevar a oferta de habitações no país.

Mas, em 2008, a crise econômica internacional afetou esse crescimento, “As empresas do setor têm uma queda vertiginosa em suas ações (caíram para um

décimo do valor de poucos meses antes) ” (FIX, ARANTES, 2009). Para evitar o aumento do desemprego no país, o governo decidiu investir no setor habitacional. Neste cenário é criado o Plano Nacional de Habitação (PlanHab).

“O Plano Nacional de Habitação (...) objetiva garantir um milhão de moradias para os brasileiros que tem uma renda de até dez salários mínimos”, para isso o governo liberou recursos “que somam R\$ 34 bilhões de reais” (HIRATA,2011).

Com a iminência da crise é criado o Programa Minha Casa Minha Vida, para implementar os objetivos do Planhab. Mas, ao contrário do Planhab, o PMCMV estabelece o salário mínimo como critério de separação das faixas de renda, o que favoreceu a classe média e o setor privado; deslocando recursos do setor que tem o maior déficit habitacional (o da menor faixa de renda).

A divisão de metas do PMCMV resultou numa redução do déficit acumulado que privilegiou as faixas maiores de renda (93 % para a segunda faixa de renda e 95% para a terceira) em detrimento da faixa de renda mais baixa, apenas 6% do acumulado (Tabela 1). Isso mostra que o foco do programa não estava na faixa de renda com o maior déficit acumulado até então.

Tabela 1: Distribuição do déficit por faixa de renda.

FAIXA DE RENDA (R\$)	DÉFICIT ACUMULADO (%)	METAS DO PMCMV (%)	DÉFICIT ACUMULADO (valor absoluto, em mil)	METAS DO PMCMV (valor absoluto, em mil)	DÉFICIT ACUMULADO ATENDIDO (%)
Até 1.395	91	40	6.550	400	6
1.395 a 2.790	6	40	430	400	93
2.790 a 4.600	3	20	210	200	95
	100	100	7.200	1.000	14

Fonte: BONDUKI, 2009.

Atualmente o PMCMV está na sua segunda fase, que é a de atingir dois milhões de unidades habitacionais até o fim de 2014. Para que este objetivo seja atingido e para que este programa, ou os próximos planos habitacionais, consigam aumentar suas metas e diminuir o déficit habitacional brasileiro; é necessário que o setor da construção civil seja capaz de acompanhar esta demanda. Para tanto, é importante que os métodos construtivos sejam eficientes, criando unidades com qualidade, conforto e bom custo-benefício.

2.3 Métodos Construtivos

Com base no PMCMV, muitas moradias foram construídas em diversas partes do Brasil e vários sistemas construtivos foram empregados.

O método construtivo em alvenaria é o mais utilizado no país, e também no PMCMV. Um exemplo disso é o Residencial Viver Melhor, em Manaus. Este é o maior empreendimento do PMCMV, destinado à faixa 01, tem 8.895 unidades habitacionais. (BRASIL, 2014).

O *steel framing* também já foi utilizado em habitações de interesse social no Brasil, no projeto Vila Dignidade, no estado de São Paulo. Este projeto se encaixa também com o padrão do PMCMV. O complexo de 22 casas, na cidade de Avaré, é composto por residências de 42 m², com custo unitário de R\$ 44.300,00. Este é “um programa habitacional voltado ao atendimento de idosos que visa à construção de moradias com áreas de convivência social em pequenas vilas” (GARCIA et al., 2012). (Figura 01).

Figura 1: Vila Dignidade em Avaré, São Paulo.



Fonte: GARCIA et al., 2012 apud Revista Techne, 2009

Quanto ao método em *wood framing* um exemplo é o Residencial Haragano em Pelotas, Rio Grande do Sul. Este empreendimento faz parte do PMCMV na faixa 01, de menor renda, e é o primeiro construído no Brasil com esse sistema construtivo (VON LAER et al., 2013 apud CEF, 2013). O processo de construção é parcialmente industrializado, os painéis são produzidos na fábrica e depois levados para o canteiro de obras onde são montados (Figura 02). O Quadro 01 mostra os dados da obra segundo Von Laer et al. (2013).

Figura 2: Residencial Haragano no canteiro de obras e na fábrica



Fonte: VON LAER et al., 2013 apud ROBERTO FERREIRA COM. E CONSTRUTORA LTDA, 2013.

Quadro 1: Dados sobre o Residencial Haragano.

Empreendimento	Residencial Haragano
Número de residências	270 sobrados e 10 casas adaptadas para deficientes físicos
Área construída	44m ² por unidade
Espécie da madeira	Pinus tratados em autoclave com CCA (cloro, cromo e arsênio)
Paredes	Painel sanduíche (figura 3)
Acabamento interno das paredes e forro	Placas de gesso Azulejo
Acabamento externo - paredes	Placas cimentícias texturizadas
Piso	Piso frio cerâmico (térreo) Piso laminado (1º andar)
Isolante térmico-acústico	Manta de lã de vidro (nas paredes geminadas)
Prevenção contra Propagação de incêndio	Manta de lã de rocha (nas juntas de dilatação, a cada 6 sobrados)
Cobertura	Tesouras metálicas; telhas de cerâmicas;
Fundação	Micro-estacas
Custo /unidade	R\$ 27.000,00 (CEF, 2013)
Produtividade	1,4 sobrados/dia no galpão 2,5 sobrados/dia - canteiro

Fonte: VON LAER et al., 2013.

Para a comparação desses sistemas construtivos foram definidos critérios que possibilitam identificar qual o sistema adequado para a construção de habitações de interesse social em série pelo PMCMV.

O primeiro parâmetro a ser considerado é o custo, pois a realização de casas em série no PMCMV depende do valor necessário para a construção das edificações. Um sistema construtivo de custo muito alto inviabiliza a execução de casas de interesse social. Mas, como o objetivo desta pesquisa é verificar qual dos sistemas avaliados é o mais adequado para a construção de várias casas, deve-se também considerar a produtividade. Um método construtivo pode ter baixo custo de produção, mas se a sua montagem e construção exigirem de muitas horas

trabalhadas, o sistema pode tornar-se mais oneroso que os outros. Um maior tempo de obra gera aumento das despesas indiretas e demora na entrega do produto final aos futuros moradores (o que implica também em outros custos).

O segundo parâmetro a ser analisado é o impacto ambiental. Como os métodos construtivos serão avaliados num contexto de construção de casas em grande quantidade, é importante considerar o como eles afetam o meio ambiente. Deve-se selecionar o sistema construtivo de menor impacto ambiental, de modo que a construção de casas em série e em grande quantidade impacte da maneira mais branda possível o meio ambiente.

O último parâmetro a ser avaliado se divide em dois critérios: o desempenho térmico e o desempenho acústico. Estes critérios são relativos ao conforto do usuário na edificação e ao atendimento à norma de desempenho NBR 15.575-4. Um sistema construtivo com bom desempenho térmico garante mais conforto ao usuário, pois o ambiente interno da habitação não fica sujeito às variações de temperatura do ambiente externo; a residência retém melhor o calor nos períodos mais frios e não o absorve tanto naqueles mais quentes. Quanto ao desempenho acústico, um método construtivo com valores de isolamento acústico adequados protege os ambientes dos ruídos provenientes do ambiente externo e também dos outros cômodos da edificação, garantindo mais conforto ao usuário.

Estes itens não contemplam todos os fatores de uma construção em série, mas podem ser considerados como fatores determinantes para a escolha de um sistema construtivo para a construção de habitações em série pelo PMCMV; pois contemplam diversos fatores importantes para a realização adequada de grande quantidade de casas e para garantir um produto final de qualidade ao usuário.

Portanto, estes serão os parâmetros avaliados (custo, impacto ambiental, desempenho térmico e desempenho acústico) para a comparação dos sistemas construtivos descritos. Deste modo, com os resultados desta comparação, será verificado qual sistema construtivo é mais adequado para a construção de unidades habitacionais de interesse social em grande quantidade no PMCMV.

2.3.1 Alvenaria

A alvenaria pode ser entendida como um componente construído em obra, a partir da união entre tijolos ou blocos com juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso. (SABBATINI, 1984).

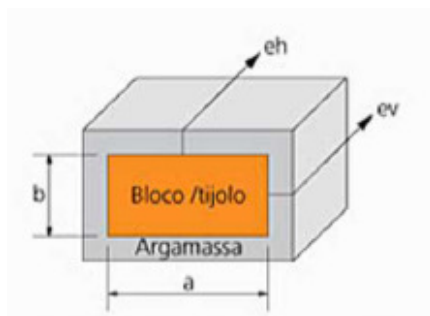
A alvenaria é utilizada como método construtivo há mais de 2.000 anos, em edificações que permanecem em pé até os dias de hoje. Portanto ela é considerada como um material de grande durabilidade, com grande “aceitação pelo homem” (DUARTE, 1999).

Atualmente, no Brasil, a alvenaria é utilizada, na maior parte dos casos, como vedação para uma estrutura de concreto; sem função estrutural ela é dimensionada para suportar apenas seu peso próprio e seus revestimentos. Este sistema é executado *in loco* e é caracterizado por grandes desperdícios, pois seu processo de produção não é padronizado e não há planejamento prévio à execução.

2.3.1.1 Componentes usados na alvenaria

Para este estudo será considerada a alvenaria com tijolos cerâmicos furados, de tamanho 9x14x19cm, com argamassa de conexão composta por cimento Portland, cal, areia e água. Por ser considerada um dos tipos de parede usuais desse sistema construtivo no Brasil.

Figura 3: Explicação da expressão relativa ao consumo de componentes de alvenaria.



Fonte: TCPO, 2010.

2.3.1.2 Custo e Produtividade

Para a obtenção do custo do metro quadrado da alvenaria utilizada neste estudo foi utilizada a tabela de custos em vigência da Paraná Edificações, baseada

na tabela SINAPI (elaborada pela CAIXA e IBGE), aprovada pela resolução conjunta SEIL/PRED N° 004/2014. A partir desta tabela foram obtidos os custos de cada insumo necessário para a composição da alvenaria conforme a Tabela 02.

Tabela 2: Custos de insumos para a produção de um metro quadrado alvenaria.

Código padrão	Código	Descrição	Unid	Valor	Data Cotação
50369	7267	BLOCO CERAMICO VEDAÇÃO 6 FUROS - 9 X 14 X 19 CM	UN	0,41	01/06/2013
47266	1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	KG	0,44	01/06/2013
47007	1106	CAL HIDRATADA, DE 1A. QUALIDADE, PARA ARGAMASSA	KG	0,27	01/06/2013
46547	0370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	M3	57,50	01/06/2013

Fonte: PARANÁ, 2014.

Quanto aos fatores de produtividade e custo final para este sistema construtivo também foram obtidos dados na tabela de custos em vigência da Paraná Edificações. O Quadro 02 mostra a quantidade de insumos necessários para a produção e o preço final. A Figura 04 mostra a produtividade da mão de obra necessária para construção de uma parede de alvenaria segundo o TCPO.

Quadro 2: Quantitativo e custos de insumos para a produção de um metro quadrado alvenaria.

ASSENTAMENTO DE TIJOLOS para 1 m²

Código padrão	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Valor unitário	Quantidade	Valor total
46270	4750	PEDREIRO	H	11,84	1,2000000	14,21
46282	6111	SERVENTE	H	8,39	1,2000000	10,07
50369	7267	BLOCO CERAMICO VEDAÇÃO 6 FUROS - 9 X 14 X 19 CM	UN	0,41	31,0000000	12,71
54303	73449	ARGAMASSA CIMENTO/AREIA 1:4 - PREPARO MANUAL - P	M3	314,42	0,0140000	4,40

ARGAMASSA DE REVESTIMENTO e=2,5cm para 1 m²

Código padrão	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Valor unitário	Quantidade	Valor total
46270	4750	PEDREIRO	H	11,84	0,7000000	8,29
46282	6111	SERVENTE	H	8,39	0,7000000	5,87
54307	73546	ARGAMASSA TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR), PREPARO MANUAL	M3	283,04	0,0250000	7,08

INSUMOS PARA COMPOSIÇÃO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO 1:4 (CIMENTO/AREIA) para 1 m³

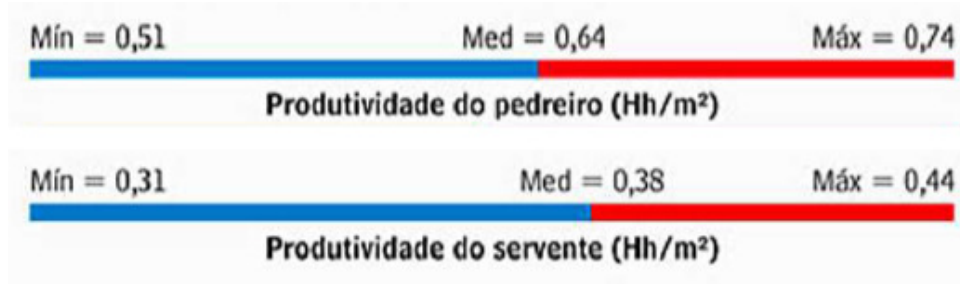
Código padrão	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Valor unitário	Quantidade	Valor total
46282	6111	SERVENTE	H	8,39	10,0000000	83,90
46547	0370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	M3	57,50	1,2160000	69,92
47266	1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	KG	0,44	365,0000000	160,60

INSUMOS PARA COMPOSIÇÃO DA ARGAMASSA 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA) para 1 m³

Código padrão	Código SINAPI	Descrição	Unidade	Valor unitário	Quantidade	Valor total
46282	6111	SERVENTE	H	8,39	10,0000000	83,90
46547	0370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	M3	57,50	1,2160000	69,92
47007	1106	CAL HIDRATADA, DE 1A. QUALIDADE, PARA ARGAMASSA	KG	0,27	182,0000000	49,14
47266	1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	KG	0,44	182,0000000	80,08

Fonte: PARANÁ, 2014. Editado pelo autor

Figura 4: Produtividade em horas homem por metro quadrado.



Fonte: TCPO, 2010.

Também, quanto aos fatores de produtividade, foram obtidos dados em Hass e Martins, que baseado em Domaraski e Fagiani (2009), mostra a produtividade relativa a cada insumo na produção de alvenaria conforme o Quadro 03.

Quadro 3: Produtividade em horas homem por insumo na alvenaria.

Descrição	homem hora/m ²
Alvenaria de tijolo cerâmico furado esp. nominal 10 cm	2,10
Chapisco	0,50
Emboço desempenado	1,71
Pintura em látex	0,85
Total (homem hora/m²)	5,16

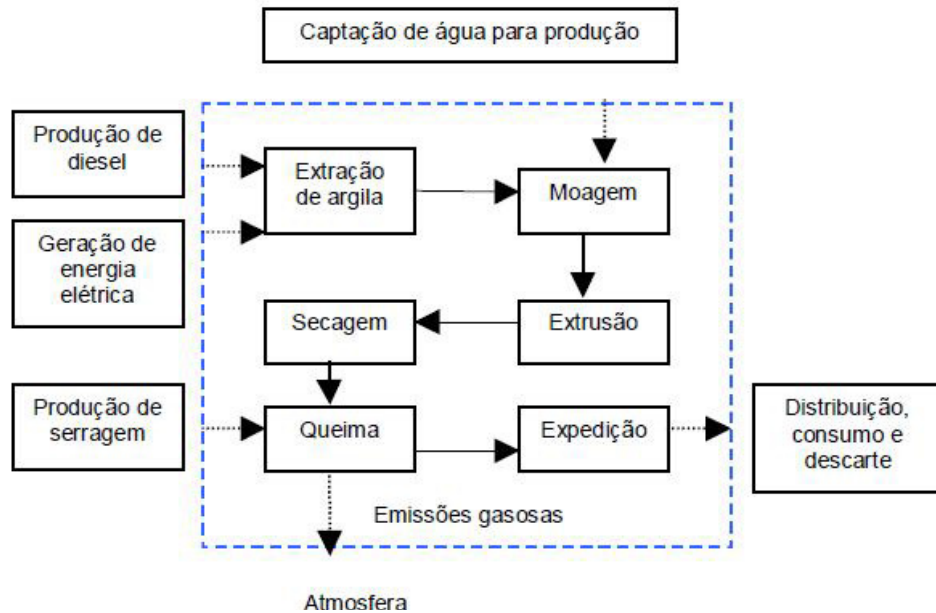
Fonte: TCPO, 2010.

2.3.1.3 Impacto Ambiental

Para avaliar o impacto ambiental gerado por um material é necessário separar os seus insumos verificando o impacto gerado por cada um deles.

O primeiro insumo a ser verificado na composição da alvenaria é o bloco cerâmico. O processo de produção deste bloco pode ser dividido em seis etapas principais (SOARES e PEREIRA, 2004) conforme a Figura 05.

Figura 5: Fluxograma da produção de tijolos.



Fonte: SOARES e PEREIRA, 2004, p.85.

Na produção do tijolo, os processos mais impactantes são a extração e a queima, embora o impacto gerado varie de acordo com o local de produção deste insumo. A extração é feita com máquinas de escavação e depois o material é levado em caminhões até as indústrias (SOARES e PEREIRA, 2004; ZAGANEL,2010). O que gera um grande impacto ambiental nos terrenos de extração e proximidades. Já a queima é realizada em fornos que chegam a temperaturas acima de 1000°C, isto é obtido através da queima de outros materiais, como a serragem, gerando um grande número de efluentes atmosféricos, como o CO, CO₂ e NO₂ (SOARES e PEREIRA, 2004).

Para efeitos de comparação, neste estudo serão considerados os valores de quilogramas de CO₂ equivalente emitidos (kgCO₂eq) pelos materiais, e também a sua energia embutida. Segundo Lobo (2010), o impacto ambiental gerado pelo tijolo de 9x14x19cm, com seis furos seria de 1,25 kgCO₂eq, e a energia embutida neste insumo é de 15,97 MJ, conforme a Tabela 03.

Tabela 3: Emissão de quilogramas de CO₂eq e Energia embutida do tijolo

APÊNDICE C - PLANILHA DE COMPOSIÇÃO DE SERVIÇOS DA APLICAÇÃO
FERNANDO HENRIQUE RODRIGUES LOBO

APOIO: UFPR, DPCCG, GOVERNO DO PARANÁ, Obras Públicas

PLANILHA DE ENERGIA EMBUTIDA E EMISSÃO EQUIVALENTE DE CO₂
BIBLIOTECA CIDADÃ DE PRANCHITA DATA: 2010

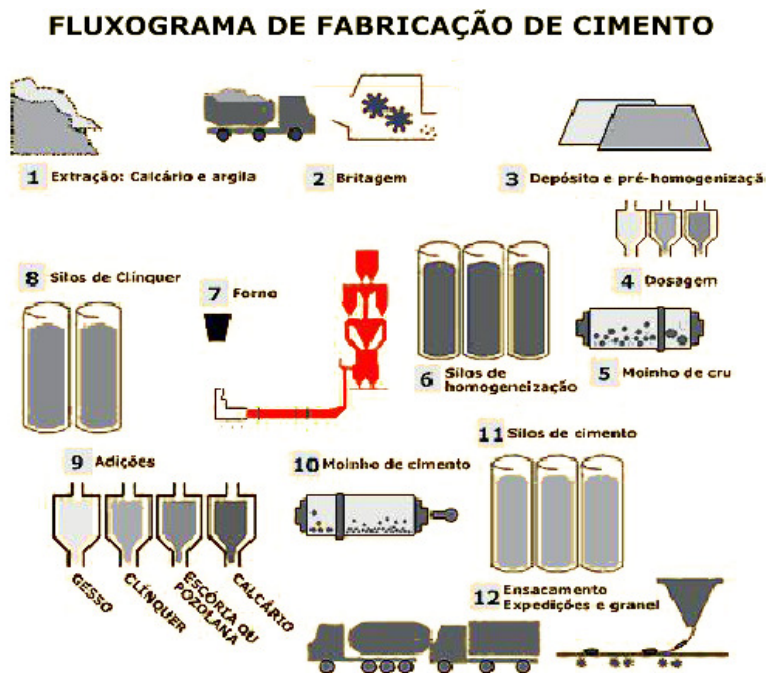
LEVANTADO POR: FERNANDO H. R. LOBO
ORGANIZADO POR: FERNANDO H. R. LOBO

CÓDIGO	ITEM	Discriminação de Serviços	Unid	Quantid	EE(MJ)	CO ₂ eq(Kg)	TOTAL EE (MJ)	TOTAL CO ₂ eq(KG)
4 ALVENARIA								
120110	4.1	Alv.tij.(9x14x19) 9cm.arg.mista(1:4+130Kg cim/m3)	m2	99,02				
	702	Tijolo comum de 6 furos (9x14x19cm)	pc	33,333	15,97	1,25	532,32801	41,66625
	5017	Pedreiro	h	1,02			0	0
	5022	Servente	h	1,02			0	0
	200016	Preparo arg. mista 1:4 +130Kg de cim/m3 c/ beton.	m3	0,0102	658,8824	260,79943	6,72060048	2,660154186
		Total Unitário do Serviço					539,04	44,32
		Total Serviço					53375,74	4388,57

Fonte: LOBO, 2010. Editado pelo autor.

O segundo insumo a ser considerado na fabricação da alvenaria é o cimento Portland. “O cimento é um material existente na forma de um pó fino, com dimensões médias da ordem dos 50 μ m7(...) O cimento é a mistura de clínquer e gesso” (DEEKE, 2009). A Figura 06 mostra o processo de produção do cimento Portland de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Figura 6: Processos para a produção do cimento Portland



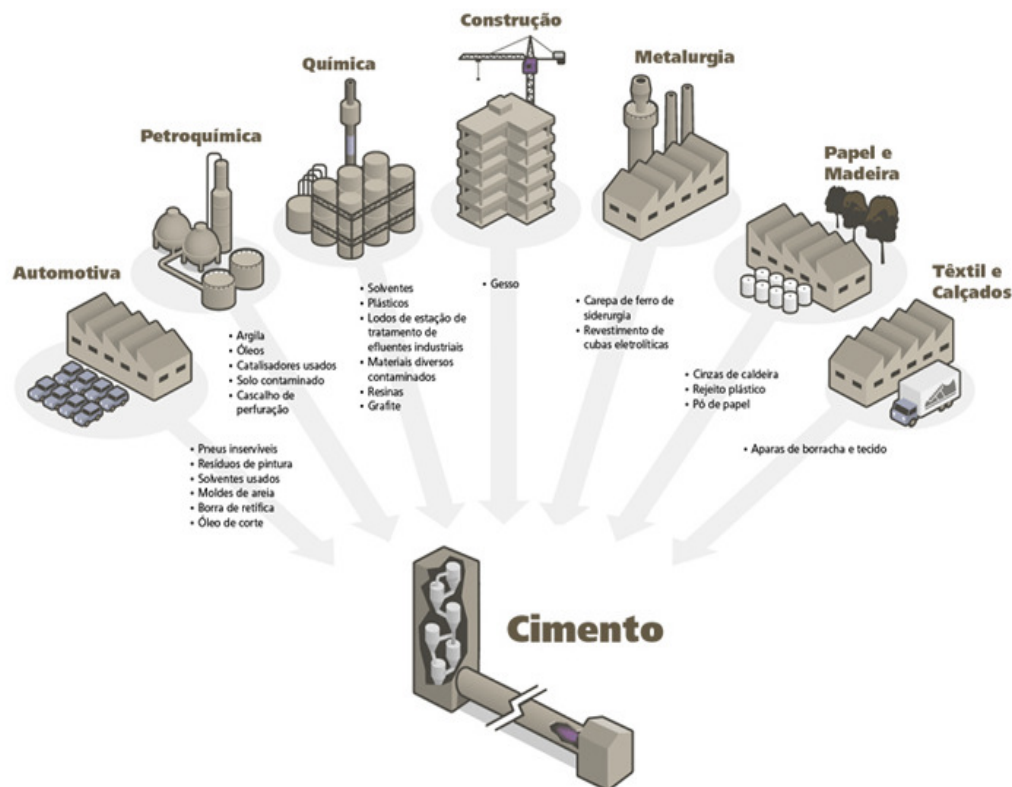
Fonte: ABCP. Editado pelo autor

Assim como acontece na produção de tijolos, a extração e a queima na produção de cimento geram grandes impactos ambientais. A extração ocorre usualmente a céu aberto, em jazidas de calcário. Para o desmonte das rochas são usados explosivos, nesse processo também é extraída a argila (ABCP, 2014). Esse processo é muito impactante para o meio ambiente, já que muda o ecossistema

local; e cria uma grande quantidade de partículas em suspensão, por causa das explosões.

Para a produção do clínquer é necessário a colocação destes materiais rochosos em fornos, que chegam a temperaturas acima dos 1450°C (Votorantim, 2014). Neste processo são liberados na atmosfera gases derivados dos vários tipos de resíduos utilizados para a produção de calor no forno, como pode ser observado na Figura 07. No entanto, este processo de queima, embora libere diversos tipos de gases, evita a queima de combustíveis fósseis e ainda contribui para a eliminação de resíduos de várias origens. Também existe a preocupação em não queimar certos tipos de materiais, como: resíduos orgânicos, de serviços de saúde, substâncias organocloradas, agrotóxicos e explosivos; para evitar a geração de gases tóxicos como dioxinas e furanos (SANTOS, 2013).

Figura 7: Tipos de resíduos que podem ser utilizados para a produção de cimento Portland



Fonte: Votorantim. Editado pelo autor

Segundo Lobo (2010), o impacto ambiental gerado para produzir um quilograma de cimento é de 1,84 kgCO₂eq, e a energia embutida neste insumo é de 4,2 MJ, conforme a Tabela 04.

Tabela 4: Emissão de quilogramas de CO₂eq e Energia embutida do cimento.

APÊNDICE C - PLANILHA DE COMPOSIÇÃO DE SERVIÇOS DA APLICAÇÃO
FERNANDO HENRIQUE RODRIGUES LOBO

APOIO: UFRPR DPCCG GOVERNO DO PARANÁ

PLANILHA DE ENERGIA EMBUTIDA E EMISSÃO EQUIVALENTE DE CO₂
BIBLIOTECA CIDADÃ DE PRANCHITA DATA: 2010

LEVANTADO POR: FERNANDO H. R. LOBO
ORGANIZADO POR: FERNANDO H. R. LOBO

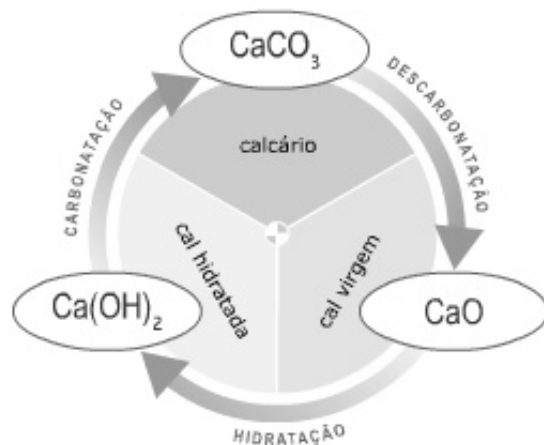
CÓDIGO	ITEM	Discriminação de Serviços	Unid	Quantid	EE(MJ)	CO ₂ eq(Kg)	TOTAL EE (MJ)	TOTAL CO ₂ eq(KG)
18		Cal hidratada	kg	6,0413	4,03	3,128602	24,346439	18,90082326
19		Cal virgem em pó	kg	3,64	0,1	0,077633	0,364	0,28258412
20		Cimento comum	kg	22,975	4,2	1,840696	96,495	42,2899906
25		Brita 1	m3	0,0123	220,5	15,5517	2,71215	0,19128591
26		Brita 2	m3	0,0486	217,5	15,34354	10,5705	0,745696044
29		Pedrisco	m3	0,007	225	15,87	1,575	0,11109
179		Viga de Pinho 3" X 3" de 3ª construção	m	1,44	1,68	0,116442	2,4192	0,16767648
230		Desmoldante para formas	l	0,162	86,13	5,0796	13,95306	0,8228952
278		Chapa de madeira resinada 1,10x2,20m # 12 mm	m2	0,36	0,54	0,031847	0,1944	0,01146492
582		Aço CA-50 Ø 6,30mm (1/4"), P=0,25kg/m	kg	1,7188	31	2,57	53,2828	4,417316

Fonte: LOBO, 2010. Editado pelo autor.

O terceiro insumo a ser considerado na alvenaria é a cal. A cal é utilizada na argamassa com o objetivo de “maior plasticidade à argamassa, permitindo melhor trabalhabilidade e, conseqüentemente, maior produtividade na execução do revestimento” (SILVA, 2006 apud RAGO & CINCOTTO, 1999).

A cal é obtida a partir da extração de rochas calcárias. Depois, para a produção da cal virgem, é necessário que este material seja desidratado por meio do seu aquecimento em fornos (Figura 08). Assim como com os insumos anteriores estes processos causam grande impacto ambiental, seja pela alteração do ecossistema ou pela emissão de gases. Segundo Condeixa (2013), a indústria da cal está entre as mais poluidoras do mundo, devido à grande quantidade de gases emitidos. Isto se deve ao fato que, para a geração de energia nos fornos, são usados combustíveis fósseis: coque de petróleo (30%), gás natural (20%), lenha (20%), óleo combustível (20%) e carvão (10%) (CONDEIXA, 2013 apud MME, 2009).

Figura 8: Esquema da produção de cal.




Fonte: ICAL, 2010.

Em Lobo (2010), a produção de um quilograma de cal hidratada gera uma emissão de 3,13 kgCO₂eq, e a energia embutida neste processo é de 4,03 MJ, conforme a Tabela 05.

Tabela 5: Emissão de quilogramas de CO₂eq e Energia embutida da cal.

APÊNDICE C - PLANILHA DE COMPOSIÇÃO DE SERVIÇOS DA APLICAÇÃO
FERNANDO HENRIQUE RODRIGUES LOBO

APOIO: 

PLANILHA DE ENERGIA EMBUTIDA E EMISSÃO EQUIVALENTE DE CO₂ DATA: 2010

LEVANTADO POR: FERNANDO H. R. LOBO
ORGANIZADO POR: FERNANDO H. R. LOBO

CÓDIGO	ITEM	Discriminação de Serviços	Unid	Quantid	EE(MJ)	CO ₂ eq(Kg)	TOTAL EE (MJ)	TOTAL CO ₂ eq(KG)
18		Cal hidratada	kg	6,0413	4,03	3,128602	24,346439	18,90082326
19		Cal virgem em pó	kg	3,64	0,1	0,077633	0,364	0,28258412
20		Cimento comum	kg	22,975	4,2	1,840696	96,495	42,2899906
25		Brita 1	m3	0,0123	220,5	15,5517	2,71215	0,19128591
26		Brita 2	m3	0,0486	217,5	15,34354	10,5705	0,745696044
29		Pedrisco	m3	0,007	225	15,87	1,575	0,11109
179		Viga de Pinho 3" X 3" de 3ª construção	m	1,44	1,68	0,116442	2,4192	0,16767648
230		Desmoldante para formas	l	0,162	86,13	5,0796	13,95306	0,8228952
278		Chapa de madeira resinada 1,10x2,20m # 12 mm	m2	0,36	0,54	0,031847	0,1944	0,01146492
582		Aço CA-50 Ø 6,30mm (1/4"), P=0,25kg/m	kg	1,7188	31	2,57	53,2828	4,417316

Fonte: LOBO, 2010. Editado pelo autor.

O último insumo a ser avaliado na produção da alvenaria é a areia. A areia é um dos insumos em que a construção civil tem um grande impacto; “Edificações de todas as naturezas consomem 40% de areia, pedras e cascalhos (...) usada mundialmente por ano” (TAVARES, 2006; apud LIPPIAT, 1999). Outro grande problema no uso da areia em grande quantidade na construção civil é que esse material “é considerada recurso não renovável uma vez que para sua formação é necessário longo período de tempo” (SANTOS, 2013).

A produção da areia começa na extração deste material, que é usualmente “extraída de leitos de rios, provocando a retirada da cobertura vegetal e a degradação dos cursos d’água, causando grande impacto ao meio ambiente” (SILVA, 2006. apud ALMEIDA, 2000). Atualmente, com a pressão de órgãos ambientais, a extração de leitos de rios é coibida; ela ocorre, então, em locais já afetados, onde é escavada e enviada para ser classificada segundo a sua granulometria. Como os locais onde é permitida a retirada deste material estão ficando cada vez mais escassos, as novas fontes desta matéria prima ficam cada vez mais longe do mercado consumidor, aumentando a energia embutida deste material no transporte.

Em Lobo (2010) o impacto ambiental gerado por um metro cúbico de areia é de 6 kgCO₂eq, e a energia embutida neste processo é de 75,75 MJ, conforme a Tabela 06.

Tabela 6: Emissão de quilogramas de CO₂eq e Energia embutida da areia.

APÊNDICE A - EE E CO₂eq POR UNIDADE COMERCIAL DE INSUMO
FERNANDO HENRIQUE RODRIGUES LOBO

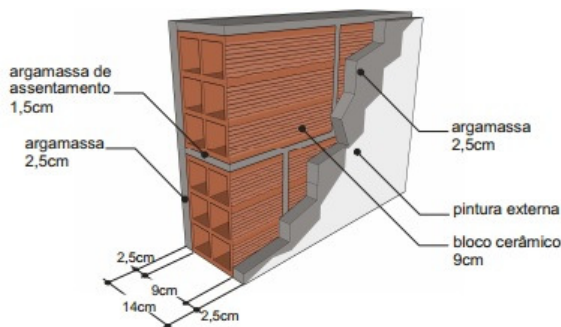
PLANILHA DE ENERGIA EMBUTIDA E EMISSÃO EQUIVALENTE DE CO₂
BIBLIOTECA CIDADÃ DE PRANCHITA DATA: 2010

Código	Descrição do Insumo	UD	Volume	Massa Esp.	Massa	EEMJ/kg	EE-MAT	Total CO ₂ eq
17	Areia úmida	m3	1	1515	1515,000	0,05	75,75	5,99811225
18	Cal hidratada	kg			1,000	4,03	4,03	3,12860184
19	Cal virgem em pó	kg			1,000	0,1	0,10	0,0776328
20	Cimento comum	kg			1,000	4,2	4,20	1,8406962
21	Cimento branco	kg			1,000	4,96	4,96	2,17377456
22	Cimento colante	kg			1,000	4,31	4,31	1,88890491

Fonte: LOBO, 2010. Editado pelo autor.

2.3.1.4 Conforto Térmico e Acústico

O conforto térmico e acústico de uma parede de alvenaria é baseado na composição da parede e seus revestimentos. Para este estudo será considerado um painel formado por tijolos cerâmicos de seis furos que tenha como revestimento externo uma camada de argamassa de 2,5 cm, internamente será considerado uma camada de argamassa de 2,5 cm; por ser considerado um dos tipos usuais de parede neste sistema construtivo. A Figura 09 expressa este tipo de parede.

Figura 9: Emissão de quilogramas de CO₂eq e Energia embutida da areia.

Fonte: LAMBERTS et al., 2010.

Para o isolamento térmico foi tomada como base o estudo realizado por Lamberts et al (2010) na UFSC. Segundo a pesquisa os valores de U (Transmitância térmica) e CT (Capacidade Térmica) para a parede estudada são, respectivamente: 2,59W/m²k e 145 KJ/m²k. Também foram utilizados os dados obtidos (Figura 10) por meio do *Programa para cálculo da resistência térmica, da transmitância térmica e do atraso térmico de elementos e componentes de alvenarias* (MOREIRA e LABAKI,

2003). Os resultados obtidos foram de 2,61W/m²k para a transmitância térmica, 176,94 KJ/m²k para a capacidade térmica e 3,49 horas de atraso térmico.

Figura 10: Resultados obtidos em cálculo no programa desenvolvido por Moreira e Labaki.

Propriedades Térmicas dos Materiais
Cálculo de Paredes segunda versão - fevereiro de 2003



Espeçura reboco externo: 0.025 m
Junta vertical: 0.01 m
Junta horizontal: 0.015 m
Espeçura reboco interno: 0.025 m
(valores em metros)

Materiais

	(ρ) Densid. Kg/m ³	(λ) Conduç. W/m ² °C	(c) Cal. esp. kJ/kg°C
Alvenaria			
Cerâmica	1600	0.9	0.92
Argamassa			
Comum	2000	1.15	1
Reboco interno			
Comum	2000	1.15	1
Reboco externo			
Comum	2000	1.15	1

Dimensões do Bloco

C Comprimento: 0.14 m
L Largura: 0.09 m
H Altura: 0.19 m
C' Comp. do furo: 0.03 m
L' Larg. do furo: 0.03 m

Total furos no comp.: 3 unid.
Total furos na larg.: 2 unid.

Opções de Ajuste
 1 2 3 4

Resultados Principais

Resistência Térmica Total 0.383 (m².K)/W <small>ver detalhes do cálculo</small>	Cap. Térmica da Parede 176.94 kJ/(m².K) <small>ver detalhes do cálculo</small>
Transmitância Térmica 2.61 W/(m².K) <small>ver detalhes do cálculo</small>	Atraso Térmico 3.49 horas <small>ver detalhes do cálculo</small>

Fonte: O autor baseado no *Programa para cálculo da resistência térmica, da transmitância térmica e do atraso térmico de elementos e componentes de alvenarias* (MOREIRA e LABAKI, 2003).

Ainda quanto ao conforto térmico foram levantados dados na segunda parte da NBR 15.220 de 2003 (Desempenho térmico de edificações: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações). Nesta norma são apresentados métodos de cálculo para os fatores de conforto térmico analisados nesta pesquisa.

No quadro 04 são apresentados os valores presentes na norma NBR 15.220-2 para os materiais utilizados no painel em alvenaria estudado.

Quadro 4: Valores de Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) para os materiais do painel de estudo em alvenaria.

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Argamassas			
Cerâmica	1800-2100	1,15	1,00
tijolos e telhas de barro	1300-1600	0,90	0,92

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a. Editado pelo autor.

Quanto ao isolamento acústico, foram tomados como base os estudos realizados por Ferreira (2004) e por Pinto (2011). Na primeira dissertação é avaliado o desempenho acústico de paredes em alvenaria em onze residências localizadas em Curitiba, mas este estudo considera também as aberturas dos cômodos. A segunda dissertação considera apenas as paredes e apresenta também comparativos segundo simulações computacionais.

Os resultados obtidos por Ferreira (2004) apresentam valores que variam entre 25 a 31dB de isolamento para a parede estudada, externa e interna; o autor ainda ressalta que estes valores poderiam chegar a 38dB, em uma simulação realizada, utilizando portas de padrão europeu, no software *Bastian*. Na mesma pesquisa, em uma das residências avaliadas numa partição apenas de alvenaria, a redução sonora chegou a 47dB, mas este é um valor fora do padrão encontrado nas pesquisas estudadas.

Já Pinto (2011) comparou nove tipos de paredes em três edifícios residenciais, através de simulações no software *Bastian* e em experimentos *in loco*. Para a pesquisa serão utilizadas somente as simulações e experimentos na parede PTF15, que apresenta espessura final igual à proposta na pesquisa.





As tabelas 07 e 08 representam os resultados das pesquisas acima citadas.

Tabela 7: Diferença do Índice de redução sonora em experimento e simulação.

TIPO DE PAREDE	DIMENSÃO BLOCO (cm)	VARIAÇÃO DO R_w (dB)
Blocos cerâmicos de 6 furos assentados em pé rebocados em ambos os lados	9 x 14 x 19	25 a 31
Blocos de concreto com reboco em ambos os lados	14 x 19 x 29	25 a 26

Fonte: FERREIRA, 2004. Editado pelo autor.

Tabela 8: Diferença de nível sonoro e Índice de redução sonora em experimento e simulação na parede PTF 15.

Amostra		$D_{nT,w}$ (dB)		R'_w (dB)	
		Experimental	Simulação	Experimental	Simulação
PTM22		43	40	41	38
PTM15		42	39	40	36
PTF20		44	39	42	36
PTF15		41	39	39	37

Fonte: PINTO, 2011. Editado pelo autor.

Para este estudo, que tem como foco a avaliação das vedações, serão adotados os valores experimentais descritos na pesquisa de Pinto (2011), pois foram valores obtidos a partir de medições *in loco*, em paredes sem aberturas. Os valores adotados serão de 39dB como índice de redução sonora, e de 41dB para a diferença de nível sonoro. Estes valores também são condizentes com a simulação realizada por Ferreira (2004), que determina como índice de redução sonora 38dB para uma parede divisória em alvenaria com uma porta isolante.

2.3.2 Steel Framing

O sistema construtivo *steel framing*, também chamado de *Light Steel Framing* (LSF), “trata-se de um sistema construtivo de concepção racional caracterizado pelo uso de perfis formados a frio de aço galvanizado compondo sua estrutura e por subsistemas que proporcionam uma construção industrializada e a seco” (CRASTO e FREITAS, 2006).

Este sistema, derivado do *wood framing*, começou a ser popularizado em países como Estados Unidos e Japão após a Segunda Guerra Mundial. Nos Estados Unidos, o *steel framing* cresceu pelo desenvolvimento da indústria siderúrgica no pós-guerra; mas a sua maior curva de crescimento nesse país foi após 1992. Neste ano, o furacão Andrew atingiu a costa leste causando uma grande destruição de casas (em grande parte com estruturas em madeira). Desde então, as companhias seguradoras aumentaram as taxas sobre as residências em madeira e as diminuíram para aquelas executadas em aço. De acordo com a revista

ARQUITETURE (setembro de 2004), até 1992, aproximadamente 500 casas haviam sido construídas em LSF, já em 2004, eram em torno 500.000 casas. (JARDIM e CAMPOS, 2006).

No Japão, após os ataques da Segunda Guerra Mundial, o governo restringiu o uso de estruturas em madeira (permitindo apenas aquelas autoportantes) devido a sua inflamabilidade. Isso incentivou o crescimento da indústria do aço e a produção de edificações no sistema LSF. (OLIVEIRA, 2012 apud CRASTO, 2006).

No Brasil, apesar de “ser um dos maiores produtores mundiais de aço, o emprego de estruturas metálicas em edificações tem sido pouco expressivo se comparado ao potencial do parque industrial brasileiro”. (CRASTO e FREITAS, 2006). Pode-se atribuir isto à “resistência cultural frente a tecnologias que empregam princípios diferentes daqueles presentes nas construções de materiais maciços” mas “este cenário tem se modificado devido à necessidade de utilização de métodos menos artesanais, com aumento da produtividade” (MAGALHÃES, 2013).

2.3.2.1 Componentes usados no *steel framing*

O *Steel Framing* “tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado que são utilizados para a composição de painéis estruturais e não estruturais”. (CRASTO e FREITAS, 2006)

Estes painéis, estruturais ou não, são compostos por perfis de aço galvanizado, com possibilidade de inserção de materiais de isolamento em seu interior; o fechamento deste painel pode ser feito com “diversos materiais” (JARDIM e CAMPOS, 2006). Como placa de fechamento externo, usualmente são aplicados externamente painéis de OSB ou placas cimentícias, seguidos do revestimento desejado; como fechamento interno é utilizado o gesso acartonado ou placas cimentícias (CRASTO e FREITAS, 2006).

Para este estudo será considerado um painel com montantes de aço galvanizado M90, com 5 cm de lã de rocha como isolamento entre as placas, o fechamento externo será considerado como de placas cimentícias de 10 mm e o fechamento interno de placas de OSB de 11 mm seguidas de uma membrana de polietileno e gesso acartonado com 12,5 mm. Este painel tem espessura total de

12,35 cm e pode ser considerado um painel usual deste tipo de sistema construtivo e contém os materiais mais comuns para o sistema LSF.

Este painel é similar ao Modelo M4 utilizado na pesquisa de Palacio (2013), conforme pode ser observado nas tabelas 09 e 10.

Tabela 9: Composição do Modelo M4 na pesquisa de Palacio (2013).

MODELO	ACABAMENTO EXTERNO	ESTRUTURAÇÃO	VARIÁVEL	ACABAMENTO INTERNO	MIOLO
M4	PC	OSB (só externa)	V1	PG	EPS
		OSB (só externa)	V2	PG	LM
		OSB (só externa)	V3	PC	EPS
		OSB (só externa)	V4	PC	LM
M1 sem Miolo		OSB (só externa)	--	PC	--

Sendo: PC – placa cimentícia; PG – placa de gesso; OSB – painel de fibras orientadas; SV – Siding vinílico; EPS - Poliestireno Expandido; LM – lâ mineral.

Fonte: PALACIO, 2013. Editado pelo autor.

Tabela 10: Quantitativo de materiais por metro quadrado para o Modelo M4 na pesquisa de Palacio (2013).

COMPONENTES STEEL FRAME	MODELO 4 (Unid/m ²)
Guias	2
Montantes	4
Placa de OSB	1 (e = 11mm)
Siding vinílico	---
Placa cimentícia	1 (e = 12mm)
Placa de gesso	1 (e = 15mm)
Parafusos	48

Fonte: PALACIO, 2013. Editado pelo autor.

2.3.2.2 Custo e Produtividade

O custo para o metro quadrado do painel de estudo foi obtido por meio de pesquisa de preços em empresas que executam obras no sistema LSF, em empresas de material de construção que vendem os insumos necessários para a construção do painel de estudo e em pesquisas anteriores.

Em duas empresas foram obtidos os preços médios do metro quadrado de um painel padrão. Para a empresa Placo Center, o preço do painel padrão (placa cimentícia, perfis de aço, chapa de OSB, e gesso acartonado) pode variar entre 200 e 260 R\$/m² (o preço depende do projeto e do espaçamento entre montantes). Para a empresa Wall System o preço do metro quadrado do painel padrão (placa

cimentícia, perfis de aço e chapa de gesso acartonado) é de 167,6 R\$/m². Estes valores foram obtidos por meio de contato com as empresas em março de 2014.

Também foram pesquisados os preços dos insumos separadamente, conforme o Quadro 05.

Quadro 5: Preços dos principais insumos para a composição de um painel em *steel framing*.

EMPRESA PRODUTO	PLACO CENTER	WALL SYSTEM	CASSOL MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	BIGOLIN MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	RUDEGON ⁽²⁾
PLACA CIMENTÍCIA 10 MM	-	102,00 R\$/peça	-	89,11 R\$/peça	99,00 R\$/peça
CHAPA DE OSB 11MM	44,00 R\$/peça	78,00 R\$/peça	32,90 R\$/peça	-	43,60 R\$/peça
PLACA DE GESSO ACARTONADO STANDARD 12,5 MM	34,00 R\$/peça	32,00 R\$/peça	-	24,50 R\$/peça	29,3 R\$/peça
LÃ DE ROCHA 50 MM	-	21,86 R\$/m ²	-	-	-
MEMBRANA HIDRÓFUGA ROLO 0,92MX30M	-	-	-	-	135,00 R\$/peça

Fonte: O autor, com base em pesquisa de preços de empresas. ⁽²⁾ Anexo A.

Também foram obtidos dados sobre o custo do LSF a partir de trabalhos acadêmicos. Em Zatt (2010), foram comparados os custos para a produção de uma parede em alvenaria e em *steel framing*; separando-a em etapas: a construção da parede e os acabamentos necessários. (Quadro 06 e 07).

Quadro 6: Comparação de custos para execução de uma parede em alvenaria e em LSF.

QUADRO DE COMPARAÇÃO DE CUSTOS						
ITEM	ALVENARIA	LIGHT STEEL FRAME	DIFERENÇA		COMPOSIÇÕES DE CUSTO	
	IC (R\$/m ²)	IC (R\$/m ²)	IC (R\$/m ²)	%	SUBITEM	IC (R\$/m ²)
Execução de parede	R\$ 33,54	R\$ 74,66	-R\$ 41,12		Bloco cerâmico	17,04
					Argamassa	3,15
					Alvenaria MAO	11,20
					Encunhamento MAO	1,32
					Encunhamento MAT	0,83
					Perfis metálicos	17,32
					Manta Tyvek	3,02
					Placas cimentícias	15,57
TOTAL	R\$ 33,54	R\$ 74,66	-R\$ 41,12	122,60%	LSF MAO	38,75

Fonte: ZATT (2010).

Quadro 7: Comparação de custos da execução de acabamentos numa parede de alvenaria e em LSF.

QUADRO DE COMPARAÇÃO DE CUSTOS						
ITEM	ALVENARIA	LIGHT STEEL FRAME	DIFERENÇA		COMPOSIÇÕES DE CUSTO	
	IC (R\$/m ²)	IC (R\$/m ²)	IC (R\$/m ²)	%	SUBITEM	IC (R\$/m ²)
Serviços antecedentes	R\$ 3,95	R\$ 0,00	R\$ 3,95		Chapisco rolado MAT	0,54
					Chapisco rolado MAO	1,87
					Tela de ancoragem MAT	1,54
Esquadrias	R\$ 0,58	R\$ 0,00	R\$ 0,58		Chumbação MAO	0,58
Acabamento interno	R\$ 18,24	R\$ 8,27	R\$ 9,97		Chapisco MAT	1,12
					Chapisco MAO	1,97
					Reboco MAT	4,71
					Reboco MAO	10,44
					Tratamento de juntas MAT	5,30
Acabamento externo	R\$ 25,46	R\$ 8,27	R\$ 17,19		Tratamento de juntas MAO	2,97
					Limpeza de fachada	2,47
					Chapisco MAT	1,12
					Chapisco MAO	2,47
					Reboco MAT	6,90
					Reboco MAO	12,50
					Tratamento de juntas MAT	5,30
TOTAL	R\$ 48,23	R\$ 16,54	R\$ 31,69	65,71%	Tratamento de juntas MAO	2,97

Fonte: ZATT, 2010.

A partir dos resultados dos quadros Zatt (2010) conclui-se que o custo para a construção da parede em LSF é maior que o da alvenaria, mas que, devido às imperfeições na parede de alvenaria o custo do acabamento aumenta, deixando as duas paredes com valores muito semelhantes.

Em Hass e Martins (2011), foram comparados os custos para a produção de uma residência em alvenaria e em *steel framing*, com telhados cerâmicos e de fibrocimento. Nesta pesquisa foi obtida a composição de custos para a construção de paredes em LSF (Quadro 08).

Quadro 8: Composição de preços para a construção de uma parede em LSF.

4 Paredes e painéis				R\$ 13.446,73		24,87%
4.1	Fitas para juntas de gesso	ml	122,17	R\$ 0,17	R\$ 20,77	
4.2	Massa para juntas de gesso	kg	45,84	R\$ 1,35	R\$ 61,88	
4.3	Parafuso placas de gesso 25mm	unid	4125	R\$ 0,04	R\$ 165,00	
4.4	Mão de obra revestimento interno	m ²	118	R\$ 11,00	R\$ 1.298,00	
4.5	Membrana hidrofuga	m ²	98,43	R\$ 2,87	R\$ 282,49	
4.6	Placa Cimentícia 1,20x2,40m x10mm	m ²	118	R\$ 62,50	R\$ 7.375,00	
4.7	Parafuso placa cimentícia	unid	3058	R\$ 0,06	R\$ 183,48	
4.8	Siding vinílico	m ²	73,9	R\$ 21,70	R\$ 1.603,63	
4.9	Perfil de início	ml	50,7	R\$ 4,76	R\$ 241,33	
4.10	Perfil de arremate	ml	127,9	R\$ 3,75	R\$ 479,63	
4.11	Cantoneira externa	ml	18,25	R\$ 11,08	R\$ 202,21	
4.12	Cantoneira Interna	ml	7,04	R\$ 7,58	R\$ 53,36	
4.13	Perfil de término	ml	50,7	R\$ 3,28	R\$ 166,30	
4.14	parafuso para siding vinílico	unid	2769	R\$ 0,05	R\$ 138,45	
4.15	Mão de obra revestimento Externo	m ²	73,45	R\$ 16,00	R\$ 1.175,20	

Fonte: HASS e MARTINS, 2011.

Para Hass e Martins, embora o *steel framing* seja um método mais caro (2% de acordo com a pesquisa), a diferença é compensada pela velocidade de execução e pela qualidade do produto final.

Quanto à produtividade Hass e Martins citam Domaraski e Fagiani (2009), que mostra a produtividade de 1,38 horas trabalhadas por metro quadrado conforme o Quadro 09.

Quadro 9: Produtividade para a montagem de um painel de *steel framing*.

Descrição	homem hora/m ²
Montar a estrutura de aço	0,25
Fechar com placas cimentícias	0,22
Isolar com lã de vidro	0,06
Pintura em látex	0,85
Total (homem hora/m²)	1,38

Fonte: HASS e MARTINS, 2011 apud DOMARASKI e FAGIANI, 2009.

2.3.2.3 Impacto Ambiental

Para a avaliação do impacto ambiental causado por este sistema construtivo devem ser analisados os materiais que compõe o painel estudado.

O principal material a ser considerado neste sistema construtivo é o aço, pois ele aparece em maior quantidade que os outros e é o principal componente deste sistema construtivo.

Este material é produzido a partir da extração do minério de ferro, do carvão e do calcário. Estas matérias primas são colocadas em fornos (alto forno ou forno elétrico) em temperaturas superiores a 1000°C, fazendo com que o minério de ferro se transforme em um metal líquido, o ferro gusa. Depois este material é refinado e é produzido o aço líquido que é solidificado de acordo com a sua futura função; então, estes produtos são laminados e transformados em uma grande variedade de produtos (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009).

A extração destas matérias primas é muito impactante para o local onde estão instaladas as minas de extração destes materiais, este processo altera a paisagem e o ecossistema do meio onde está inserido.

O outro processo de grande impacto é o forno. Cerca de 60% do aço produzido atualmente é produzido em alto-forno, que utiliza entre 25% a 35% de aço reciclado. Já para a produção em forno de arco elétrico essa percentagem é aproximadamente de 95%. Conseqüentemente a quantidade de quilogramas equivalentes de CO₂ é diferente: pelo processo em alto forno são gerados 2,494 kgCO₂eq por quilograma de aço, enquanto no forno elétrico é gerado 0,462 kgCO₂eq pela mesma quantidade de aço produzida (GERVASIO, 2008).

Com base no estudo realizado por Júnior (2012), que teve como referência principal Lobo (2010), foram obtidos os valores de energia embutida para os perfis selecionados para o painel de *steel framing*. Segundo Junior (2012), em um metro quadrado de um painel em *steel framing*, a energia embutida do montante M90 é de 44 MJ/m, a guia G90 tem 39,9 MJ/m e os parafusos galvanizados necessários têm 1,9 MJ/un (Tabela 11).

Tabela 11: Energia embutida para peças de aço presentes em um painel de *steel framing*.

Material	Und.	Qdade	EE MJ/UND	EE - Material	Fonte
Montante M90	m	624,0	44,3	27.628,9	Calculado
Guia G90	m	185,8	39,9	7.408,9	calculado
Montante M 140	m	3,9	56,5	220,2	calculado
Placa Cimentícia 2,40m x 1,20m x 10mm	peças	27,0	243,9	6.585,3	calculado
Placa de Gesso Acartonado 2,40 x 1,20	peças	50,0	50,9	2.546,8	calculado
Telha Fibrocimento 8mm	m ²	56,2	67,8	3.807,6	Lobo, 2010
Placa de OSB 1,20x2,40x0,10m	Und.	1,0	1,3	1,3	Ting, 2006
Parafusos galvanizado	peças	2.750,0	1,9	5.115,0	Lobo, 2010

Fonte: JÚNIOR, 2012.

Os dados relativos à quantidade de quilogramas equivalentes de dióxido de carbono emitidos por estes materiais, foram obtidos com base na pesquisa de Neto e Sposto (2011). Nesta pesquisa foi obtida a quantidade de kgCO₂eq emitidos por cada quilograma de aço que foi multiplicada pela quantidade de aço presente em cada peça. Em um metro quadrado de um painel em *steel framing* foram emitidos: 56,35 kgCO₂eq com os montantes, 26,74 kgCO₂eq com as guias, e 0,13 kgCO₂eq com os parafusos (Tabela 12).

Tabela 12: Emissões de kgCO₂eq para peças de aço presentes em um painel de *steel framing*.

Item	Materiais Constituintes	Peso Específico (kg/m ³)	Volume (m ³)	Emissões de CO ₂ (kg CO ₂ /kg de material)	Emissões do Sistema (kg CO ₂)
1	Guias (aço)	7850	0,0022	1,5260	26,74
2	Montantes (aço)	7850	0,0047	1,5260	56,35
3	Parafusos (aço)	7850	0,0000	1,5260	0,13
4	Placas cimentícias (argamassa)	2200	0,0100	0,2410	5,30

Fonte: NETO e SPOSTO, 2011. Editado pelo autor.

Ainda pode ser considerada a tese de Palacio (2013), que compara diversos modelos de painéis em LSF com um modelo típico em alvenaria cerâmica. Para o cálculo da energia embutida dos materiais utilizados nos painéis em *steel framing* ele se baseia nas pesquisas de Tavares (2006) e Graff (2011). Segundo Palacio (2013 apud TAVARES, 2006), a energia embutida do aço é de 30MJ por quilograma utilizado. (Tabela 13).

Tabela 13: Energia embutida para peças de aço presentes em um painel de *steel framing*.

MATERIAL	EIF DO MATERIAL MJ/Kg	FONTE
Guias e montantes (Aço)	30,00	Tavares (2006)
Parafusos (Aço)	30,00	Tavares (2006)
Placas de OSB	7,50	Tavares (2006)
Polietileno de alta densidade	95,00	Graf (2011)
Placas Cimentícia	6,00	Graf (2011)
Placas de Gesso	4,50	Graf (2011)
Siding Vinílico	80,00	Tavares (2006); Graf (2011)
Miolo de Eps	112,00	Tavares (2006)
Miolo de lâ mineral	19,00	Graf (2011)

Fonte: PALACIO, 2013. Apud TAVARES (2006) e GRAFF (2011).

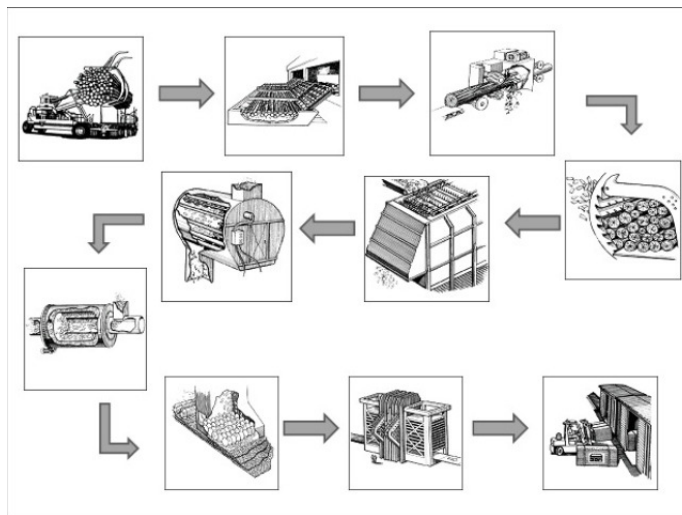
O segundo material que compõe o painel de *steel framing* é a placa cimentícia. As placas “são compostas basicamente por uma mistura de cimento Portland, fibras de celulose ou sintéticas e agregados” (GOMES, 2007). A produção deste material é industrial e o impacto gerado é principalmente agregado aos materiais que o compõe; o seu principal componente, o cimento, teve o impacto ambiental discutido no item 2.3.1.3.

Segundo Júnior (2012), a energia embutida na placa cimentícia, em uma unidade, é de 243,9 MJ (Tabela 11). Também pode ser considerada a pesquisa de Palacio (2013 apud GRAFF,2011), segundo ela a energia embutida na placa cimentícia é de 6MJ por quilograma utilizado (Tabela 13). Quanto às emissões de gases, segundo Neto e Sposto (2011), são emitidos 5,30 kgCO₂eq para as placas cimentícias em um metro quadrado de um painel em LSF (Tabela 12).

O terceiro material a ser avaliado é a chapa de OSB. A chapa de OSB é composta por várias camadas (de três a cinco), e em cada camada as tiras de madeira são colocadas perpendicularmente à camada seguinte; este processo aumenta a rigidez e estabilidade das chapas (SANTOS, 2012. EISFELD e. BERGER, 2011. MONICH, 2012).

O processo de produção do OSB inicia-se na extração da matéria prima, no Brasil grande parte é obtida em florestas em reflorestamento. Depois, as toras são descascadas e estas cascas são cortadas em tiras. Posteriormente elas são secas e misturadas com resinas (com propriedades de resistência à água e à insetos). A partir desta mistura são formadas as camadas orientadoras; as camadas são então prensadas para a formação das chapas finais. (MONICH, 2012). (Figura 11). Durante este processo, há um melhor aproveitamento das toras de madeira. “O OSB utiliza 96% da madeira contra 56% do compensado (...) tornando-o ecologicamente mais eficiente.” (EISFELD e BERGER, 2011).

Figura 11: Processo de produção do OSB.



Fonte: MONICH, 2012 apud OSB Guide, 2011.

O processo produtivo do OSB é em grande parte industrializado. O maior impacto causado por este material é na extração. Porém, como usualmente é feito em florestas de reflorestamento, este impacto é reduzido (MONICH, 2012). Já a energia embutida fica ligada principalmente ao transporte das toras até a fábrica.

Em Júnior (2012) a energia embutida na chapa de OSB (de dimensões 1,20 x 2,40 x 0,01 metro) é de 1,3 MJ (Tabela 14). Segundo Paladio (2013 apud TAVARES, 2006) a energia embutida é de 7,5 MJ a cada quilograma de OSB utilizado (Tabela 13).

Tabela 14: Energia embutida na placa de OSB.

Material	Und.	Qdade	EE MJ/UND	EE - Material	Fonte
Placa Cimentícia 2,40m x 1,20m x 10mm	peças	27,0	243,9	6.585,3	calculado
Placa de Gesso Acartonado 2,40 x 1,20	peças	50,0	50,9	2.546,8	calculado
Telha Fibrocimento 8mm	m ²	56,2	67,8	3.807,6	Lobo, 2010
Placa de OSB 1,20x2,40x0,10m	Und.	1,0	1,3	1,3	Ting, 2006
Selador Acrílico	L	18,3	21,6	393,9	Lobo, 2010

Fonte: JUNIOR, 2012 apud TING, 2006. Editado pelo autor.

Quanto às emissões de gases, deve-se considerar neste caso, que a matéria prima do OSB são as árvores. As árvores, por meio do processo de fotossíntese, removem o CO₂ da atmosfera e o transformam em oxigênio e carbono que são fixados à esta matéria prima. Por exemplo, em uma “habitação de 40,8 m², construída no sistema *Wood framing* com placas OSB, são emitidos 2130 kg CO₂, são fixados 747 kg CO e são removidos 2688 kg CO₂. ” (MONICH, 2012 apud CASAGRANDE, 2011).

Na pesquisa de Monich (2012), são calculados os valores de emissão de kg CO₂, a quantidade de CO e a energia embutida para placas de OSB. De acordo com esta pesquisa para as 50 placas de OSB utilizadas na residência daquele estudo foram emitidos 232 kg CO₂, estocados 415 kg de carbono e utilizados 3997,92 MJ (Tabelas 15 e 16).

Tabela 15: Emissão de kgCO₂eq e energia embutida na placa de OSB e na placa de gesso acartonado.

Item	Material	EE (MJ)	CO ₂ (kg)
1	Brita	320,76	23,19
2	Concreto	8346,24	623,12
3	Pinus	6750,68	481,40
4	Smartside	1644,47	94,08
5	Drywall	3877,65	224,04
6	OSB	3997,92	232,73
7	Gesso	9704,45	560,70
8	Aço	32922,90	2363,40
9	Massa corrida	1744,20	125,97
10	Tinta PVA	1241,11	92,84
11	Tinta óleo	2123,37	158,84
12	Tinta latex	371,61	27,80
13	Vidro	900,00	54,60
14	Telha cerâmica	22651,20	1472,33
15	Piso cerâmico	1450,00	77,03
16	Rodapé cerâmico	124,86	6,63
17	Cerâmica de revestimento	1331,10	70,72
18	Rejunte	231,00	

Fonte: MONICH, 2012.

Tabela 16: Quantidade de quilogramas de Carbono estocados na placa de OSB.

Material	Volume (m ³)	Peso (kg)	Carbono Estocado (kg C)
Pinus	3,215	1928,765	964,383
Smartside	0,557	125,436	62,718
OSB	1,385	831,168	415,584
Total	5,157	2885,369	1442,685

Fonte: MONICH, 2012.

Outra fonte de dados a ser considerada é o *Inventory of Carbon and Energy* (ICE) desenvolvido por Hammond e Jones (2011) pela universidade de Bath, na Inglaterra. Este estudo analisa diversos materiais, trazendo seus valores de energia embutida e emissões de carbono. No caso da madeira “Os efeitos do sequestro de carbono foram considerados, mas não integrados aos dados” (MONICH, 2012). Deve-se considerar também que este estudo tem como fonte de dados o contexto europeu. Com base neste estudo, para cada quilograma de OSB, são emitidos 0,99 kgCO₂eq (Tabela 17).

Tabela 17: Emissão de kgCO₂eq na placa de OSB.

Selected Embodied Energy & Carbon Coefficients and Associated Data						
Material	Embodied Energy MJ/Kg	Embodied Carbon - Kg CO ₂ e/Kg	Boundaries	Best EE Range - MJ/Kg		Specific Comments
				Low EE	High EE	
General	10	0.31 _{fos} +0.41 _{bio}		High range for all timber products, see main comments for discussion.		Estimated from UK consumption mixture of timber products in 2007 (Timber Trade Federation statistics). Includes 4.4 MJ bio energy. All values do not include the CV of timber and exclude carbon storage.
Glue Laminated timber	12	0.42 _{fos} +0.45 _{bio}		8	14	Includes 4.9 MJ bio-energy.
Hardboard (High Density Fibreboard)	16	0.58 _{fos} +0.51 _{bio}		15	35	Hardboard is a type of fibreboard with a density above 800 kg/m ³ . Includes 5.6 MJ bio-energy.
Laminated Veneer Lumber	9,5	0.33 _{fos} +0.32 _{bio}		-	-	Ref 148. Includes 3.5 MJ bio-energy.
Medium Density Fibreboard (MDF)	11 (?)	0.39 _{fos} +0.35 _{bio} (?)		Not enough data for accurate range. Likely to be high.		Wide density range (350-800 kg/m ³). limited data to analyse. Includes 3.8 MJ bio-energy.
Oriented Strand Board (OSB)	15	0.45 _{fos} +0.54 _{bio}	Cradle to Gate	Not enough data for accurate range. Likely to be high.		Estimated from Refs. 101 and 148. Includes 5.1 MJ bio-energy.
Particle Board	14,5	0.54 _{fos} +0.32 _{bio} (?)		4	15	Very large data range, difficult to select appropriate values. Includes 3.4 MJ bio-energy (uncertain estimate).
Plywood	15	0.45 _{fos} +0.65 _{bio}		10	20	Includes 7.1 MJ bio-energy.
Sawn Hardwood	10,4	0.24 _{fos} + 0.63 _{bio}		0,72	16	It was difficult to select values for hardwood, the upper end of the range was estimated from the CORRIM studies (Ref. 86).
Sawn Softwood	7,4	0.20 _{fos} +0.39 _{bio}		0,72	13	Includes 4.2 MJ bio-energy.

Fonte: HAMMOND e JONES, 2011. Editado pelo autor.

O próximo material utilizado na parede em LSF é a membrana hidrófuga de polietileno. Esta membrana tem a função de “controlar a umidade que atinge a estrutura: a membrana deixa a umidade interna sair pela estrutura e não permite entrada de umidade externa” (TECVERDE, 2014). Esta membrana tem como base o polietileno. Em Júnior (2012) a energia embutida em um metro quadrado desta membrana é de 0,1 MJ (Tabela 18).

Tabela 18: Energia embutida em um metro quadrado desta membrana.

Material	Und.	Qdade	EE MJ/UND	EE - Material	Fonte
Montante M 140	m	3,9	56,5	220,2	calculado
Perfil Cartola	m	131,4	20,4	2.677,9	calculado
Membrana de Polietileno	m ²	51,1	0,0	0,1	Ting, 2006

Fonte: JÚNIOR, 2012 apud TING, 2006.

Neste estudo não será considerado o impacto ambiental gerado por este insumo devido à falta de dados em relação à emissão de gases atmosféricos e também pela baixa representatividade no contexto geral da pesquisa.

O quinto material utilizado na parede em LSF é a chapa de gesso acartonado. Estas chapas são fabricadas em indústrias e “são compostas de uma mistura de gesso, água e aditivos, revestidas em ambos os lados com laminas de cartão, que confere ao gesso resistência a tração e flexão” (FREITAS e CRASTO, 2006). Existem diversos tipos de placa “de acordo com as necessidades de resistência a umidade e fogo, isolamento acústico ou fixação de grandes vãos. ” (FREITAS e CRASTO, 2006 apud KRUGER, 2000).

A produção das chapas de gesso começa na extração da gipsita. Este minério é encontrado, no Brasil, na região Nordeste; apenas o estado de Pernambuco abastece 95% do mercado nacional (MUNHOZ e RENOFIO, 2007 apud SINDUSGESSO, 2006). Depois, este minério vai para a indústria onde são realizados os outros processos. O primeiro deles é a calcinação, que é a transformação do minério de gipsita em gesso; depois ocorre a dosagem, no qual o gesso é misturado à água e aditivos e são colocadas as chapas de papel cartão; por último, este material é endurecido e cortado. Esta sequência pode ser observada na Figura 12. (JÚNIOR, 2012).

Figura 12: Processo de produção das chapas de gesso acartonado.



Fonte: JÚNIOR, 2012 apud MARCONDES, 2007.

Em Júnior (2012) a energia embutida na chapa de gesso acartonado (de dimensões 2,40 x 1,20 metro) é de 50,9 MJ (Tabela 19).

Tabela 19: Energia embutida na chapa de gesso acartonado.

Material	Und.	Qdade	EE MJ/UND	EE - Material	Fonte
Placa Cimentícia 2,40m x 1,20m x 10mm	peças	27,0	243,9	6.585,3	calculado
Placa de Gesso Acartonado 2,40 x 1,20	peças	50,0	50,9	2.546,8	calculado
Telha Fibrocimento 8mm	m ²	56,2	67,8	3.807,6	Lobo, 2010
Placa de OSB 1,20x2,40x0,10m	Und.	1,0	1,3	1,3	Ting, 2006
Selador Acrílico	L	18,3	21,6	393,9	Lobo, 2010

Fonte: JUNIOR, 2012. Editado pelo autor.

De acordo com a pesquisa de Monich (2012) para as 20 placas de drywall (gesso acartonado) utilizadas na residência daquele estudo foram emitidos 224,04 kgCO₂ e a energia embutida foi de 3877,65 MJ (Tabela 14).

Outro valor de energia embutida a ser considerado é o indicado por Tavares (2006), de acordo com esta pesquisa o valor de energia embutida do gesso acartonado é de 6,10 MJ por quilograma utilizado. (Tabela 20).

Tabela 20: Energia embutida na chapa de gesso acartonado.

MATERIAIS	⁽²⁾ EE (MJ/kg)	EE (MJ/m ³)	⁽³⁾ Desperd. %	⁽⁴⁾ Dens. (kg/m ³)
Gesso acartonado	6,10			
Granito - aparelhada	2,00	5400,00		2700
Lã mineral	19,00	2090,00		110
Latão	80,00	682400,00		8530
Madeira - aparelhada seca forno	3,50	2100,00	15	600
Madeira - aparelhada seca ar livre	0,50	300,00	15	600
Madeira - laminada colada	7,50	4875,00	15	650
Madeira - MDF	9,00	9000,00	15	1000
Mármore	1,00	2680,00		2680
Marmorite	0,48			
Palha	0,24	31,20		130
Papel ⁽¹⁾	18,54	17242,20		930

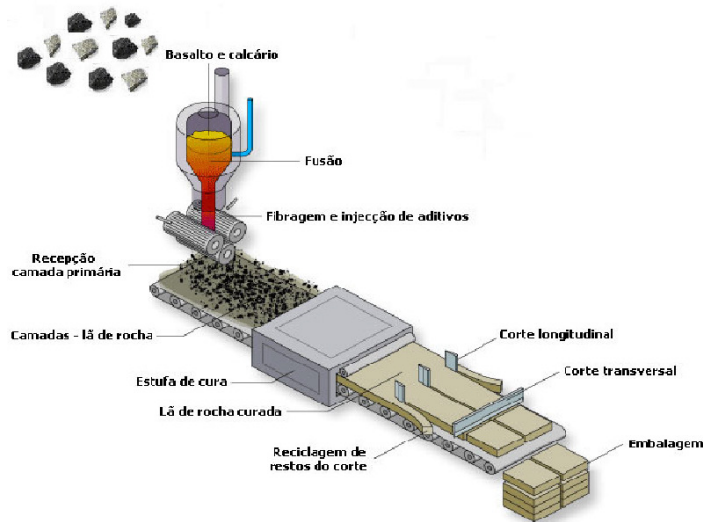
Fonte: TAVARES, 2006.

O último material a ser considerado para o painel em LSF é o isolamento interno, feito com lã mineral.

O processo de fabricação da lã de rocha é iniciado na extração do basalto, que é a sua principal matéria prima. Este material é fundido em elevadas temperaturas, entre 1400 e 1500°C. Então o basalto fundido cai sobre um disco giratório formando as fibras; estas são coletadas e pulverizadas com aglutinantes, formando a camada primária de lã mineral; este material é curado numa estufa e

depois moldado de acordo com as dimensões desejadas. Este processo é ilustrado na Figura 13 (BESSA, 2010 apud ALVES,2008 e TERMOLAN, 2005).

Figura 13: Processo de produção da lã de rocha.



Fonte: BESSA, 2010 apud TERMOLAN, 2009.

Segundo Tavares (2006), um quilograma de lã de rocha tem 19 MJ de energia embutida. (Tabela 20).

Quanto ao fator de emissão de kgCO_2eq foi tomado como base a pesquisa de Bessa (2010), que estabelece que cada tonelada produzida de lã de rocha gera 685 kg de dióxido de carbono. (Tabela 21).

Tabela 21: Fatores de emissão de kgCO_2 para a lã de rocha.

Material	Fator de emissão de CO_2 (kgCO_2/t de material)	
	Processo de transformação	Transporte
ACM	10.324	147
Alumínio ¹	3.162	70
Barrilha	383	116
Cal virgem	1.270	196
CP II - E	676	216
CP V - ARI	722	216
EPDM	195	729
Gesso	650	1.612
Lã de rocha	685	57
Silicone	623	310
Tijolo cerâmico	169	130
Tinta	0,3	1.759
Vidro	440	390

Fonte: BESSA, 2010.

2.3.2.4 Conforto Térmico e Acústico

Para este estudo será considerado o painel citado no item 2.3.2.1. Em Palacio (2013) é analisado um painel composto da mesma maneira que o deste estudo. O painel Modelo 4 Versão 2 (PALACIO, 2013) tem como propriedades térmicas: 0,59W/m²k para a transmitância térmica e 56,35 KJ/m²k para a capacidade térmica (conforme as Tabelas 22 e 23).

Tabela 22: Transmitância térmica dos modelos de vedação utilizados por Palacio (2013).

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DOS MODELOS DE VEDAÇÃO W/(m ² .K)					
VARIÁVEIS	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5
Mods. sem miolo	1,72	2,01	2,15	2,46	2,81
V1	0,74	0,78	0,80	0,74	0,88
V2	0,58	0,61	0,62	0,59	0,67
V3	0,75	0,80	0,82	0,87	0,90
V4	0,59	0,62	0,63	0,66	0,68
VC	2,25				

Fonte: PALACIO, 2013. Editado pelo autor

Tabela 23: Capacidade térmica dos modelos de vedação utilizados por Palacio (2013).

CAPACIDADE TÉRMICA DOS MODELOS DE VEDAÇÃO KJ/(m ² .K)					
VARIÁVEIS	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5
V1	135,23	91,49	82,33	54,09	31,73
V2	137,49	85,83	84,59	56,35	33,99
V3	140,27	96,53	87,37	56,19	35,28
V4	142,53	90,87	89,63	58,45	35,28
VC	140,1				

Fonte: PALACIO, 2013. Editado pelo autor

Ainda quanto ao conforto térmico foram levantados dados na NBR 15.220-2. No quadro 10 são apresentados os valores presentes na norma NBR 15.220-2 para os materiais utilizados no painel em *steel framing* estudado.

Quadro 10: Valores de Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) para os materiais do painel de estudo em *steel framing*.

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Metais			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
Cimentícia ⁽²⁾			
placas cimentícia	1330	0,35	0,84
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
Madeiras e derivados			
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
Gesso			
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a. e ⁽²⁾RIBAS, 2013 Editado pelo autor.

Quanto ao isolamento acústico, não se obteve nenhuma fonte com um painel com a mesma composição daquele de estudo. Portanto foram pesquisados painéis similares, que tornem possível o cálculo do índice de redução sonora do painel de estudo.

A primeira pesquisa a ser considerada é a de Losso e Viveiros (2004); nela são publicados resultados referentes a paredes de LSF com fechamento em drywall (12,5mm) de diferentes fabricantes, com e sem lã de vidro (em diferentes espessuras), conforme a Tabela 24. Os valores de redução sonora para as paredes de duas chapas de gesso acartonado, sem lã de vidro, variam entre 34 dB e 39 dB.

Tabela 24: Índice de redução sonora R_w para chapas de gesso de diferentes fabricantes.

Fabricante/ Especificação da parede	Nº total de camadas de chapas de gesso	Índice de redução sonora ponderado (R_w)	
		Sem lã de vidro	Com lã de vidro
Knauf			
W111-73/48/600	2 x 12,5 – GKB-AK	34	44 (50 mm)
W115-195/70/600	4 x 12,5 – GKB-AK	51	61 (50 mm)
Lafarge			
D 100/75/600	2 BR 12,5	39	45 (75 mm)
D 125/75/600	4 BR 12,5	45	50 (50 mm)
Placo			
73/48/600	1st 12,5/ 1st 12,5	36	43 (50 mm)
98/48/600	2st 12,5/ 2st 12,5	42	49 (50mm)

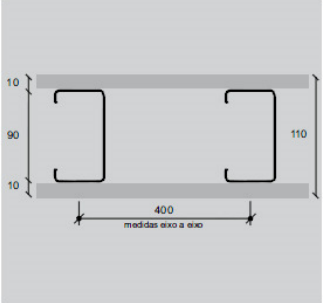
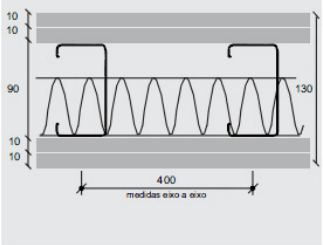
Fonte: LOSSO e VIVEIROS, 2004. Apud IPT, 2000 e IPT 2002.

Os outros resultados referentes a isolamento acústico dos materiais que compõe o painel de LSF estudado foram obtidos a partir de ensaios técnicos

realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) ou com base em manuais técnicos dos fabricantes destes materiais.

De acordo com o fabricante de placas cimentícias Brasilit (2007), uma parede em LSF com duas placas cimentícias como fechamento atinge uma redução sonora de 45 dB; já uma parede com quatro placas cimentícias (duas em cada lado) e isolamento interno em lã de rocha tem uma redução sonora de 57 dB. (Tabela 25).

Tabela 25: Índice de redução sonora R_w para placas cimentícias em diferentes tipos de parede.

Nomenclatura*	Corte	Especificação	Isolamento Acústico R_w^{**}	Resistência ao fogo (minutos)***
Parede 110/90/400/10-10		Placa cimentícia 10 mm Estrutura 90 mm Placa cimentícia 10 mm	45 dB	CF 30
Parede 130/90/400/2x10-2x10/LM 50		Placa cimentícia 2 x 10 mm Estrutura 90 mm Lã mineral 50 mm Placa cimentícia 2 x 10 mm	57 dB	CF 120

* Nomenclatura das paredes:



** R_w = índice de redução sonora ponderado, medido em decibéis (dB)

*** CF = corta fogo

Fonte: BRASILIT, 2007.

Outra fonte de dados, são os ensaios técnicos do IPT sobre o Sistema Construtivo a seco Saint-Gobain - *Light Steel Framing* que é um sistema destinado a fabricação de paredes e coberturas. As paredes externas possuem em sua composição: um quadro de perfis de aço zincado; com fechamento externo em placas cimentícias de espessura de 10 mm; fechamento interno em drywall com 12,5 mm de espessura; e núcleo em lã de vidro com 50 mm de espessura. Nas paredes de geminação, a composição difere apenas na substituição da placa cimentícia por

outra chapa de drywall (IPT, 2013a). De acordo com os ensaios técnicos realizados pelo IPT (2013a), o Sistema Construtivo a seco Saint-Gobain - *Light Steel framing* apresenta índices de redução sonora de 50 dB para as fachadas e de 51 dB para as paredes entre unidades habitacionais. (Tabela 26).

Tabela 26: Índice de redução sonora R_w para paredes do sistema construtivo Saint-Gobain - LSF.

Elemento	Critério de desempenho: valor mínimo (R_w em dB), exposto na DIRETRIZ SINAT 003 revisão 1	Valor de R_w determinado em laboratório (dB)
Parede entre unidades	45	51
Fachadas	30	50

Fonte: IPT, 2013a.

Em Luca (2011), são apresentados diversos tipos de paredes em LSF e suas performances acústicas (Anexo B). Este estudo, realizado pela Associação Brasileira de Drywall com base em ensaios técnicos do IPT, apresenta valores de redução sonora para oito tipos de paredes diferentes. Os valores para as paredes sem isolantes acústicos variam entre 36 dB e 38 dB; já os outros tipos de parede apresentam variação maior, de 44 dB (parede com duas chapas de gesso e núcleo com isolamento de lã mineral) até 61 dB (parede entre unidades habitacionais, com grande espaçamento ente os montantes). Outro fator importante nesta pesquisa é a afirmação que “o desempenho acústico é similar mantendo-se a mesma espessura de lã e de acordo com as densidades dos tipos de lã: lã de vidro (LV) de 12 a 16 $\text{kg/m}^3 \cong$ lã de rocha (LR) de 32 kg/m^3 . ” (LUCA, 2011).

Outro ensaio técnico do IPT a ser levado em consideração é sobre o Sistema construtivo LP Brasil OSB em *Light Steel framing*. Nesta avaliação, o IPT realiza ensaios sobre uma parede de geminação em LSF de 140 mm formada por: perfis de aço zincado com um núcleo de lã de rocha com espessura de 50 mm (massa específica aparente de 32 kg/m^3) e duas placas de drywall de 12,5 mm de espessura. Também é avaliada uma parede externa, composta por: perfis de aço zincado, fechamento externo com placas de OSB, membrana hidrófuga e *siding* vinílico e fechamento interno com placas de drywall. Os resultados de redução sonora obtidos para estas paredes são, respectivamente, 47 dB e 39 dB, conforme a Tabela 27. (IPT, 2013b).

Tabela 27: Índice de redução sonora R_w para paredes do sistema construtivo LP Brasil OSB - LSF.

Elemento	Critério de desempenho: valor mínimo (R_w em dB), exposto na Diretriz SiNAT 003 revisão 01	Valor de R_w determinado em laboratório (dB)
Parede entre unidades	45	47
Paredes com chapas de OSB e siding vinílico	30	39

Fonte: IPT, 2013b.

A última pesquisa considerada para avaliar o desempenho sonoro do painel em LSF é a da fabricante de placas OSB, LP Brasil (2011). Neste estudo são publicados dados de ensaios técnicos do IPT sobre quatro diferentes tipos de paredes em LSF contendo chapas de OSB. Estes testes mostraram que estas paredes apresentam valores de índice de redução sonora entre 39 dB e 49 dB, conforme a Tabela 28.

Tabela 28: Índice de redução sonora R_w para paredes contendo painéis OSB.

Especificação	Isolamento acústico índice de redução sonora (dB)
Drywall 12,5mm - LP OSB HOME 11,1 - Ue 90mm - LP OSB HOME 11,1 - Drywall 12,5mm	47 dB
Siding Vinílico - LP OSB HOME 11,1 - Ue 90mm - Drywall 12,5mm	39 dB
SmartSide Panel 11,1 - Ue 90mm - Drywall 12,5mm	39 dB
Argamassa - LP OSB HOME 11,1 - Ue 90mm - Drywall 12,5mm	49 dB

Fonte: LP BRASIL, 2011.

2.3.3 Wood Framing

Os sistemas construtivos em madeira são utilizados pelo homem “desde o início da história da construção”. E também é um material usado por diversas civilizações, “clima, terreno e cultura determinaram uma técnica construtiva”. (MEIRELLES et al., 2007).

O sistema de *wood framing* tem suas origens na Revolução Industrial e no aumento da população americana no período de 1810 a 1860 que levou a necessidade de um sistema de produção prático e eficiente. A grande disponibilidade da madeira tornou-a o principal material de construção naquele contexto (JARDIM e CAMPOS, 2005).

O *wood framing* consiste em “painéis compostos por madeira adequadamente tratada e aplicada em diferentes formas (...) junto com outros materiais de isolamento térmico, isolamento da estrutura de madeira, e acabamento” (SANTOS, 2012 apud TECVERDE, 2012).

“Atualmente as construções residenciais em madeira representam 10% das construções na França, 20% na Alemanha e 60% na Finlândia. ” No início da década de 2000, o governo francês se comprometeu a aumentar o uso da madeira em 25% até 2010; assim 12,5% do mercado da construção francês seria baseado neste material, reduzindo “em média 7 milhões de toneladas ao ano, à presença de gás carbônico na atmosfera”. (MEIRELLES et al., 2007 apud AFLALO, M. et al., 2005).

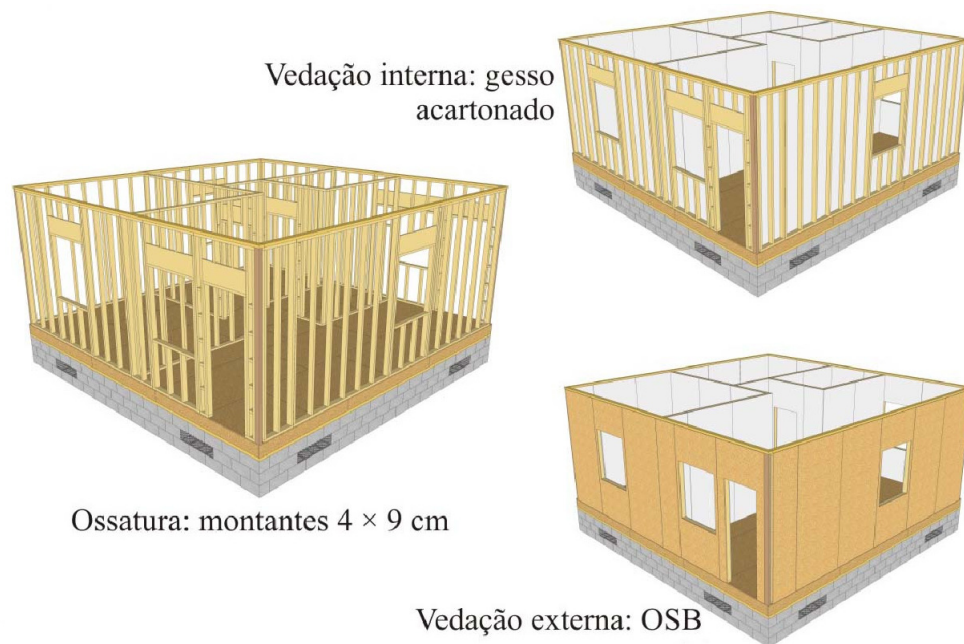
“Embora seja bastante difundida (...) no hemisfério norte, a realidade construtiva brasileira poderia inviabilizar a adoção deste tipo de sistema. ” (TORQUATO, 2010). No contexto brasileiro, “o uso de técnicas construtivas inadequadas fizeram com que as construções em madeira sejam sinônimas de subhabitação ou de pouca durabilidade. ” (MEIRELLES et al., 2007 apud SZÜCS, 2004), “o único empecilho que o *light wood framing* encontra no Brasil é a questão cultural. ” (TORQUATO, 2010).

2.3.3.1 Componentes usados no *wood framing*

O sistema construtivo em *wood framing* utilizado atualmente consiste no método de plataforma. O WLF (*wood light framing*) é formado, neste método, por

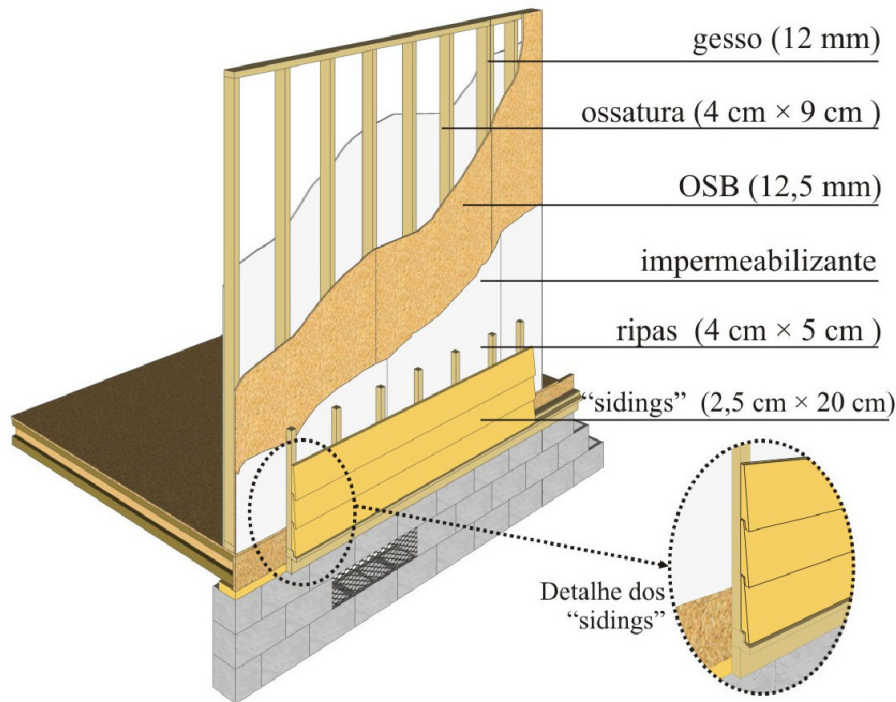
uma estrutura composta de montantes e travessas de madeira maciça, estes montantes têm comprimento restrito à altura de cada pavimento. Essa estrutura em madeira é contra ventada por chapas estruturais em OSB, que são protegidas das intempéries por revestimentos externos. Na face interna, o painel recebe, usualmente, revestimento de chapas de gesso acartonado, pois garantem acabamento estético e também proteção contra incêndio. (ESPINDOLA e MORAES, 2010 apud CAMPOS, 2006; DIAS, 2005). As figuras 14 e 15 exemplificam a montagem e os componentes deste sistema.

Figura 14: Perspectiva mostrando a estrutura em WLF e as vedações internas e externas.



Fonte: ESPINDOLA, 2010.

Figura 15: Perspectiva mostrando o painel em WLF e os seus componentes.



Fonte: ESPINDOLA, 2010.

Para este estudo será considerado um painel de WLF com montantes em madeira maciça de 4 cm x 9cm, com 5 cm de lã de rocha como isolamento entre os montantes, o fechamento externo será considerado como de placas cimentícias de 10 mm e o fechamento interno de placas de OSB de 11 mm seguidas de uma membrana de polietileno e gesso acartonado com 12,5 mm. Este painel tem espessura total de 12,35 cm e pode ser considerado um painel usual deste tipo de sistema construtivo e contém os materiais mais comuns para o sistema WLF.

2.3.3.2 Custo e Produtividade

O custo para o metro quadrado do painel em WLF de estudo foi obtido por meio de pesquisa de preços em empresas de material de construção que vendem os insumos necessários para a construção do painel de estudo e em pesquisas anteriores.

Para a pesquisa de preços em empresas que vendem material de construção, podem ser considerados os preços do Quadro 03, pois os insumos pesquisados para o sistema construtivo LSF também podem ser utilizados para a composição do painel em *wood framing*.

O outro método utilizado foi a pesquisa em trabalhos acadêmicos. Em Espindola (2010), foram comparados os custos para a produção de uma habitação de interesse social construída em alvenaria e em WLF. No Quadro 11, são apresentados os valores encontrados na pesquisa de Espindola (2010) para os insumos necessários para a composição do painel em *wood framing* estudado.

Quadro 11: Custos dos insumos para a composição de um painel em WLF.

Material		Quantidade		Preço (R\$)		Preço total (R\$)
Painel fechado (120 cm)		3	un.	142,54	un.	427,62
	Montante 4 cm × 9 cm	10,87	m	5,50	m	59,77
	Travessa 4 cm × 9 cm	2,40	m	5,50	m	13,17
	Chapa OSB parede 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	1	un.	11,90	m ²	38,70
	Gesso acartonado 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	1	un.	9,50	m ²	30,90

Fonte: ESPINDOLA, 2010.

Em Torquato (2010), foi composto o serviço de montagem de um painel em WLF. No Quadro 12, pode-se observar o tempo necessário e os insumos necessários para a montagem do painel da pesquisa.

Quadro 12: Composição de preços para um painel em WLF.

Painel OSB (1,22x2,44m)	m2	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
Chapa OSB 1,22x2,44m e=12,0mm	ud	0,78	26,00	20,28
Montante pinus 4x9"	m	4,63	1,89	8,75
Pregos com cabeça 17x27 (242/Kg)	kg	0,21	5,77	1,21
Placa lâ de rocha 1,35x0,60m	m2	1,08	9,21	9,95
Carpinteiro	h	1,32	8,69	11,47
Ajudante de Carpinteiro	h	1,00	6,73	6,73
Total Unitário do Serviço				58,39

Fonte: TORQUATO, 2010.

A partir do Quadro 12, pode-se observar que são necessárias 1,32 hora de trabalho de um carpinteiro e também 1 hora de um ajudante para a montagem de um metro quadrado do painel apresentado. Este tempo de montagem é referente um estudo da execução do sistema *wood frame in loco*, não envolvendo uma parte do processo com pré-fabricação.

Como exemplo da produtividade em um sistema WLF pré-fabricado e apenas montado *in loco* foram obtidos dados de uma pesquisa norte americana do Departamento de habitação e desenvolvimento urbano (HUD/US, 2002) que

compara os sistemas construtivos LSF e WLF. O estudo do HUD/U.S. (2002) avaliou paredes estruturais (compostas pelos montantes e por duas placas de OSB, lã de vidro, drywall e *siding* de madeira) e paredes não estruturais (compostas pelos montantes e por duas placas de drywall); apresentando dados de horas necessárias para a montagem de paredes estruturais e não estruturais nos dois sistemas, conforme mostra a Tabela 29.

Tabela 29: Produtividade dos sistemas LSF e WLF no contexto norte americano.

Componente	Total de Homem Hora (em horas/m ²)	
	LSF	WLF
Paredes Estruturais	0,58	0,46
Paredes Estruturais do Primeiro andar	0,82	0,56
Paredes Estruturais do Segundo andar	0,48	0,35
Paredes Não-Estruturais	0,25	0,36
Paredes Não-Estruturais do Primeiro andar	0,16	0,30
Paredes Não-Estruturais do Segundo andar	0,37	0,41

Fonte: HUD/U.S., 2002. Traduzido e adaptado pelo autor.

A Tabela 29 mostra que, para o contexto norte americano, os sistemas LSF e WLF apresentam produtividade similares. Para as paredes estruturais o LSF apresentou produtividade de 0,58 homem hora/m² e o WLF de 0,46 homem hora/m²; já para as paredes não estruturais o LSF teve produtividade de 0,25 homem hora/m² e o WLF de 0,36 homem hora/m².

2.3.3.3 Impacto Ambiental

Para a avaliação do impacto ambiental causado por este sistema construtivo devem ser analisados os insumos que compõe o painel estudado. Grande parte dos insumos que compõe o painel em WLF já foram previamente avaliados no item 2.3.2.3; referente ao impacto ambiental causado pelo LSF. Portanto neste item será abordado somente o impacto ambiental gerado pela madeira presente nos montantes e travessas do *wood framing*.

A madeira utilizada para o *wood framing*, no Brasil, é o pinus, cujas variedades mais plantadas no país são o *elliottii* e o *taeda* (TORQUATO, 2010). “Hoje, o Pinus *taeda* é destinado à produção de matéria prima para indústrias de celulose e papel, e o Pinus *elliottii* é destinado para a indústria de madeira serrada e extração de resina” (SANTOS, 2013 apud BRACELPA, 2012). O pinus é considerado uma espécie exótica no Brasil, ela foi trazida por imigrantes europeus

no início do século XIX, e o seu cultivo ostensivo pode causar grandes impactos na biodiversidade local. Porém, devido ao seu crescimento rápido, absorve altas taxas de CO₂ da atmosfera (SANTOS, 2013 apud BRACELPA, 2012) e o seu cultivo implica na necessidade de preservação de grandes áreas de mata nativa para o atendimento às leis ambientais (SANTOS, 2013).

Ainda pode-se considerar que o cultivo do pinus é uma atividade positiva pois, por ser produzida em várias partes do país (Tabela 30), ela tem “reflexos positivos tanto no desenvolvimento social quanto na conservação ambiental” (SANTOS 2013 apud BRACELPA, 2012).

Tabela 30: Produção de Pinus no Brasil.

Estados	Área de florestas plantadas – Pinus (em mil hectares)			
	Própria	Arrendada/ Parceria	Fomento	Total por estado
Bahia	28	0	0	28
Paraná	106	12	35	153
Rio Grande do Sul	14	2	3	19
Santa Catarina	101	20	32	153
São Paulo	13	9	13	35
Total	262	43	83	388

Fonte: SANTOS 2013 apud BRACELPA, 2012).

Para o uso desta madeira no sistema WLF, “a madeira de pinus precisa passar por processo de tratamento em autoclave, para ficar imune ao ataque de cupins” (TORQUATO, 2010). Para as peças que serão utilizadas protegidas das intempéries, é necessário que o produto seja aplicado tenha uma retenção mínima de 4,0 kg por metro cúbico de madeira; já pra as peças em contato com a fundação e umidade a norma demanda uma retenção mínima de 6,5 kg por metro cúbico. (TORQUATO, 2010).

Em Torquato (2010) foram comparados os valores de energia embutida e de emissões de CO₂ para um projeto de bibliotecas no estado do Paraná em alvenaria e em WLF. Em sua pesquisa foram levantados estes valores para os serviços que compõe este sistema, e os seus respectivos impactos ambientais. Segundo esta pesquisa, para cada quilograma de madeira serrada (pinus) são necessários 7,4 MJ, e são emitidos 0,45 kgCO₂; conforme a Tabela 31. Também nesta tabela são apresentados outros valores que podem servir para efeito de comparação para

outros materiais, como: o aço, o OSB e a lã de rocha. É importante considerar que Torquato não considera o CO₂ absorvido no crescimento das árvores.

Tabela 31: Energia embutida e emissões de CO₂ para diversos materiais no sistema WLF.

MATERIAIS		QUANT. kg	EE MJ/kg	CE kgCO ₂ /kg	EE TOTAL MJ	CE TOTAL kgCO ₂	OBS.
Aço							
Barra	Fundação	162,74	36,40	2,68	5.923,74	436,14	
Tela	Revestimento	659,81	36,00	2,83	23.753,28	1867,27	0,97kg/m ²
Madeira							
OSB	Piso + rampa	1.670,86	9,50	0,51	15.873,18	852,14	Densidade: 640kg/m ³
	Painéis	6.553,34	9,50	0,51	62.256,77	3.342,21	Densidade: 640kg/m ³
Madeira serrada (macia)	Formas concreto	168,00	7,40	0,45	1.243,20	75,60	Densidade: 480kg/m ³
	Barroteamento	5.443,20	7,40	0,45	40.279,68	2.449,44	Densidade: 480kg/m ³
	Painéis	2.925,83	7,40	0,45	21.651,17	1.316,63	Densidade: 480kg/m ³
	Cobertura	2.816,10	16,00	0,86	45.057,60	2.421,85	Densidade: 480kg/m ³
Tábua	Forro	1.267,20	7,80	0,47	9.884,16	595,58	Densidade: 600kg/m ³
Isolantes							
Manta (lã de vidro)	Cobertura	20,38	28,00	1,35	570,53	27,51	Densidade: 12kg/m ³
Placa (lã de rocha)	Painéis	438,84	16,80	1,05	7.372,51	460,78	Densidade: 24kg/m ³

Fonte: TORQUATO, 2010. Editado pelo autor.

Em Deeke (2009) são apresentados dados de Rodel (2005) que realizou uma análise ambiental utilizando o *software Granta Design* apresentado na Tabela 32.

Tabela 32: Energia embutida e emissões de CO₂ para diversos materiais de construção.

Item	Materiais	Produção de CO ₂ (kg/m ³)	Energia Incorporada (MJ/m ³)
ELEMENTOS DE VEDAÇÃO PARA PAREDES	Madeira	(-) 735	11200
	Tijolos(blocos cerâmicos)	304	5700
	Concreto cel.autoclavado	162	1044
	Blocos de concreto	288	1856
	Placas cimentícias	306	1972
	Gesso acartonado	não existem dados no software CES 4.2 Granta	
	Concreto c/ agreg. recicl.	não existem dados no software CES 4.2 Granta	

Fonte: DEEKE 2009 apud RODEL, 2005.

Na Tabela 32, pode-se observar que a produção de CO₂ para a madeira é um valor negativo: -735 quilogramas de CO₂ por metro cubico de madeira. Isso deve-se ao fato de que a pesquisa de Rodel leva em conta a quantidade de CO₂ absorvida no crescimento da árvore (DEEKE 2009 apud RODEL, 2005).

2.3.3.4 Conforto Térmico e Acústico

Para este estudo será considerado o estudo de Ferreira (2012) que analisa a envoltória de uma residência em WLF na cidade de Curitiba, Paraná. A parede analisada é composta pelas seguintes camadas: reboco de componente mineral, isopor, placa de OSB, estrutura em madeira de pinus, material isolante de celulose, placa de OSB, câmara de ar e placa de gesso acartonado. (FERREIRA, 2012). Segundo este estudo esta parede possui 0,157W/m²k para a transmitância térmica e 130,01 KJ/m²k para a capacidade térmica (Tabela 33).

Tabela 33: Capacidade e Transmitância térmica para a parede de estudo em Ferreira (2012).

U_{PAR}	W/(m ² .K)	0,157
CT_{PAR}	kJ/m ² K	130,01

Fonte: FERREIRA, 2012. Editado pelo autor.

Também foram levantados dados na NBR 15.220-2 em relação ao conforto térmico. No quadro 13 são apresentados os valores presentes na norma NBR 15.220-2 para os materiais utilizados no painel em *wood framing* estudado.

Quadro 13: Valores de Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) para os materiais do painel de estudo em *wood framing*.

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Madeiras e derivados			
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus ⁽³⁾	400-750	0,23	1,34
Cimentícia⁽²⁾			
placas cimentícia	1330	0,35	0,84
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
Gesso			
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a., ⁽²⁾RIBAS, 2013 e ⁽³⁾GLOBALWOOD, 2014. Editado pelo autor.

Quanto ao isolamento acústico, foram obtidos dados por meio de simulações do Instituto Falcão Bauer de Qualidade (IFBQ) sobre o sistema construtivo TECVERDE. Os valores da tabela 34 são referentes a dois tipos de paredes: as externas com 14 cm de espessura, compostas externamente por chapas de OSB e placas cimentícias e internamente por chapas de gesso acartonado; e as de

geminção com 19 cm de espessura, com placas de gesso acartonado e chapas de OSB nas duas superfícies e com núcleo em lâ de vidro de 50 mm. Os valores de redução sonora para estas paredes são respectivamente de 27dB e de 40 dB.

Tabela 34: Índice de redução sonora para parede em WLF.

Elemento	Critério de desempenho: valor mínimo (dB), exposto na Diretriz SINAT N°005	Valor determinado em ensaio de campo (dB)
Parede de fachada do dormitório	25	$D_{2m,nT,w} = 27$
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação)	40	$D_{nT,w} = 40$

Fonte: IFBQ, 2013

2.4 Norma de Desempenho NBR 15.575

A norma de desempenho NBR 15.575, em vigor desde julho de 2013, “faz recomendações de desempenho sob vários aspectos para edificações habitacionais, (...) tanto uma construção convencional, quanto as que utilizam sistemas inovadores, devem se adequar aos seus critérios” (MAGALHAES, 2009). Ela foi dividida em seis partes complementares (BERTINI, MARTINS e THOMAZ, 2013):

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas; e
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidros sanitários.

Na norma NBR 15.575, as edificações são avaliadas como adequadas ou não com base em requisitos e critérios de desempenho. Os requisitos de desempenho são “condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender aos requisitos do usuário. ” e os critérios de desempenho são “especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades

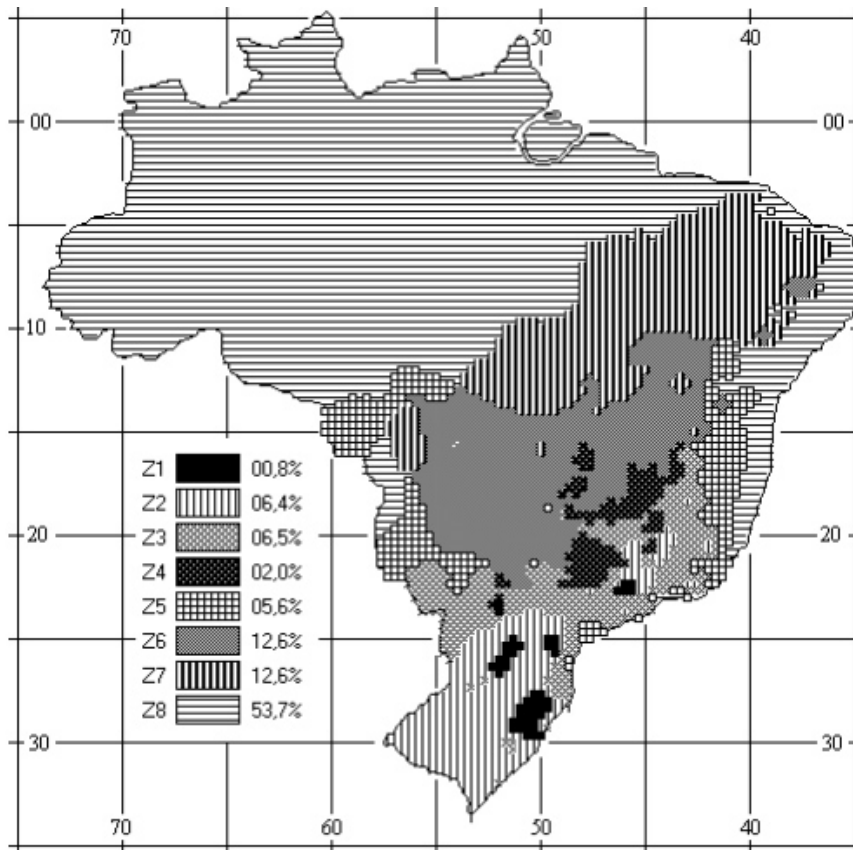
mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados” (BERTINI, MARTINS e THOMAZ, 2013).

Para esta pesquisa será levada em consideração somente a quarta parte da NBR 15.575, que especifica os critérios e requisitos para vedações verticais internas e externas. Esta parcela da norma é separada em diversos requisitos de desempenho. Os sistemas construtivos desta pesquisa serão avaliados apenas pelos requisitos relativos ao desempenho térmico e ao desempenho acústico regulamentados pela NBR 15.575-4.

2.4.1 Desempenho Térmico

A NBR 15.575-4 estabelece na sua quarta parte os requisitos e critérios necessários para a avaliação do desempenho térmico de uma edificação. A norma não considera o uso de condicionamento artificial, “todos os critérios de desempenho foram estabelecidos com base em condições naturais de isolamento” (BERTINI, MARTINS e THOMAZ, 2013). Como a norma avalia as edificações em seus estados naturais de isolamento, o desempenho de uma edificação varia de acordo com o ambiente no qual ela está inserida. A NBR 15.575-4 estabelece, então, que o território nacional seja classificado e avaliado de forma relativa ao seu clima; para isso a norma utiliza a divisão estabelecida na NBR 15.220-3, que divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas diferentes e estipula diretrizes construtivas e parâmetros (como por exemplo: dia típico de inverno, dia típico de verão, etc.) para cada uma delas. A Figura 16 mostra a divisão territorial conforme as zonas bioclimáticas e o percentual que cada uma delas ocupa em relação ao território nacional.

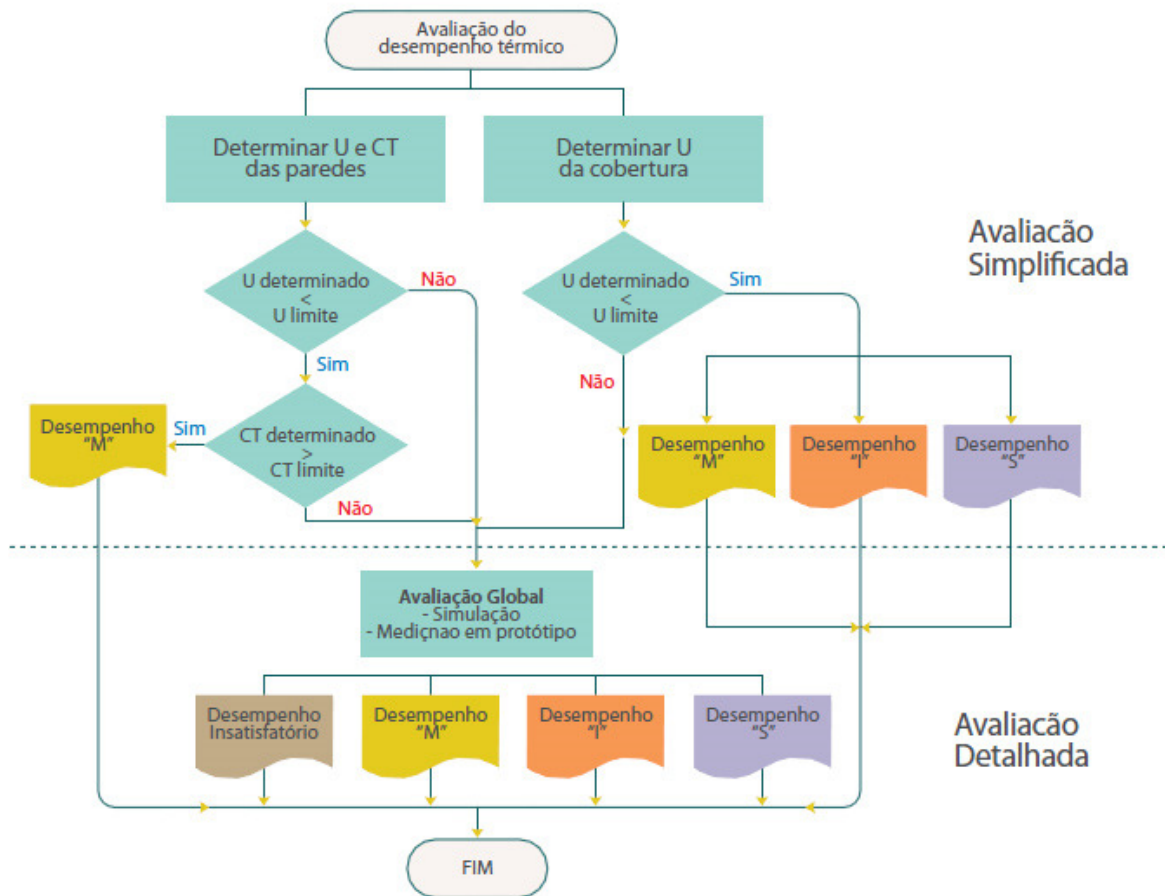
Figura 16: Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b.

Para a avaliação do desempenho térmico a NBR 15.575-4 estabelece diferentes métodos de análise. O método de análise simplificado se resume à verificar o atendimento aos critérios mínimos de transmitância (U) e capacidade térmica (CT) conforme os itens 11.2.1 e 11.2.2 da NBR 15.575. Caso a vedação avaliada não atenda aos critérios estabelecidos nestes itens, é necessário que o desempenho térmico seja avaliado por meio de simulação eletrônica ou de medição *in loco*, conforme “o procedimento de análise de acordo com a ABNT NBR 15575-1” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Este procedimento é ilustrado pela Figura 17.

Figura 17: Métodos de avaliação do desempenho térmico.



Fonte: BERTINI, MARTINS e THOMAZ, 2013.

Neste estudo, os métodos construtivos serão avaliados apenas de acordo com a avaliação simplificada, pois para a avaliação detalhada seria necessária a simulação de um projeto equivalente para cada sistema construtivo, o que não é o escopo principal da pesquisa.

Os critérios de avaliação da Transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) são apresentados nos Quadros 14 e 15, respectivamente. Eles representam os valores para o atendimento ao desempenho mínimo exigido pela norma. Para a classificação das paredes em "níveis superiores (Intermediário- I ou Superior - S), também haverá necessidade de realizar-se a simulação / avaliação detalhada." (BERTINI, MARTINS e THOMAZ, 2013).

Quadro 14: Critério de avaliação da transmitância térmica para 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 absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013.

Quadro 15: Critério de avaliação da capacidade térmica para paredes externas.

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

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013.

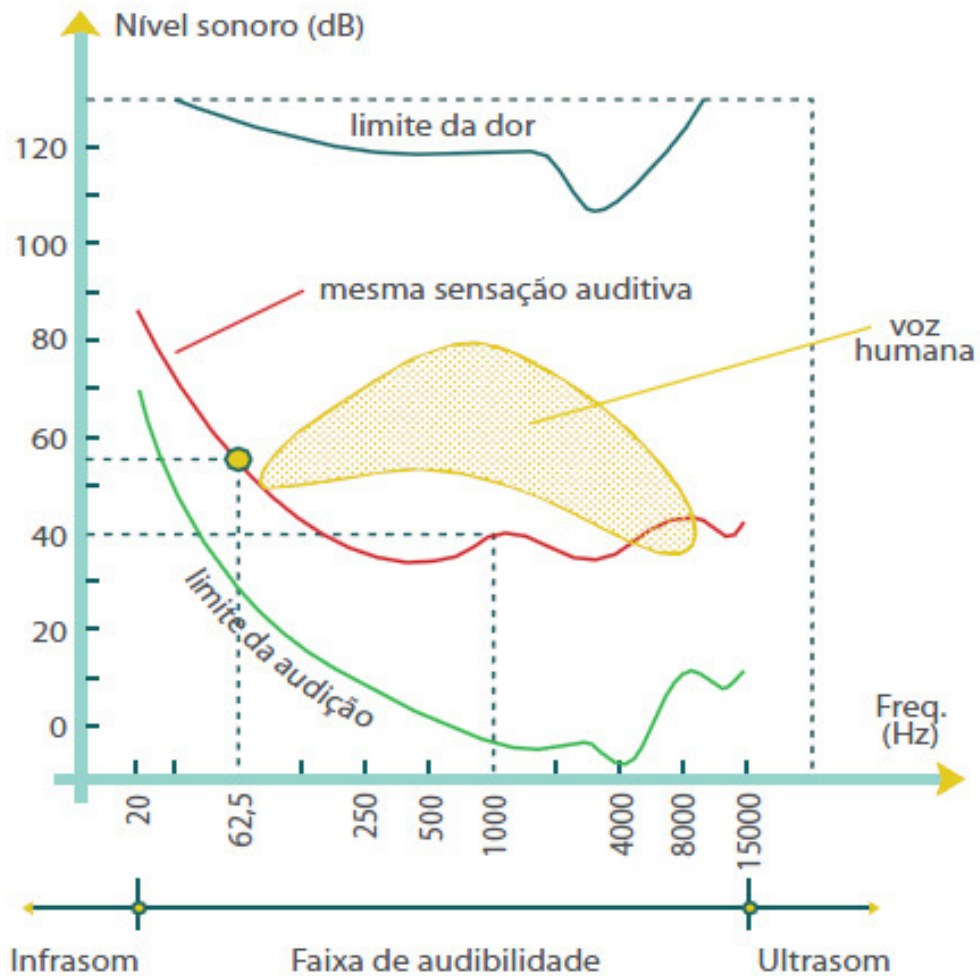
2.4.2 Desempenho Acústico

A NBR 15.575-4 estabelece, também na sua quarta parte, os requisitos e critérios necessários para a avaliação do desempenho acústico de uma edificação. A norma inclui critérios de isolamento ao som aéreo e também ao ruído por impactos.

Nesta pesquisa serão considerados apenas os critérios referentes a som aéreo em paredes, pois são aqueles que condizem com o seu objetivo.

A norma estabelece como unidade padrão de medida de nível sonoro o decibel (dB), na Figura 18 são ilustradas as intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano.

Figura 18: Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano.



Fonte: BERTINI, MARTINS e THOMAZ, 2013 apud IPT.

Como exemplo da influência do isolamento acústico, a NBR 15.757-4 traz em seu anexo F uma tabela que exemplifica a influência do isolamento acústico na inteligibilidade da fala humana, como mostra o Quadro 16.

Quadro 16: Influência do isolamento acústico sobre a inteligibilidade da fala, para ruído no ambiente interno em torno de 35 a 40 dB.

Inteligibilidade de fala alta no recinto adjacente	Isolamento sonoro, $D_{nT,w}$ [dB]
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível: ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	≥ 50

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013 apud Association of Australian Acoustical Consultants, 2010.

A NBR 15.575-4 apresenta “os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico entre o meio externo e o interno, entre unidades autônomas e

entre dependências de uma unidade e áreas comuns”. Para a medição e avaliação destes critérios a norma estabelece três métodos: o método de precisão, realizado em laboratório; o método de engenharia, realizado em campo; e método simplificado de campo. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Com base nestes métodos pode-se avaliar se a edificação está de acordo com o requisito de níveis de ruído admitido na habitação (item 12.3 da NBR 15.575-4). Os Quadros 17 e 18 mostram os valores de redução sonora exigidos pela norma para que uma edificação atenda ao desempenho mínimo de conforto acústico em diversas situações. Estes quadros mostram também, além dos os critérios mínimos, os valores para os níveis de desempenho intermediário e superior que podem ser atingidos pelas vedações da edificação.

Quadro 17: Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, da vedação externa de dormitório.

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
Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.			
Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos			

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013.

Quadro 18: Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, entre ambientes.

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: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013.

3. METODOLOGIA

Dentro do contexto atual brasileiro: com um grande déficit habitacional e com um programa do governo que incentiva a construção de moradias para suprir essa demanda. Esta pesquisa apresenta três diferentes métodos construtivos já utilizados no Brasil com o objetivo de: compará-los por meio de parâmetros (custo, impacto ambiental gerado e conforto térmico e acústico) e também de analisá-los segundo os critérios da NBR 15.575-4; para apontar qual deles é o mais adequado para a construção de casas em grande quantidade.

3.1 Caracterização da Pesquisa

Para efetuar esta comparação foram obtidos dados referentes a cada critério, sobre cada sistema construtivo por meio de empresas, catálogos de produtos, pesquisas anteriores e literatura técnica.

Primeiramente avalia-se cada sistema construtivo separadamente, definindo se ele está dentro dos critérios mínimos da Norma de Desempenho NBR 15.575-4 que entrou em vigor em 2013. Depois, os sistemas construtivos serão comparados entre eles, a partir dos valores encontrados nos itens 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3. Com base nestes dados será possível definir qual dos sistemas construtivos pesquisados é o mais adequado para a construção de casas em grande quantidade pelo PMCMV.

3.2 Procedimentos da Pesquisa

Iniciou-se a pesquisa contextualizando o tópico a ser estudado. Para isso, percorreu-se sobre o déficit habitacional brasileiro e os programas do governo para enfrentar este problema, desde o início do século até o contexto atual. Depois, foi apresentado o PMCMV e os principais sistemas construtivos já utilizados para a construção de habitações de interesse social neste programa.

Então, para que fosse possível estabelecer uma comparação entre os sistemas construtivos (alvenaria, *steel framing* e *wood framing*) foram determinados parâmetros de avaliação, adequados ao PMCMV e ao contexto atual da construção civil brasileira. Na sequência, são apresentados os sistemas construtivos segundo suas características e desempenhos segundo as fontes encontradas.

Posteriormente, são apresentados os critérios da NBR 15.575-4, para que possam ser utilizados também como forma de aferir se os sistemas estão de acordo com a norma vigente.

A partir destes dados, os sistemas construtivos podem ser avaliados sob os critérios e requisitos da NBR15.575-4 e também podem ser comparados por meio dos parâmetros estabelecidos. Como forma de sintetizar as conclusões e resultados obtidos foram gerados gráficos e quadros, que, por meio de um sistema de cores, ilustram os resultados e facilitam a compreensão das conclusões desta pesquisa.

Quanto a avaliação dos sistemas construtivo segundo os critérios da NBR 15.575-4, os resultados são apresentados utilizando quadros baseados naqueles presentes na norma. Nestes quadros os resultados são sintetizados por meio de um sistema de cores:

- A cor verde representa que o sistema construtivo é adequado à norma para aquele critério;
- A cor amarela indica que, para aquele critério, o sistema construtivo deve ser avaliado de uma maneira mais detalhada para atender aos requisitos da norma;
- A cor vermelha representa que o valor obtido para o método construtivo é insuficiente segundo os critérios da norma de desempenho.

O Quadro 19, baseado no Quadro 17, exemplifica esta escala de cores.

Quadro 19: Modelo de quadro para a avaliação de conformidade com a NBR 15.575.

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

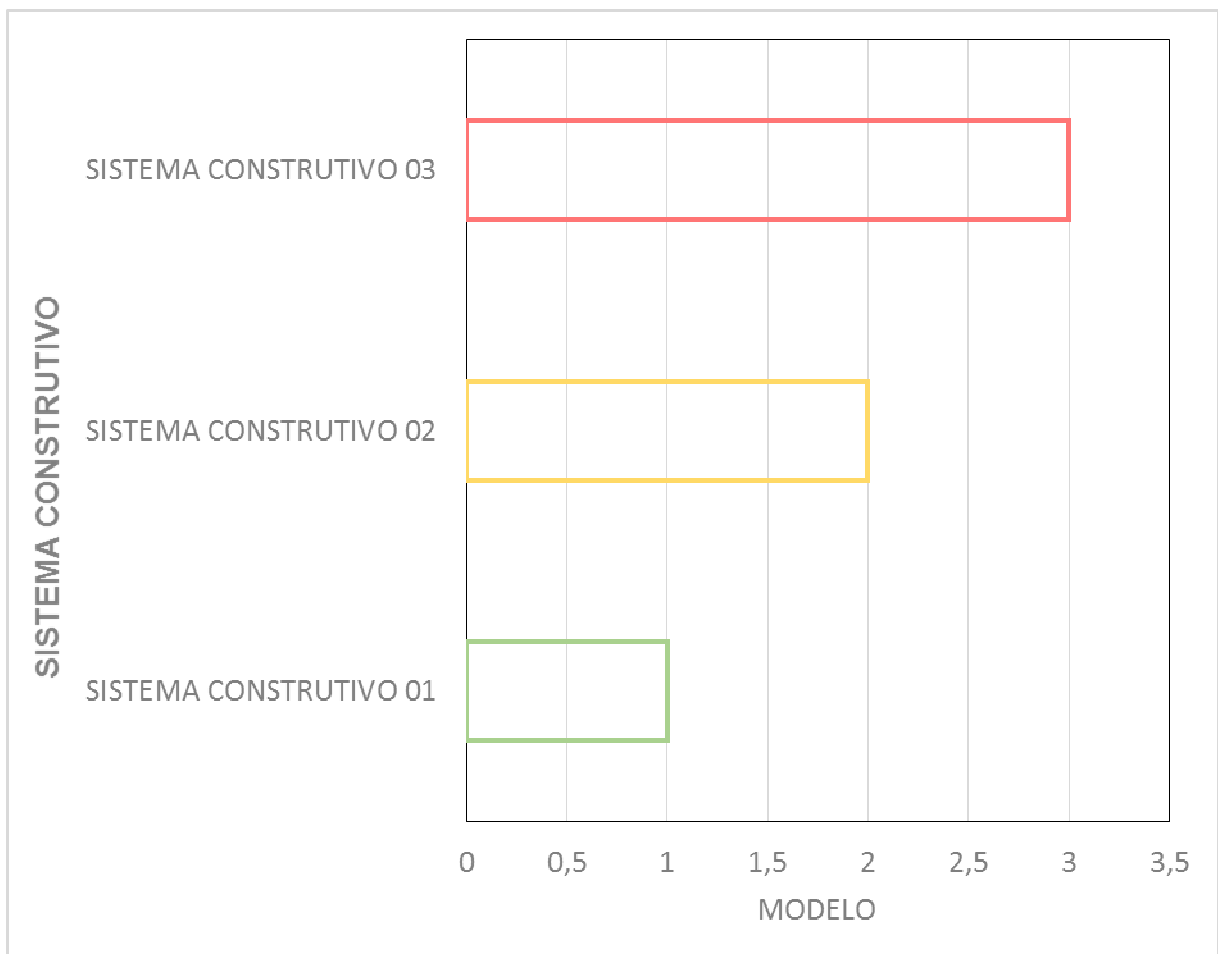
Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Quanto a comparação dos sistemas construtivos entre si, segundo os parâmetros estabelecidos, os resultados são apresentados utilizando gráficos de barras, nos quais as conclusões são enfatizadas por meio de um sistema de cores:

- A cor verde representa o melhor valor entre os apresentados para aquele parâmetro;
- A cor amarela indica o valor intermediário para o critério comparado;
- A cor vermelha aponta o pior valor, entre os sistemas construtivos, para o critério avaliado.

O Gráfico 02, exemplifica o gráfico de barras de comparação e a sua escala de cores.

Gráfico 2: Modelo de gráfico para a comparação dos sistemas construtivos segundo os parâmetros estabelecidos.



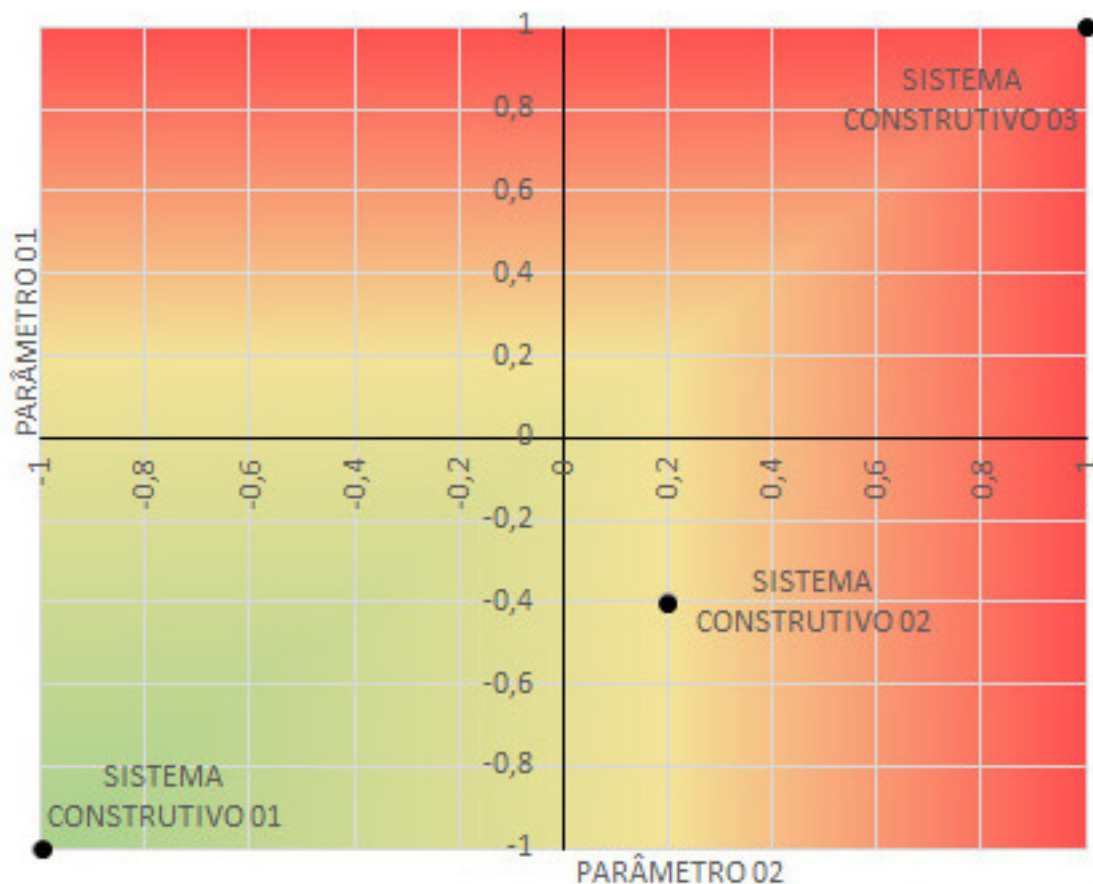
Fonte: Autor.

Ainda para comparação dos sistemas construtivos entre si, segundo os parâmetros estabelecidos, se necessário comparar dois parâmetros simultaneamente para a identificação do sistema construtivo mais adequado, os resultados são apresentados utilizando gráficos de quadrantes, nos quais os resultados são destacados por meio de um sistema de cores:

- A cor verde representa a área onde se encontram os pontos de melhor valor para aquele parâmetro;
- A cor amarela indica a área com valor intermediário para o critério comparado;
- A cor vermelha aponta a área com os piores valores em relação a união dos critérios avaliados.

O Gráfico 03, exemplifica o gráfico de quadrantes utilizado para a comparação simultânea de parâmetros e o esquema de cores aplicado.

Gráfico 3: Modelo de gráfico de quadrantes para a comparação simultânea de parâmetros dos sistemas construtivos estudados.



Fonte: Autor.

Por fim, são avaliados os dados encontrados e estabelecido qual sistema construtivo é mais adequado para a construção de habitações de interesse social em grande quantidade pelo PMCMV.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos dados obtidos na pesquisa, apresentados no item 2, os sistemas construtivos serão avaliados sob os critérios da NBR 15.575-4 e depois comparados entre eles com o objetivo de definir qual é o mais adequado para a construção de casas em grande quantidade pelo PMCMV.

4.1 Avaliação de desempenho segundo a NBR 15.575 – 4

Os sistemas construtivos apresentados (*alvenaria*, *steel framing* e *wood framing*) serão avaliados conforme as especificações de desempenho térmico e acústico da NBR 15.575-4. Serão considerados os painéis descritos nos itens 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3 como representantes de cada um destes sistemas construtivos; nestes itens também estão explicitados os valores considerados de cada painel para verificação se estão de acordo com os critérios mínimos de desempenho estabelecidos pela norma, demonstrados pelos Quadros 14, 15, 17 e 18.

4.1.1 Desempenho térmico e acústico da alvenaria

Para o sistema construtivo em alvenaria, apresentado no item 2.3.1, é considerado um painel formado por tijolos cerâmicos de 6 furos que tenha como revestimento externo uma camada de argamassa de 2,5 cm, internamente será considerado uma camada de argamassa de 2,5 cm; por ser considerado um dos tipos usuais de parede neste sistema construtivo. Conforme descrito no item 2.3.1.4 e ilustrado na Figura 09.

Para este sistema construtivo, quanto ao desempenho térmico, foram obtidos dados em pesquisa efetuada por Lamberts et al. (2010) e por meio de um software desenvolvido na Universidade de Campinas por Moreira e Labaki (2003). Os valores apresentados são respectivamente: 2,59W/m²k para a transmitância térmica, 145 KJ/m²k para a capacidade térmica; e 2,61W/m²k, 176,94 KJ/m²k.

Também foram levados em conta os dados do Quadro 04 que mostra os valores de Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) para os materiais do painel de estudo em alvenaria de acordo com a NBR 15.220-2. A partir destes dados, e do método de cálculo descrito na NBR

15.220-2 foram calculados os valores de transmitância e capacidade térmica do painel em alvenaria. Estes cálculos são apresentados na Apêndice A. Com base no método de cálculo da NBR 15.220-2, os valores da transmitância térmica e da capacidade térmica são de 2,79 W/m²k e 174,80 KJ/m²k, respectivamente.

Os valores considerados para esta pesquisa serão a média obtida pelas pesquisas citadas e os valores calculados. Será considerado para a transmitância térmica o valor de 2,66W/m²k, para a capacidade térmica 165,58 KJ/m²k e para o atraso térmico 3,3 horas.

Quanto ao desempenho acústico foram obtidos dados segundo as pesquisas efetuadas por Ferreira (2004) e Pinto (2011), apresentados nas Tabelas 07 e 08. Com base nestas pesquisas os valores adotados serão de 39dB como índice de redução sonora, e de 41dB para a diferença de nível sonoro conforme explicado no item 2.3.1.3.

A partir destes dados, o painel em alvenaria em estudo pode ser avaliado segundo os critérios da NBR 15.575 apresentados nos Quadros 14, 15, 17 e 18.

Quanto ao desempenho térmico, quando avaliado segundo sua transmitância térmica, o painel de estudo não atende aos requisitos mínimos exigidos para as zonas bioclimáticas 1 e 2, e atenderia as outras zonas bioclimáticas somente se “as fachadas sejam pintadas com cores médias ou claras ($\alpha \leq 0,6$) ” (BERTINI, MARTINS e THOMAZ, 2013) conforme o Quadro 20. Já quanto a capacidade térmica, o painel em alvenaria atende ao desempenho mínimo exigido pela NBR 15.575 – 4 em todas as zonas bioclimáticas brasileiras, conforme o Quadro 21.

Quadro 20: Avaliação da transmitância térmica para o painel em alvenaria.

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

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Quadro 21: Avaliação da capacidade térmica para o painel em alvenaria.

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

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Quanto ao desempenho acústico, o painel em alvenaria atende a todos os critérios mínimos referentes a vedações externas de dormitórios, atingindo nível de desempenho superior na Classe de ruído I, conforme mostra o Quadro 22. Já quanto aos critérios referentes as diferenças de ruído entre ambientes, o painel atinge os valores mínimos para quase todos os casos descritos na norma; ele não atinge o desempenho mínimo em dois casos: em parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório; e em parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como *home theater*, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas. Conforme demonstrado no Quadro 23.

Quadro 22: Avaliação do índice de redução sonoro do painel em alvenaria quanto a paredes de vedação externa de dormitório.

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

Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.

Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Quadro 23: Avaliação da diferença padronizada de nível ponderada do painel em alvenaria quanto a paredes entre ambientes.

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: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Pode-se verificar a partir dos resultados apresentados nos Quadros 20 a 23, que o painel em alvenaria é um sistema construtivo adequado para grande parte dos critérios (referentes a desempenho térmico e acústico) apresentados pela norma NBR15.575-4.

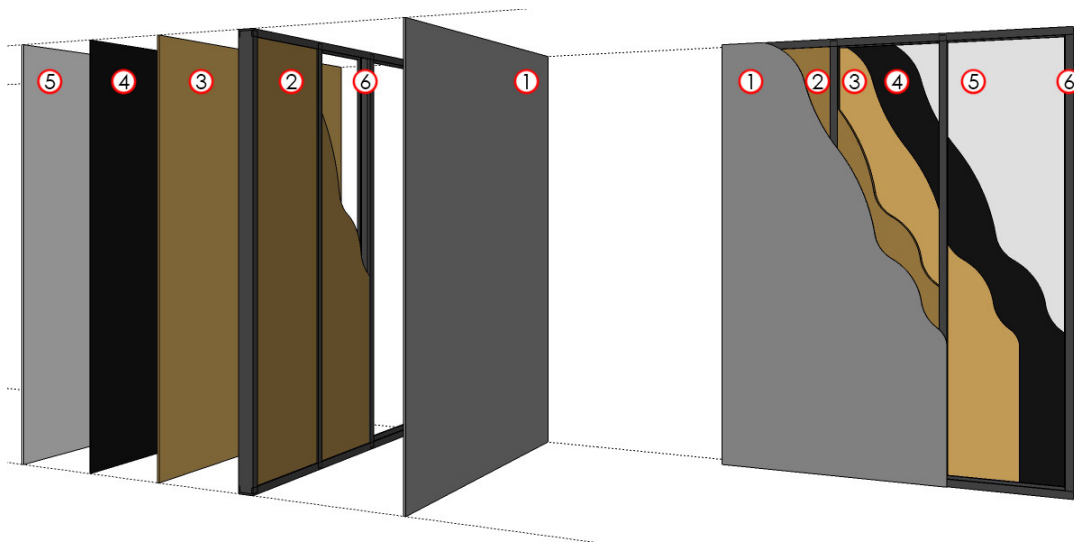
Quanto ao desempenho térmico, este painel mostrou-se inadequado em relação apenas quanto à transmitância térmica das zonas bioclimáticas 1 e 2 por uma pequena diferença ($0,16W/m^2k$) em relação ao nível mínimo de desempenho exigido ($2,50W/m^2k$); isto pode ser solucionado, segundo a norma, através da presença de sombreamento e ventilação adequada do projeto (o que não foi avaliado nesta pesquisa pois ela se detém a avaliação de um painel isolado).

Quanto ao desempenho acústico, este painel se mostrou satisfatório para a maioria dos casos mostrados na norma NBR 15.575-4. Ele não atendeu ao desempenho mínimo em duas situações, sendo necessário, portanto o aumento do isolamento acústico deste painel por meio de outros materiais.

4.1.2 Desempenho térmico e acústico do *steel framing*

Quanto ao sistema construtivo em LSF, apresentado no item 2.3.2, o painel avaliado é descrito no item 2.3.2.1 e ilustrado na Figura 19. Foi considerado um painel com montantes de aço galvanizado M90 (6), com 5 cm de lã de rocha (2) como isolamento entre as placas, o fechamento externo será considerado como de placas cimentícias (1) de 10 mm e o fechamento interno de placas de OSB (3) de 11 mm seguidas de uma membrana de polietileno (4) e gesso acartonado (5) com 12,5 mm. Este painel tem espessura total de 12,35 cm e pode ser considerado um painel usual deste tipo de sistema construtivo e contém os materiais mais comuns para o sistema LSF.

Figura 19: Perspectiva ilustrativa do painel de estudo em *steel framing*.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para este sistema construtivo, quanto ao desempenho térmico, foram obtidos dados em pesquisa efetuada por Palacio (2013), que utilizou um modelo equivalente ao painel de estudo. Os valores obtidos por Paladio (2013) foram: 0,59W/m²k para a transmitância térmica e 56,35 KJ/m²k para a capacidade térmica.

Também foram levados em conta os dados do Quadro 10 que mostra os valores de Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) para os materiais do painel de estudo em *steel framing* de acordo com a NBR 15.220-2. A partir destes dados, e do método de cálculo descrito na NBR 15.220-2, foram calculados os valores de transmitância e capacidade térmica do

painel em *steel framing*. Estes cálculos são apresentados na Apêndice B. Com base no método de cálculo da NBR 15.220-2, os valores da transmitância térmica e da capacidade térmica são, respectivamente, 0,666 W/m²k e 43,50 KJ/m²k.

Os valores considerados para esta pesquisa serão a média obtida entre a pesquisa citada e os valores calculados. Então, serão considerados os valores: da transmitância térmica como 0,628W/m²k, e da capacidade térmica como 49,925 KJ/m²k.

Já para o desempenho acústico, não foram encontrados dados específicos de um painel com composição semelhante ao painel de estudo. Portanto foram obtidos dados de painéis similares para que se possa calcular o índice de redução sonora do painel de estudo.

Inicialmente, foi selecionado entre os painéis pesquisados, aquele com composição mais próxima ao painel de estudo. O painel referente a parede externa do Sistema Construtivo a seco Saint-Gobain - *Light Steel framing* analisado pelo IPT é composto por: um quadro de perfis de aço zincado; com fechamento externo em placas cimentícias de espessura de 10 mm; fechamento interno em drywall com 12,5 mm de espessura; e núcleo em lã de vidro com 50 mm de espessura, conforme descrito no item 2.3.2.4. Este painel difere do painel de estudo apenas pela ausência da chapa de OSB e da membrana hidrófuga. Considerando os dados dos ensaios técnicos realizados pelo IPT relativos ao painel deste sistema, apresentados na Tabela 26, o seu índice de redução sonora é de 50 dB. Como este painel contém menos elementos que o painel de estudo pode-se considerar este índice de redução sonora é menor do que o do painel estudado.

Depois, como fator de comparação são considerados e contrapostos também os valores das outras pesquisas com o objetivo de aferir o índice de redução sonora de cada material. Estes resultados são aproximados pois a justaposição de materiais pode gerar índices de redução sonora maiores. Para esta etapa será considerado o índice de redução acústica da lã de vidro como igual ao da lã de rocha caso as densidades sejam as mesmas especificadas pela citação de Luca (2011) no item 2.3.2.4.

A primeira pesquisa considerada para esta comparação é a de Losso e Viveiros (2004 apud IPT, 2000 e IPT 2002). A Tabela 24 mostra comparação de painéis em LSF compostos por duas ou quatro chapas de drywall de diferentes empresas. Comparando os resultados desta tabela, para os painéis sem lã de vidro, obtém-se a média de R_w (índice de redução sonora ponderada) de 36,6 dB para os painéis com duas camadas de drywall e de 46,3 dB para aqueles com quatro camadas. Levando em conta que os painéis compostos por placas da empresa Knauf apresentaram uma diferença de valores (entre as duas e quatro placas) muito superior às outras (17 dB, enquanto as outras duas marcas apresentaram diferença de apenas 6 dB) estes painéis não foram levados em conta para comparação. Desta maneira a média de R_w passou a ser de 37,5 dB para os sistemas com duas camadas de drywall e de 43,5 dB para aqueles com quatro camadas. Portanto a adição de duas chapas de gesso acartonado aumentou o R_w em 6 dB, ou seja, redução de 3 dB por chapa de drywall *standard*.

Ainda pela pesquisa de Losso e Viveiros (2004 apud IPT, 2000 e IPT 2002), pode-se comparar os resultados das paredes com e sem a presença de uma camada de lã de vidro. Conforme a Tabela 24, considerando apenas os ensaios que utilizaram 50 mm de lã de vidro (esta é a mesma espessura do painel de estudo, espessuras maiores não fazem parte do escopo da pesquisa), obtém-se uma média de 8,8 dB de redução para este isolamento.

O segundo ensaio considerado foi aquele da Brasilit (2007). Conforme mostrado na Tabela 25, este ensaio compara uma parede em LSF com duas placas cimentícias como fechamento com uma com quatro placas cimentícias (duas em cada lado) e isolamento interno em lã de rocha. A primeira atinge uma redução sonora de 45 dB e a segunda de 57 dB. Deste ensaio conclui-se então que a adição de duas placas cimentícias com uma camada de 50mm de lã de rocha aumenta o desempenho de um painel em 12 dB. Levando em consideração os resultados obtidos na pesquisa anterior (R_w da lã de vidro de 8,8 dB) pode-se estimar o índice de redução sonora para as duas placas cimentícias como sendo de 3,2 dB, ou 1,6 dB por placa.

A terceira fonte de dados considerada são os ensaios técnicos do IPT relativos ao Sistema Construtivo a seco Saint-Gobain - *Light Steel framing*, citados

anteriormente neste item. Neste ensaio é comparada a parede descrita anteriormente com uma outra, na qual a placa cimentícia é substituída por uma placa de gesso acartonado; desta maneira o R_w aumenta de 50 dB para 51 dB, conforme a Tabela 26. Pode-se concluir, então, que o R_w do gesso acartonado é 1dB maior que o da placa cimentícia. Com este dado, e as conclusões anteriores, estima-se que o R_w da placa cimentícia está entre 1,6dB e 2dB, e o do gesso acartonado entre 2,6 dB e 3 dB.

O quarto ensaio considerado é o de Luca (2011), que é mostrado no Anexo 01. Neste estudo as paredes 01 e 04 (largura total de 73 mm e 98 mm, respectivamente) são painéis de LSF com uma placa de gesso acartonado em cada lateral; as paredes 02 e 05 adicionam, respectivamente, às anteriores, um núcleo em lã de rocha (50 mm); e as paredes 03 e 06 adicionam, respectivamente, às anteriores, uma placa de gesso acartonado em cada lado. Comparando-se o R_w das paredes 01 e 02 conclui-se que a lã de rocha (50 mm) aumenta, neste caso, o R_w em 8 dB; na contraposição da parede 02 com a 03 pode-se concluir que duas chapas de gesso acartonado aumentam em 6 dB, ou seja, 3 dB a cada chapa. Na comparação da parede 04 com a 05 deduz-se que a lã de rocha (50 mm) eleva, o R_w em 7 dB; enquanto na comparação da parede 05 com a 06 observa-se também o aumento de 6 dB com a adição de duas chapas de gesso acartonado, ou seja, um acréscimo 3 dB a cada chapa. Para este ensaio entende-se que a adição de lã de rocha possui, em média, o índice de redução sonora de 7,5 dB e que a placa de gesso acartonado é equivalente a 3 dB.

O quinto ensaio técnico considerado foi realizado pelo IPT (2013b), sobre o Sistema construtivo LP Brasil OSB em *Light Steel framing*. Conforme descrito no item 2.3.2.4, este ensaio compara dois tipos de paredes em LSF. A primeira possui um núcleo de lã de rocha com espessura de 50 mm e duas placas de drywall de 12,5 mm de espessura; a segunda possui fechamento externo com placas de OSB, membrana hidrófuga e *siding* vinílico e fechamento interno com placas de drywall. Conforme a Tabela 27 o R_w da primeira é de 47 dB enquanto o da segunda é de 39 dB.

A última fonte de dados avaliada é aquela da LP BRASIL (2011), realizada com base em análises do IPT, na qual são expostos resultados para quatro

diferentes paredes. Conforme a Tabela 28, a primeira parede avaliada (com duas chapas de gesso acartonado e duas placas de OSB, tem um índice de redução sonora de 47dB; e a segunda (composta por uma placa de OSB, *siding* vinílico e uma placa de gesso acartonado) tem um R_w de 39dB. Estes resultados foram levantados com materiais do mesmo fabricante pelo mesmo instituto do ensaio técnico descrito acima (IPT, 2013b). Pode-se considerar, portanto, que a primeira parede daquele ensaio (um núcleo de lã de rocha com espessura de 50 mm e duas placas de drywall de 12,5 mm de espessura) foi avaliada sob as mesmas condições da primeira parede deste ensaio. Ambas paredes obtiveram um R_w de 47 dB. Comparando-se as composições das duas pode-se deduzir que o R_w do núcleo de lã de rocha é igual ao de duas chapas de OSB. Considerando os ensaios técnicos e pesquisas avaliados anteriormente o R_w da chapa de OSB pode variar entre 3,75 dB e 4,2 dB.

O Quadro 24 resume as conclusões relativas as pesquisas acima citadas quanto ao índice de redução sonora de cada material avaliado.

Quadro 24: Resumo do índice de redução sonora dos insumos do painel LSF estudado de acordo com as pesquisas avaliadas.

MATERIAL ENSAIO / PESQUISA	PLACA CIMENTÍCIA (10 mm)	LÃ DE ROCHA (50 mm)	OSB (11 mm)	GESSO ACARTONADO (12,5 mm)
LOSSO e VIVEIROS, 2004	-	R_w 8,8 dB	-	R_w 3 dB
BRASILIT, 2007	R_w 1,6 dB	-	-	-
IPT, 2013a (Saint – Gobain)	R_w 2 dB	-	-	R_w 3,6 dB
LUCA (2011)	-	R_w 7,5 dB	-	R_w 3 dB
IPT, 2013b (LP) e LP BRASIL, 2011	-	-	R_w 3,75 – 4,2 dB	-

Fonte: Desenvolvido pelo autor. Com base em valores de LOSSO e VIVEIROS, 2004; BRASILIT, 2007; IPT, 2013a; IPT, 2013b; LP BRASIL, 2011.

Os valores de índice de redução sonora adotados para cada material serão: de 3 dB para o gesso acartonado, pois foi o valor obtido na comparação de três ensaios em duas pesquisas (a de LOSSO e VIVEIROS, 2004; e LUCA, 2011); de 2 dB para a placa cimentícia, pois os valores de R_w deste material se baseiam no valor do gesso acartonado; de 7,93 dB para a lã de rocha, pois é a média de todos os ensaios pesquisados; e de 3,97 dB para a chapa de OSB pois este valor se baseia no valor de R_w da lã de rocha.

Para a composição do painel deve ser considerada também a redução proporcionada pela camada de ar gerada pela distância entre os montantes e pelo material destes. O painel de estudo considera montantes de 90mm, com afastamento de 60 cm entre eixos. A partir das pesquisas acima descritas, foi calculado (Apêndice C) este índice de redução sonora. O que foi realizado reduzindo-se os valores expostos na conclusão acima (de cada componente de revestimento) dos valores totais das composições dos painéis apresentados. A média de valores do índice de redução sonora dos montantes e do espaçamento entre eles é de 34,40 dB.

A partir destes dados e dos valores aproximados de R_w de cada insumo que compõe o painel de estudo, pode-se estimar que este tenha como índice de redução sonora 51,30 dB.

Esta estimativa tem um índice de redução maior daquela do painel que tem a composição mais próxima daquele de estudo (o painel referente a parede externa do Sistema Construtivo a seco Saint-Gobain - *Light Steel framing*). Mas este índice mostrou-se menor do que o previsto, já que o painel citado não tinha a chapa de OSB e possui R_w de 50 dB; enquanto o painel composto possui um R_w de 51,30 dB, o esperado seria este último fosse de 53,97 dB; já que 3,97 dB foi o índice de redução sonora aproximado calculado para a chapa de OSB a partir dos dados das pesquisas.

Para esta pesquisa o índice de redução sonora para o painel de estudo do sistema LSF será considerado como 50 dB, por ser o menor entre os valores finais encontrados, afim de evitar que desempenho acústico do painel seja superestimado;

e porque o método utilizado para obtenção dos outros valores apresenta apenas um valor aproximado.

A partir destes dados, o painel em *steel framing* em estudo pode ser avaliado segundo os critérios da NBR 15.575 apresentados nos Quadros 14, 15, 17 e 18.

Quanto ao desempenho térmico, quando avaliado segundo sua transmitância térmica, o painel de estudo em *steel framing* atende aos requisitos mínimos exigidos para todas as zonas bioclimáticas conforme o Quadro 25. Já quanto a capacidade térmica, conforme o Quadro 26, o painel em *steel framing* atende ao desempenho mínimo exigido pela NBR 15.575 – 4 apenas na zona bioclimática 8, na qual não existe exigência de desempenho quanto a capacidade térmica; já para as outras, o desempenho deste painel não atinge o mínimo exigido.

Quadro 25: Avaliação da transmitância térmica para o painel em *steel framing*.

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 absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Quadro 26: Avaliação da capacidade térmica para o painel em *steel framing*.

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

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Quanto ao desempenho acústico, o painel em *steel framing* atende a todos os critérios referentes a vedações externas de dormitórios, atingindo nível de desempenho superior em todas as Classe de ruído, conforme mostra o Quadro 27.

Já quanto aos critérios referentes as diferenças de ruído entre ambientes, o painel atinge os valores de desempenho mínimos em todos os casos descritos na norma; tendo desempenho superior em quase todos eles, conforme Quadro 28.

Quadro 27: Avaliação do índice de redução sonora do painel em *steel framing* quanto a paredes de vedação externa de dormitório.

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

Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.

Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Quadro 28: Avaliação da diferença padronizada de nível ponderada do painel em *steel framing* quanto a paredes entre ambientes.

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: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Pode-se verificar a partir dos resultados apresentados nos Quadros 25 a 28, que o painel em *steel framing* também é um sistema construtivo adequado para grande parte dos critérios (referentes a desempenho térmico e acústico) apresentados pela norma NBR 15.575-4.

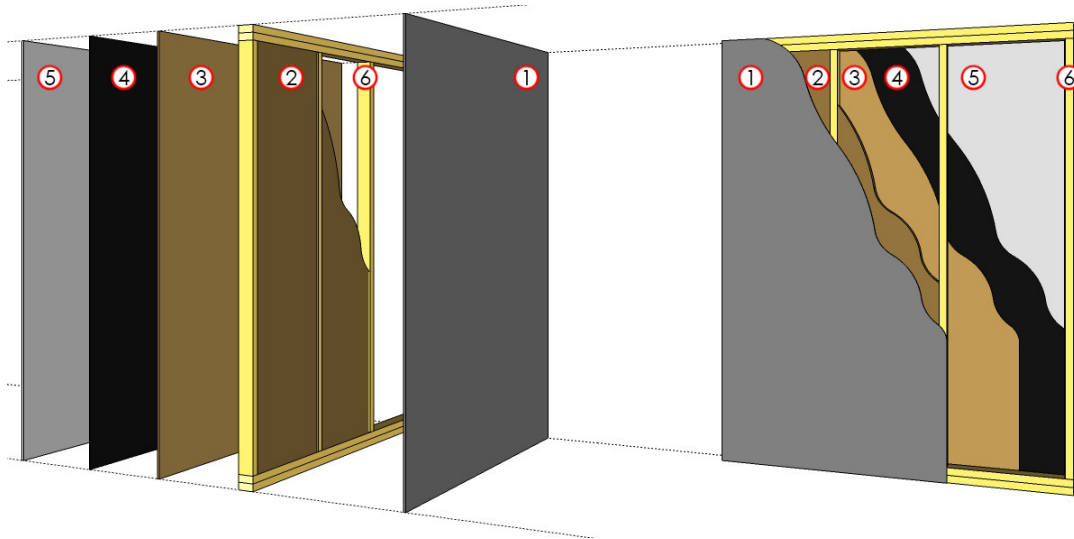
Quanto ao desempenho térmico, este painel mostrou-se inadequado em relação apenas quanto à capacidade térmica para maioria zonas bioclimáticas (da 1 a 7) por uma grande diferença (80,075 KJ/m²k) em relação ao nível mínimo de desempenho exigido (130 KJ/m²k), apenas na zona bioclimática 8 este valor seria aceito. A norma recomenda, neste caso, que seja realizada uma avaliação detalhada, na qual soluções alternativas, como a presença de sombreamento e ventilação adequada do projeto, devem ser adotadas para que o projeto satisfaça as solicitações da NBR15.575-4 (como esta pesquisa avalia apenas um painel isolado a avaliação detalhada não foi realizada).

Já quanto ao desempenho acústico, este painel atingiu o desempenho mínimo em todos dos casos mostrados na norma NBR 15.575-4. O painel de estudo em *steel framing* não atingiu o desempenho superior em apenas duas situações; pode-se concluir, portanto, que este painel tem alto desempenho acústico. Como exemplo da influência deste desempenho, o seu índice de redução sonora é suficiente para anular o som de uma fala alta emitida num recinto adjacente, conforme dados do Quadro 16.

4.1.3 Desempenho térmico e acústico do *wood framing*

Já quanto ao sistema construtivo em WLF, apresentado no item 2.3.3, descrito no item 2.3.3.1 e ilustrado na Figura 20; foi considerado um painel com montantes de madeira maciça (6), com 5 cm de lã de rocha (2) como isolamento entre as placas, o fechamento externo será considerado como de placas cimentícias (1) de 10 mm e o fechamento interno de placas de OSB (3) de 11 mm seguidas de uma membrana de polietileno (4) e gesso acartonado (5) com 12,5 mm. Este painel tem espessura total de 12,35 cm e pode ser considerado um painel usual deste tipo de sistema construtivo e contém os materiais mais comuns para o sistema WLF.

Figura 20: Perspectiva ilustrativa do painel de estudo em *wood framing*.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para este sistema construtivo, quanto ao desempenho térmico, foram obtidos dados em pesquisa efetuada por Ferreira (2012), mas o painel não tem uma composição similar ao painel de estudo. Portanto, os valores que serão considerados foram os obtidos a partir do método de cálculo da NBR 15.220-2, apresentados no Apêndice D. Foram levados em conta os dados do Quadro 13 que mostra os valores de Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) para os materiais do painel de estudo em *wood framing* de acordo com a NBR 15.220-2. A partir destes dados, e do método de cálculo descrito na NBR 15.220-2, foram calculados os valores de transmitância e capacidade térmica do painel em *wood framing*. Com base no método de cálculo da NBR 15.220-2 a transmitância térmica e a capacidade térmica tem como valores, respectivamente, 0,657 W/m²k e 37,35 KJ/m²k.

Assim como para o desempenho térmico, não foram encontrados dados específicos de um painel com composição semelhante ao painel de estudo quanto o desempenho acústico. Portanto foram obtidos dados de painéis similares para que se possa calcular o índice de redução sonora do painel de estudo.

Para o desempenho acústico de painéis em *wood framing* foi encontrada apenas uma pesquisa de ensaios técnicos realizados pelo IFBQ sobre o sistema construtivo TECVERDE. Conforme descrito no item 2.3.3.4, os painéis avaliados foram: os externas com 14 cm de espessura, compostas externamente por chapas

de OSB e placas cimentícias e internamente por chapas de gesso acartonado; e os de geminação com 19 cm de espessura, com placas de gesso acartonado e chapas de OSB nas duas superfícies e com núcleo em lã de vidro de 50 mm. Os valores de redução sonora para estas paredes são respectivamente de 27dB e de 40 dB, conforme a Tabela 34.

A partir desta pesquisa e dos dados levantados na análise do painel de *steel framing* (apresentado no Quadro 24), é estimado o índice de redução sonora do painel em *wood framing*.

Tomando como referência a parede externa do sistema construtivo TECVERDE, é necessário adicionar a lã de rocha para que o painel fique com a mesma composição do painel de estudo. A partir dos dados obtidos no Quadro 24, e das conclusões tomadas a partir das pesquisas sobre o desempenho acústico do sistema *steel framing*, a lã de rocha tem um R_w estimado de 7,93 dB. O painel de estudo teria um índice de redução sonora de 34,93 dB. Mas a parede externa analisada pelo IFBQ possui a placa cimentícia e o painel OSB com espessuras menores do que aquelas do painel de estudo, reduzindo assim a redução sonora da parede como um todo. A parede de geminação não será tomada como referência, pois tem uma espessura de montantes maior do que a do painel de estudo.

Como este foi o único estudo encontrado como referência para redução acústica em painéis de *wood framing* no contexto brasileiro, será utilizado como índice de redução acústica para o painel em *wood framing* 34,93 dB, mesmo que o painel de referência apresente componentes de menor espessura.

A partir destes dados, o painel em *wood framing* em estudo pode ser avaliado segundo os critérios da NBR 15.575-4 apresentados nos Quadros 14, 15 17 e 18.

Quanto ao desempenho térmico, quando avaliado segundo sua transmitância térmica, o painel de estudo atende aos requisitos mínimos exigidos para todas as zonas bioclimáticas conforme o Quadro 29. Para a capacidade térmica, o painel em *wood framing* atende ao desempenho mínimo exigido pela NBR 15.575 – 4 apenas na zona bioclimática 8, na qual não existe exigência de desempenho quanto a

capacidade térmica; enquanto que, para as outras zonas, o desempenho deste painel não atinge o mínimo exigido, conforme o Quadro 30.

Quadro 29: Avaliação da transmitância térmica para o painel em *wood framing*.

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 absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Quadro 30: Avaliação da capacidade térmica para o painel em *steel framing*.

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

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Quanto ao desempenho acústico, o painel em *wood framing* não atende a todos os critérios mínimos referentes a vedações externas de dormitórios, embora ele quase atinja o nível de desempenho superior na Classe de ruído I, seu desempenho mostra-se insuficiente para atingir o desempenho mínimo da Classe de ruído III, conforme mostra o Quadro 31.

Já quanto aos critérios referentes as diferenças de ruído entre ambientes, o painel atinge os valores de desempenho mínimos para apenas um dos casos descritos na norma, conforme Quadro 32.

Quadro 31: Avaliação do índice de redução sonora do painel em *wood framing* quanto a paredes de vedação externa de dormitório.

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

Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.

Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Quadro 32: Avaliação da diferença padronizada de nível ponderada do painel em *wood framing* quanto a paredes entre ambientes.

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: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. Editado pelo autor.

Pode-se verificar a partir dos resultados apresentados nos Quadros 29 a 32, que o painel em *wood framing*, é um sistema construtivo adequado para alguns dos critérios (referentes a desempenho térmico e acústico) apresentados pela norma NBR15.575-4.

Quanto ao desempenho térmico, este painel mostrou-se inadequado em relação apenas quanto à capacidade térmica para maioria zonas bioclimáticas (da 1

a 7) por uma grande diferença (92,65 KJ/m²k) em relação ao nível mínimo de desempenho exigido (130 KJ/m²k), apenas na zona bioclimática 8 este valor seria aceito. A norma recomenda, neste caso, que seja realizada uma avaliação detalhada, na qual soluções alternativas, como a presença de sombreamento e ventilação adequada do projeto, devem ser adotadas para que o projeto satisfaça as solicitações da NBR15.575-4 (como esta pesquisa avalia apenas um painel isolado a avaliação detalhada não foi realizada).

Já quanto ao desempenho acústico, este painel atingiu o desempenho mínimo apenas em alguns dos casos mostrados na norma NBR 15.575-4. Como o desempenho acústico deste painel foi estimado com base em outro com componentes de menor espessura, pode-se inferir que ele tenha um desempenho acústico melhor do que o apresentado, atingindo ao menos 35 dB. Isto faria com que este painel atingisse o desempenho mínimo em todas as classes de ruído, com desempenho superior na classe de ruído I. Quanto às paredes entre ambientes, ele manteria o seu desempenho anterior, passando a obter apenas um desempenho intermediário na categoria onde já havia atingido o mínimo exigido.

Por ser um sistema novo no Brasil, o sistema construtivo *wood light framing* ainda não foi testado na mesma proporção que os outros sistemas construtivos estudados, com uma maior base de dados acredita-se que o painel de estudo poderia ser melhor avaliado.

4.1.4 Resumo comparativo entre os sistemas com base nos critérios da NBR 15.575

Nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3; os métodos construtivos foram avaliados conforme as especificações de desempenho térmico e acústico da NBR 15.575-4.

Quanto ao desempenho térmico, nenhum dos painéis atendeu a todos os critérios de transmitância térmica e capacidade térmica da norma de desempenho. O painel em alvenaria não atendeu aos critérios mínimos de transmitância térmica, mas quanto a capacidade térmica esse painel foi o único a atingir o desempenho mínimo. Os painéis de estudo em *steel framing* e *wood framing* tiveram desempenho semelhante: quanto a transmitância térmica eles atenderam a todas as exigências da norma, mas quanto a capacidade térmica eles não atingiram os valores mínimos

exigidos para grande parte das zonas bioclimáticas (01 a 07). Se avaliados apenas os valores destes painéis o *steel framing* tem desempenho melhor nos dois critérios citados em comparação com o *wood framing*.

Já quanto ao desempenho acústico a diferença fica mais evidente. O painel em *steel framing* obteve desempenho muito superior aos outros, atendendo a todos os critérios mínimos estabelecidos. O painel em alvenaria obteve desempenho intermediário e aquele em *wood framing* teve o pior desempenho entre os sistemas avaliados.

É importante considerar que, ao comparar o desempenho acústico dos sistemas *steel framing* e *wood framing* com as suas composições, percebe-se que o resultado esperado não foi o encontrado. As composições dos dois sistemas diferem apenas no material de seus montantes e guias (estrutura) e suas espessuras são equivalentes, portanto seu desempenho acústico deveria ser similar. No entanto, o resultado encontrado foi divergente: o desempenho acústico encontrado para o painel em *steel framing* é de 50 dB enquanto o índice de redução sonora encontrado para o painel em *wood framing* é de 34,93dB.

Ao analisar estes resultados deve-se considerar que, quanto ao desempenho acústico do sistema construtivo *wood framing*, foi obtida apenas uma fonte de dados que analisou um painel diferente daquele de estudo. Como já discutido no item 4.1.3, esse painel foi tomado como referência (por ser a única fonte de dados disponível) para a composição do índice de redução sonora.

Analisando os dados da composição do índice de redução sonora do *wood framing* num processo inverso, ou seja, reduzindo os valores de redução sonora de cada componente de revestimento (chapa de OSB, placa cimentícia chapas de gesso acartonado e lã de rocha) pode-se chegar ao valor de redução sonora referente à câmara de ar resultante do espaçamento entre os montantes e ao material destes.

Utilizando como referência os dados obtidos no Quadro 24 e as conclusões tomadas a partir das pesquisas sobre o desempenho acústico sistema *steel framing*; tem-se como resultado de redução sonora para a câmara de ar resultante do

espaçamento entre os montantes um valor de 18,03 dB. Este valor difere muito do valor estabelecido para a câmara de ar e montantes do sistema *steel framing* (33,85 dB). Como grande parte da redução sonora é gerada pela câmara de ar nesta comparação, acredita-se que o valor obtido referente ao sistema *wood framing* não corresponda ao valor real.

Embora conclua-se que o índice de redução sonora do *wood framing* não corresponda a um valor exato para comparação, esse será utilizado pois não foram encontrados dados relativos à outros ensaios neste sistema construtivo

Portanto considera-se, com base nos dados dos itens (4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3), o *steel framing* (entre os três sistemas avaliados) como o método construtivo que melhor atendeu às exigências dos critérios de desempenho da norma de desempenho NBR 15.575-4.

4.2 Comparação dos sistemas construtivos

Os sistemas construtivos apresentados (alvenaria, *steel framing* e *wood framing*) serão avaliados conforme os critérios apresentados no item 2. Serão considerados os painéis descritos nos itens 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3 como representantes de cada um destes sistemas construtivos; nestes itens também estão explicitados os valores considerados de cada painel para cada critério de comparação.

4.2.1 Custo e produtividade

Como esta pesquisa tem como objetivo definir qual é o método mais adequado para a construção de casas em grande quantidade pelo PMCMV, o custo de cada sistema e a sua produtividade são fatores importantes, pois quanto mais barato e eficiente o sistema, melhor ele será para a construção de casas em série e grande quantidade.

Para a definição do custo e produtividade de cada método construtivo foram obtidos dados por meio de pesquisas acadêmicas, fabricantes e empresas de construção civil sobre o valor dos insumos, mão-de-obra e tempo de execução de cada sistema. Para que, desta maneira, eles possam ser comparados e determinado

qual deles tem a melhor relação entre custo e produtividade. Sendo, então, o mais adequado para a construção de casas em grande quantidade pelo PMCMV.

4.2.1.1 Custo e produtividade da alvenaria

A alvenaria é um material que possui uma grande variação entre o rendimento dos componentes. Conforme descrito no item 2.3.1.1 foram utilizados valores médios para cada um deles, segundo o TCPO (2010, p.225) o índice médio de rendimento de argamassa é de 13,8 l/m². Cumpre ressaltar que o rendimento pode chegar a 43,5l/m², mais de três vezes o rendimento médio, exemplificando o alto índice de desperdício de insumos nesse método construtivo. O rendimento dos blocos cerâmicos foi calculado por meio de fórmulas baseadas em seu tamanho. Considerando as variáveis indicadas na Figura 3 e utilizando como valores a = 19cm, b = 9cm, ev = 1cm, eh = 1cm; a fórmula $Med(un/m^2) = 1,11/[(a+ev).(b+eh)]$ (TCPO, 2010, p.255) traz como rendimento médio o valor de 55,5 tijolos por metro quadrado de alvenaria. Adotando-se a fórmula para o pior rendimento, seriam utilizados 62,5 tijolos por metro quadrado, quantidade 10% maior da utilizada no rendimento médio.

Segundo a tabela de custos em vigência da Paraná Edificações, baseada na tabela SINAPI (elaborada pela CAIXA e IBGE), o custo para a produção de um metro quadrado do assentamento de alvenaria é de R\$ 41,39, conforme o Quadro 02. Ainda, segundo este quadro, seriam gastos neste painel 1,2 hora de um pedreiro e 1,2 hora de um servente; o custo do metro quadrado da argamassa de revestimento seria de R\$ 21,24, e seria necessária mais 0,7 hora de um pedreiro e 0,7 hora de um servente.

Já para o TCPO (2010), esta produtividade seria maior. A produtividade mínima para um pedreiro seria de 0,74 hora por metro quadrado de alvenaria; enquanto que, para um servente, seria de 0,44 hora.

Ainda são levados em conta os dados de Hass e Martins (2009 apud Domaraski e Fagiani) que, conforme o Quadro 03, determinam a produtividade de 2,10 homem hora pra um metro quadrado de alvenaria, já para o emboço a produtividade é de 1,71 homem hora por metro quadrado. Dividindo estes valores entre um pedreiro e um servente, são 1,05 hora trabalhada por operário na

composição da alvenaria e 0,855 hora para cada um deles no revestimento em argamassa.

Os valores adotados para esta pesquisa serão a média dos dados encontrados. O valor total para um metro quadrado de alvenaria com revestimento de 2,5 cm em argamassa em cada superfície lateral é de R\$ 83,87; já a quantidade de horas necessárias é de 1,89 hora para a alvenaria e de 2,86 horas para os dois lados da argamassa de revestimento; totalizando 4,75 horas para um metro quadrado do painel em alvenaria estudado.

4.2.1.2 Custo e produtividade do *steel framing*

O custo para o metro quadrado do painel de estudo foi obtido por meio de pesquisa de preços em empresas que executam obras no sistema LSF, em empresas de material de construção que vendem os insumos necessários para a construção do painel de estudo e em pesquisas anteriores. Estes custos foram apresentados no item 2.3.2.2.

Para as empresas que executam o sistema LSF foram obtidos dois valores: na Placo Center o preço do painel (placa cimentícia, perfis de aço, chapa de OSB, e gesso acartonado) pode variar entre 200 e 260 R\$/m² (será considerado como 230 R\$/m², por ser a média entre os dois valores); já para a empresa Wall System o painel (placa cimentícia, perfis de aço e chapa de gesso acartonado) tem um custo de 167,6 R\$/m².

Também foram coletados os valores dos insumos separadamente, afim de possibilitar a composição de preços do painel de estudo. A partir dos valores apresentados no Quadro 05, serão adotados os seguintes preços para cada insumo (média dos valores obtidos): R\$96,70 para a placa cimentícia (R\$33,57/m²); R\$40,16 (R\$13,94/m²) para a chapa de OSB (foi desconsiderado o valor da empresa Wall System pois estava muito distante de todos os outros valores obtidos); R\$29,95 (R\$10,40/m²) para a placa de gesso acartonado *standard*; R\$21,86 /m² para a lâ de rocha; e R\$4,89/m² para a membrana hidrófuga.

Utilizando como base o preço do painel da Placo Center adicionando os insumos (lâ de rocha e membrana hidrófuga), que faltam para que tenha a mesma composição do painel de estudo, o preço total é de R\$ 256,75/m². Enquanto que, se

utilizarmos como base o preço fornecido pela empresa Wall System adicionando os insumos (chapa de OSB, lâ de rocha e membrana hidrófuga), que faltam para que este painel fique equivalente ao de estudo, obtemos o preço final de R\$208,29/m². Estes preços têm como referência o mês de março de 2014 e não consideram a mão-de-obra para os insumos que foram adicionados.

Para os valores obtidos em pesquisas anteriores a 2014, foram atualizados os preços com base no *website* Calculador (2014). Este *website* fornece uma ferramenta de atualização de preços com base em índices de inflação brasileiros. Os valores desta pesquisa foram atualizados com base no INCC (Índice Nacional da Construção Civil). Estes valores são estimados e podem não corresponder exatamente ao preço real de mercado, mas serão utilizados como uma referência aproximada para a atualização dos preços de pesquisas anteriores.

Em Zatt (2010) são apresentados os custos de materiais e mão-de-obra para a montagem de um painel em *steel framing* com acabamento em placas cimentícias e isolamento em manta *tyvek* (Quadros 06 e 07). Os valores atualizados, segundo o *website* Calculador, são: R\$23,43/m² para os perfis metálicos (esta correção de valores é colocada como exemplo no Anexo C); R\$ 4,09/m² para a manta *tyvek*; e R\$21,07/m² para a placa cimentícia; e R\$52,43/m² para a mão-de-obra para a instalação destes materiais. Para os acabamentos, os valores atualizados são os seguintes: R\$10,34/m² de material para o tratamento das juntas internas e externas e R\$8,04/m² para a mão-de-obra deste tratamento. O total de custos atualizados deste painel seria de R\$ 48,59/m² para os materiais e de R\$ 70,81/m² para a mão-de-obra.

Com base no painel apresentado em Zatt (2010), e no Quadro 05, pode-se compor o preço do painel de estudo baseado na pesquisa de 2010. Retirando-se os valores da manta *tyvek* e da placa cimentícia (a manta não é utilizada no painel de estudo e o valor da placa cimentícia atualizado foi obtido com mais exatidão por meio de pesquisa de preços) fica-se apenas com o valor dos perfis metálicos (R\$23,43/m²), com a adição dos outros materiais (placa cimentícia, lâ de rocha, membrana hidrófuga, chapa de OSB e chapa de gesso acartonado) obtém-se o valor total de R\$ 108,09/m² para os materiais e de R\$ 70,81/m² para a mão-de-obra, o valor do metro quadrado do painel de estudo com base nesta pesquisa é de R\$178,9/m². Pode-se inferir que este valor está abaixo dos outros, pois, quanto à

mão-de-obra, ele contempla apenas os serviços de instalação da estrutura, da colocação de isolamento térmico, das placas cimentícias e do tratamento das juntas; a colocação da chapa de OSB, da membrana hidrófuga e das chapas de gesso acartonado não foi considerado.

Outra pesquisa que apresenta os preços para o sistema LSF é a de Hass e Martins (2011). Ela apresenta um detalhamento de todos os insumos necessários para a composição de um painel em LSF composto por: perfis metálicos, placa de gesso acartonado, membrana hidrófuga, placa cimentícia e *siding* vinílico. O Quadro 33 apresenta os valores do Quadro 08 atualizados por meio do *website* Calculador utilizando o INCC como referência. No Quadro 33, são adaptados também os valores referentes à quantidade, para que estes representem apenas um metro quadrado de um painel em *steel framing*, visto que, no Quadro 08 eram representados os valores para 118 metros quadrados de LSF.

Quadro 33: Composição de preços atualizados para a construção de uma parede em LSF.

CUSTO PAINEL LSF EM R\$/M ²				R\$	172,94
Fitas para juntas de gesso	ml	1,03	R\$ 0,23	R\$	0,24
Massa para juntas de gesso	kg	0,39	R\$ 1,83	R\$	0,71
Parafuso placas de gesso 25mm	unid	34,95	R\$ 0,05	R\$	1,75
Mão de obra revestimento interno	m ²	1,00	R\$ 14,83	R\$	14,83
Membrana hidrofuga	m ²	0,83	R\$ 3,88	R\$	3,22
Placa Cimenticia 1,20x2,40m x10mm	m ²	1,00	R\$ 84,56	R\$	84,56
Parafuso placa cimenticia	unid	25,91	R\$ 0,08	R\$	2,07
Siding vinilico	m ²	1,00	R\$ 29,36	R\$	29,36
Perfil de inicio	ml	0,43	R\$ 6,44	R\$	2,77
Perfil de arremate	ml	1,08	R\$ 5,07	R\$	5,47
Cantoneira externa	ml	0,15	R\$ 14,99	R\$	2,25
Cantoneira Interna	ml	0,05	R\$ 10,26	R\$	0,51
Perfil de termino	ml	0,43	R\$ 4,44	R\$	1,91
parafuso para siding vinilico	unid	23,46	R\$ 0,07	R\$	1,64
Mão de obra revestimento Externo	m ²	1,00	R\$ 21,65	R\$	21,65

Fonte: HASS e MARTINS, 2011. Editado pelo autor com base em CALCULADOR, 2014.

Atualizando-se os preços dos insumos apresentados por Hass e Martins em 2011, chega-se ao valor de R\$ 172,94/m². Adicionando-se a este valor os insumos que faltam (lã de rocha, chapa OSB e chapa de drywall) e retirando o *siding* vinílico,

este painel tem composição idêntica ao de estudo, com valor total de R\$189,71/m². Este valor não considera a mão-de-obra para os insumos que foram adicionados.

Ainda a partir de Hass e Martins (2011 apud DOMARASKI e FAGIANI, 2009), tem-se a produtividade do sistema construtivo LSF, demonstrada no Quadro 09. Considerando-se a produtividade da instalação da chapa de OSB e da colocação da chapa de gesso acartonado como iguais àquela do fechamento com placas cimentícias; chega-se a um valor total de 1,82 homem hora por metro quadrado como produtividade do painel de estudo em LSF.

Considerando que, um metro quadrado do painel de Hass e Martins (2011) consome 1,32 homem hora (montar a estrutura, fechamento com placas cimentícias e acabamentos) e que o custo atualizado desta mão-de-obra é estimado em R\$ 36,48/m² (Quadro 33); pode-se estimar o custo da homem hora como R\$ 27,63.

Para estimar o custo da mão-de-obra para o painel de estudo deve-se, então, adicionar ao painel de Hass e Martins (2011): 0,22 homem hora para a colocação da chapa de gesso; 0,22 homem hora para a colocação da chapa de OSB; 0,06 homem hora para a instalação da membrana hidrófuga; e 0,06 homem hora para a instalação da lã de rocha. Adicionando estes valores ao painel de Hass e Martins, o custo estimado da mão-de-obra para o painel de estudo seria de R\$51,95/m².

Com base nesta informação podem-se completar os custos obtidos que não tinham o valor da mão-de-obra definida para certos insumos. Ao painel baseado em Placo Center foram adicionados a lã de rocha e a membrana hidrófuga, somando-se 0,06 homem hora à montagem deste painel; também deve ser considerada a mão-de-obra para acabamentos que equivale a 0,85 homem hora por metro quadrado. Portanto, o custo final deste painel é de R\$ 281,89/m².

Para o painel baseado em Wall System foram adicionados a chapa de OSB, lã de rocha e membrana hidrófuga, adicionando 0,28 homem hora à montagem deste painel; também deve ser adicionado a mão-de-obra para acabamentos que equivale a 0,85 homem hora por metro quadrado. O custo final deste painel será então, R\$ 239,51/m².

Para o painel baseado em Zatt (2010) foram adicionados a placa cimentícia, lã de rocha, membrana hidrófuga, chapa de OSB e chapa de gesso acartonado, adicionando-se 0,5 homem hora à montagem deste painel (a homem hora da placa

cimentícia e dos acabamentos já tinha sido considerada na pesquisa e portanto não foi adicionada). O custo final deste painel será então, R\$ 192,71/m².

Para o painel baseado em Hass e Martins (2011), basta subtrair o valor da mão-de-obra do painel de estudo para obter o valor da mão-de-obra que deve ser adicionada ao valor final encontrado na pesquisa. O custo final deste painel será, então, R\$ 205,18/m².

Analisando a produtividade isoladamente, foram também analisados dados de fora do contexto brasileiro, afim de se avaliar um processo de produção mais desenvolvido e industrializado. A partir dos dados do HUD/U.S., apresentados na Tabela 29, o LSF tem uma produtividade de 0,58 homem hora/m² para a parede estrutural e de 0,25 homem hora/m² para a parede não estrutural avaliada. Pela composição da parede estrutural (compostas pelos montantes e por duas placas de OSB, lã de vidro, drywall e *siding* de madeira) ser similar à do painel de estudo - considerando o tempo de instalação da chapa de OSB como igual ao da placa cimentícia e o tempo de colocação da membrana hidrófuga como igual ao do *siding* de madeira – pode-se concluir que a produtividade do painel de estudo (com referência ao contexto da produção industrializada norte americana do LSF) é de 0,58 homem hora/m².

Para esta pesquisa será considerada a média de custos dos painéis estudados. O valor considerado para o painel representante do sistema construtivo LSF é de R\$ 229,82/m² e a sua produtividade é de 1,88 homem hora por metro quadrado. Também será considerado, para comparação, a produtividade de 0,58 homem hora/m² (com referência ao contexto da produção industrializada norte americana do LSF).

4.2.1.3 Custo e produtividade do *wood framing*

O custo para o metro quadrado do painel em WLF de estudo foi obtido por meio de pesquisa de preços em empresas que executam obras neste sistema, em empresas de material de construção que vendem os insumos necessários para a construção do painel de estudo e em pesquisas anteriores. Estes custos foram apresentados no item 2.3.3.2.

Para a pesquisa de preços em empresas que vendem material de construção, podem ser considerados os preços do Quadro 03, assim como os valores apresentados no item 4.2.1.2 referentes a este quadro, pois os insumos pesquisados para o sistema construtivo LSF também podem ser utilizados para a composição do painel em *wood framing*.

Assim como no painel em LSF, para os valores obtidos em pesquisas anteriores a 2014, foram atualizados os preços com base no *website* Calculador (2014). Estes valores são estimados e podem não corresponder exatamente ao preço real de mercado, mas serão utilizados como uma referência aproximada para a atualização dos preços de pesquisas anteriores.

Em Espindola (2010) são apresentados os custos de materiais para a montagem de um painel em *wood framing* com acabamento em placas de OSB e gesso acartonado, conforme o Quadro 11. Neste quadro são apresentados os preços dos materiais referentes a 3,264 m². O Quadro 34 apresenta os valores do Quadro 11 atualizados por meio do *website* Calculador utilizando o INCC como referência. No Quadro 34 são adaptados os valores referentes à quantidade, para que estes representem os valores para apenas um metro quadrado de um painel em *wood framing*.

Quadro 34: Custos dos insumos atualizados para a composição de um painel em WLF.

Material	Quantidade	Preço (R\$)	Preço total (R\$)
CUSTO PAINEL WLF EM M²			59,15
Montante 4 cm × 9 cm	3,33 m	7,44	24,77
Travessa 4 cm × 9 cm	0,73 m	7,44	5,43
Chapa OSB parede 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	0,30 un.	16,10	16,10
Gesso acartonado 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	0,30 un.	12,85	12,85

Fonte: ESPINDOLA, 2010.

O custo apresentado por Espindola (2010) não apresenta o custo para mão-de-obra. Para que este painel tenha a mesma composição do painel de estudo é necessário adicionar a ele: a membrana hidrófuga, a placa cimentícia e a lâ de rocha. A partir dos valores obtidos a partir do Quadro 03, o valor total para este painel é de R\$ 119,47/m².

Outra pesquisa na qual foram obtidos dados sobre o sistema WLF é a de Torquato (2010), que apresenta, no Quadro 12 uma composição de preços

detalhada para um metro quadrado de um painel de WLF com uma chapa de OSB e isolamento em lã de rocha. Além disso, este quadro apresenta a produtividade do sistema. O Quadro 35 apresenta os valores do Quadro 12 atualizados por meio do *website* Calculador utilizando o INCC como referência.

Quadro 35: Composição de preços para um painel em WLF.

CUSTO PAINEL WLF EM M ²	m2	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
Chapa OSB 1,22x2,44m e=12,0mm	ud	0,78	35,18	27,44
Montante pinus 4x9"	m	4,63	2,56	11,85
Pregos com cabeça 17x27 (242/Kg)	kg	0,21	7,81	1,64
Placa lã de rocha 1,35x0,60m	m2	1,08	12,46	13,45
Carpinteiro	h	1,32	11,76	15,52
Ajudante de Carpinteiro	h	1,00	9,11	9,11
Total Unitário do Serviço				79,11

Fonte: TORQUATO, 2010.

Para que este painel, apresentado por Torquato (2010), tenha a mesma composição do painel de estudo é necessário adicionar a ele: a membrana hidrófuga, a placa cimentícia e a chapa de gesso acartonado. A partir dos valores obtidos com base no Quadro 03, o valor total para este painel é de R\$ 127,97/m². Este preço tem não considera a mão-de-obra para os insumos que foram adicionados.

A partir dos dados apresentados no Quadro 35, pode-se observar também que são necessárias 2,32 homem hora (1,32 hora de um carpinteiro e 1 hora de um ajudante) para a montagem de um metro quadrado do painel descrito por Torquato (2010). Este tempo de montagem é referente a um estudo da execução do sistema *wood frame in loco*, não envolvendo uma parte do processo com pré-fabricação.

Pode-se considerar que para a colocação dos insumos (membrana hidrófuga, a placa cimentícia e a chapa de gesso acartonado), para que o painel apresentado por Torquato (2010) tenha a mesma composição do painel de estudo, seja necessária a mesma quantidade de horas que no painel em LSF. Dado que, a instalação e montagem destes insumos (membrana hidrófuga, a placa cimentícia e a chapa de gesso acartonado) é igual nos dois sistemas construtivos. Então, a partir dos dados do Quadro 09, será adotado para a colocação da placa cimentícia 0,22 homem hora/m²; para a chapa de gesso acartonado 0,22 homem hora/m²; para a

membrana hidrófuga 0,06 homem hora/m²; também será adicionado o tempo necessário para acabamentos, de 0,85 homem hora/m².

Considerando que a montagem do painel em WLF é dividida entre um carpinteiro e um ajudante, na proporção de 1,32:1 pode-se dizer que: a colocação da placa cimentícia necessita de 0,125 hora de um carpinteiro e 0,095 hora de um ajudante; a colocação da placa de gesso acartonado necessita de 0,125 hora de um carpinteiro e 0,095 hora de um ajudante; a colocação da membrana hidrófuga necessita de 0,034 hora de um carpinteiro e 0,026 hora de um ajudante; e os acabamentos necessitam de 0,49 hora de um carpinteiro e 0,36 hora de um ajudante.

Deste modo, adicionando os insumos (membrana hidrófuga, a placa cimentícia e a chapa de gesso acartonado) e 1,35 homem hora (0,77 hora de um carpinteiro e 0,58 hora de um ajudante) ao painel apresentado por Torquato (2010), obtém-se o valor do painel de estudo. O Quadro 36 apresenta os valores da tabela de custos da Paraná Edificações para o custo da mão-de-obra de um carpinteiro e um ajudante de carpinteiro.

Quadro 36: Custo da mão-de-obra de carpinteiro e ajudante de carpinteiro

Código	Descrição	Unidade	Valor
1214	CARPINTEIRO	H	11,84
6117	AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	9,09

Fonte: PARANÁ, 2014.

Os custos da mão-de-obra considerados, para esta pesquisa, serão os apresentados no Quadro 36; uma vez que, os dados obtidos no Quadro 35 são estimados a partir do INCC. Portanto, o valor do painel de estudo com base no painel de Torquato (2010) é de R\$ 142,35/m².

Para estimar o valor do painel de estudo com base na parede de Espindola (2010), deve-se adicionar ao custo levantado o valor da mão-de-obra para todos os serviços. Com base nas conclusões tomadas, fundamentadas nos Quadros 09 e 35, pode-se considerar que, para a montagem de um metro quadrado do painel de estudo são necessárias 3,67 horas (incluindo neste valor 0,85 homem hora para os acabamentos), 1,58 hora de um ajudante e 2,09 horas de um carpinteiro.

Com base nestes mesmos valores o painel de estudo com base no painel apresentado por Espindola (2010), tem o valor de R\$ 158,57/m². Este valor foi obtido adicionando-se: a membrana hidrófuga, a placa cimentícia, a lã de rocha e a mão-de-obra para a execução de todos os serviços.

Assim como para o sistema LSF foi analisada a produtividade isoladamente, a partir de dados de fora do contexto brasileiro. Afim de se avaliar um processo de produção mais desenvolvido e industrializado; o que, atualmente, começa a ser praticado no Brasil por algumas empresas. A partir dos dados do HUD/U.S., apresentados na Tabela 29, o WLF tem uma produtividade de 0,46 homem hora/m² para a parede estrutural e de 0,36 homem hora/m² para a parede não estrutural avaliada. Pela composição da parede estrutural (compostas pelos montantes e por duas placas de OSB, lã de vidro, drywall e *siding* de madeira) ser similar à do painel de estudo - considerando o tempo de instalação da chapa de OSB como igual ao da placa cimentícia e o tempo de colocação da membrana hidrófuga como igual ao do *siding* de madeira – pode-se concluir que a produtividade do painel de estudo (com referência no contexto da produção industrializada norte americana do WLF) é de 0,46 homem hora/m².

Para esta pesquisa será considerado a média de custos dos painéis estudados. O valor considerado para o painel representante do sistema construtivo WLF é de R\$ 150,46/m² e a sua produtividade é de 3,67 homem hora por metro quadrado. Também será considerado, para comparação, a produtividade de 0,46 homem hora/m² (com referência no contexto da produção industrializada norte americana do WLF).

4.2.1.4 Comparativo de custo e produtividade

Para comparar os sistemas construtivos apresentados (*alvenaria*, *steel framing* e *wood framing*) a partir de seu custo e produtividade por metro quadrado serão considerados os valores descritos nos itens 4.2.1.1, 4.2.1.2 e 4.2.1.3.

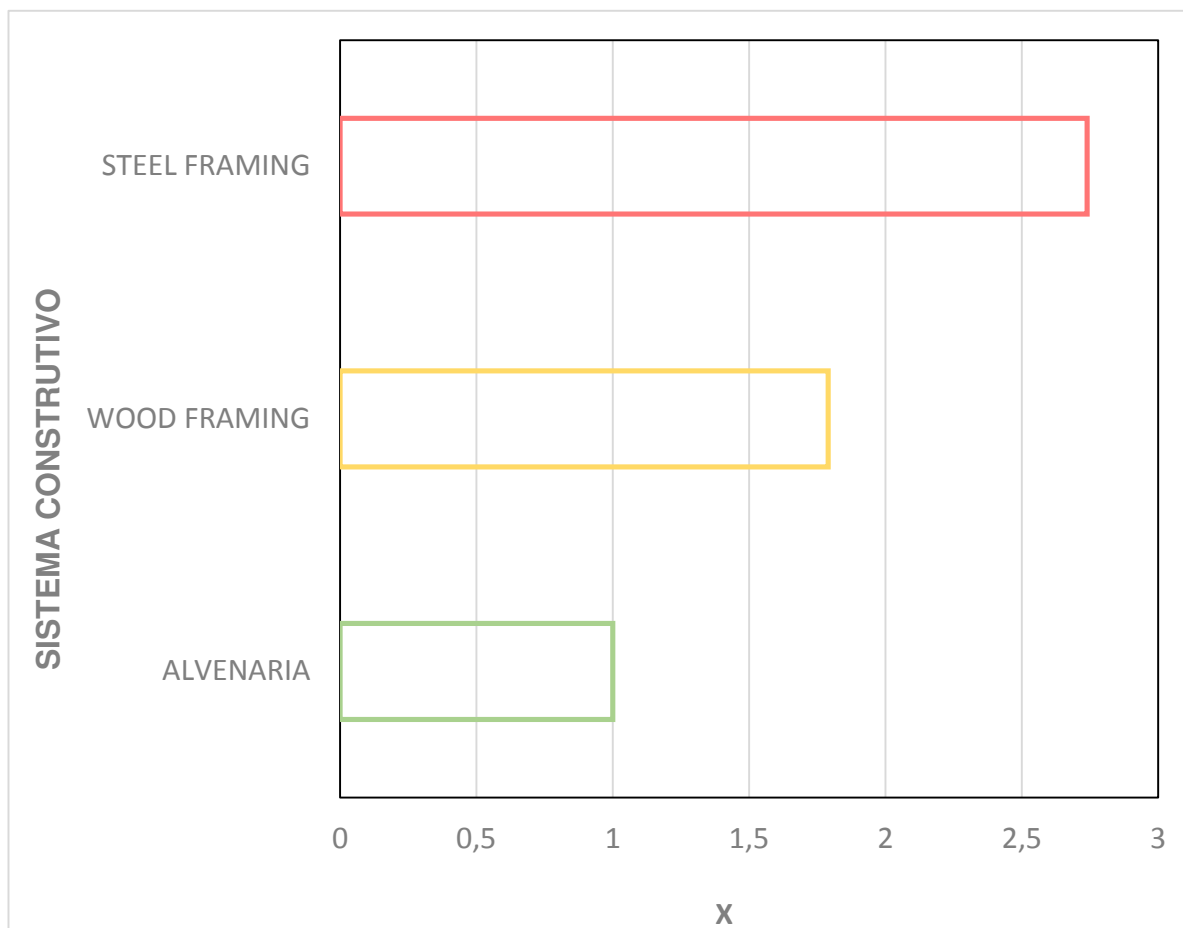
Quanto ao custo considera-se que o painel com menor valor por metro quadrado é o mais adequado para a construção de habitações de interesse social no PMCMV. Para a comparação quanto a esse critério estabeleceu-se o painel de

menor custo como referência; os outros serão representados por valores baseados no valor do painel de menor custo.

Para os sistemas construtivos apresentados são considerados os seguintes valores: R\$ 83,87/m² para a alvenaria, R\$ 229,82/m² para o *steel framing* e R\$ 150,46/m² para o *wood framing*.

O sistema construtivo com menor custo é a alvenaria, portanto, para valores de comparação, o custo deste sistema construtivo será considerado como “x=1”. Com este valor de referência, pode-se dizer que, o sistema construtivo em *wood framing* custa 1,79x e que o sistema construtivo em *steel framing* custa 2,74x. O Gráfico 04 ilustra esta comparação.

Gráfico 4: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base no custo.



Fonte: Autor.

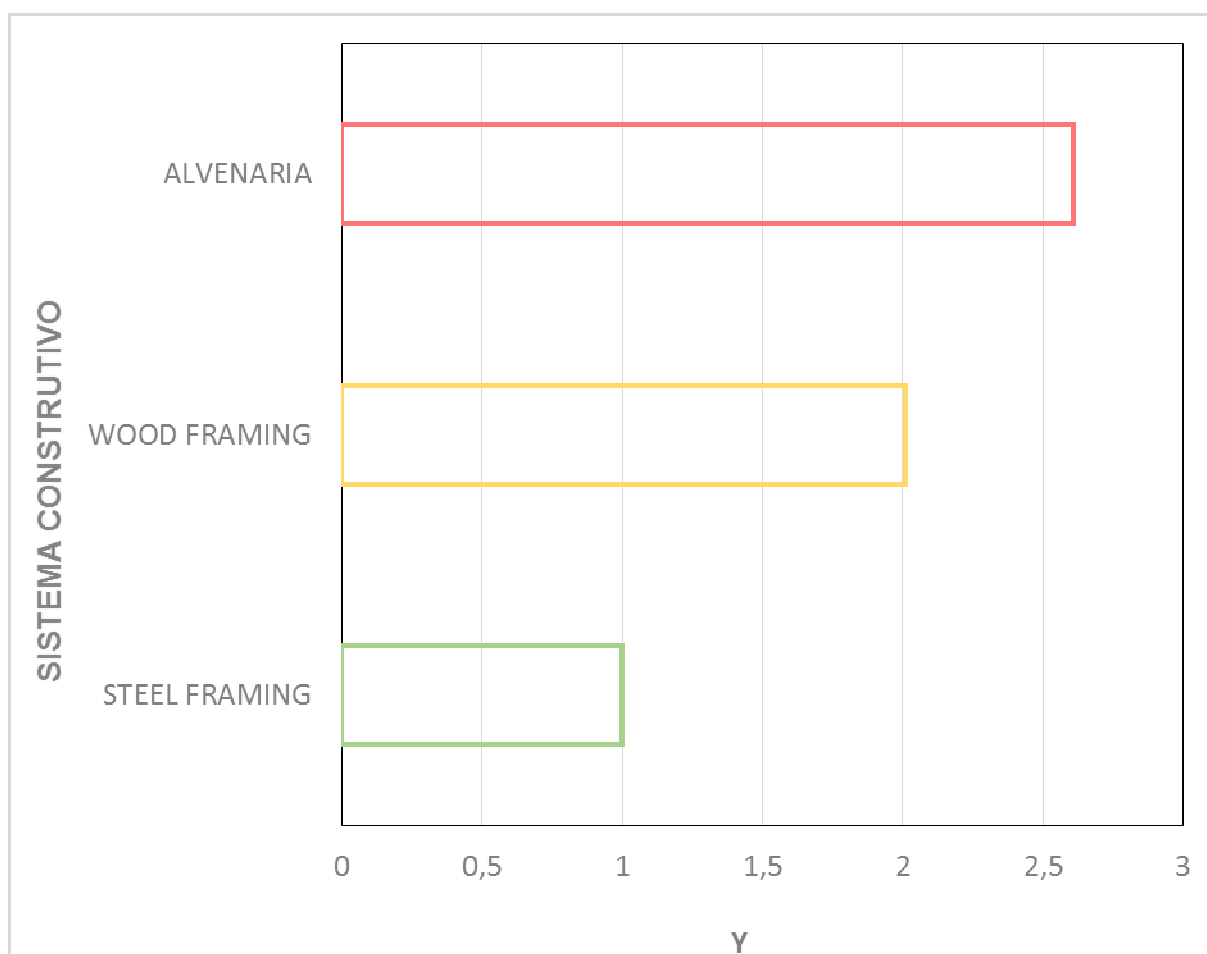
Quanto à produtividade, considera-se que o painel com menor valor de horas trabalhadas por metro quadrado é o mais adequado para a construção de habitações de interesse social no PMCMV. Para a comparação quanto a esse

critério estabeleceu-se o painel de melhor produtividade como referência; os outros serão representados por valores baseados no valor do painel de menor valor de horas trabalhadas por metro quadrado.

Para os sistemas construtivos apresentados são considerados os seguintes valores quanto à produtividade: 4,75 homem hora/m² para a alvenaria, 1,82 homem hora/m² para o *steel framing* e 3,67 homem hora/m² para o *wood framing*.

O sistema construtivo com melhor produtividade é o *steel framing*, portanto, para valores de comparação o valor da produtividade deste sistema construtivo será considerado como “y=1”. Com este valor de referência pode-se dizer que o sistema construtivo em *wood framing* tem como valor de produtividade 2,01y e que o sistema construtivo em alvenaria tem como produtividade 2,61y. O Gráfico 05 ilustra esta comparação.

Gráfico 5: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na produtividade.



Fonte: Autor.

A partir dos dados dos Gráficos 04 e 05, pode-se concluir que, embora o sistema construtivo em alvenaria seja o mais barato, ele é o que tem menor

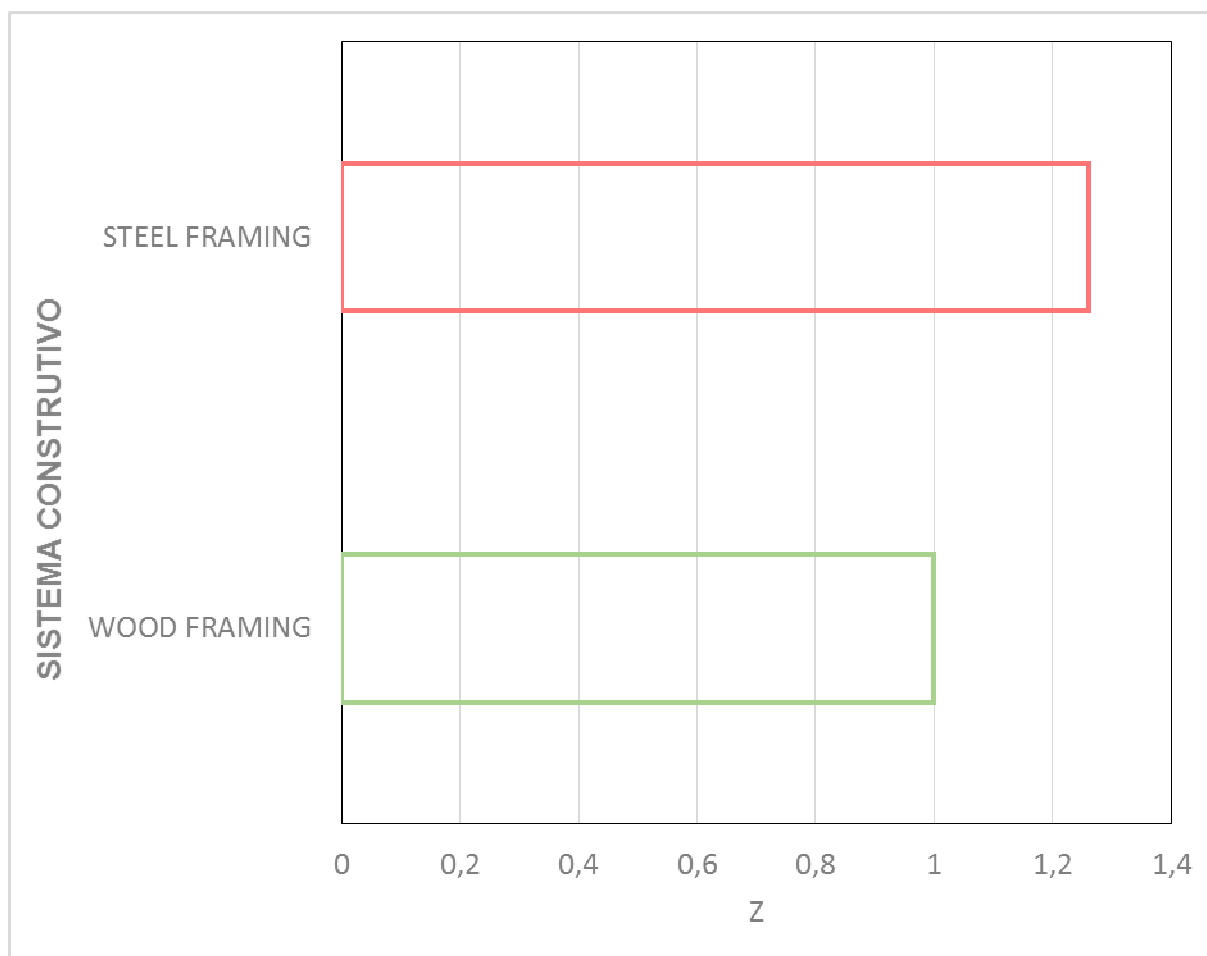
produtividade, aumentando os prazos da obra e gerando maiores custos indiretos para a obra. Enquanto que, o sistema construtivo em *steel framing* tem um custo mais alto em relação aos outros dois sistemas, mas apresenta uma produtividade muito maior; gerando economia de custos indiretos da obra; além de outra grande vantagem, que é a entrega do imóvel mais rapidamente para os futuros usuários. O que pode ser um fator de grande importância em casos de relocação de moradores de áreas de risco.

Já o *wood framing*, apresentou desempenho intermediário nos dois Gráficos apresentados. Mas, conforme descrito no item 4.2.1.3, a produtividade considerada para este sistema foi baseada em uma pesquisa que avaliou este método de forma não industrializada, com toda a sua montagem executada *in loco*. Como exemplo de um sistema industrializado de produção, foram obtidos dados de fora do contexto brasileiro, afim de se avaliar um processo de produção mais desenvolvido e industrializado; o que começa a ser praticado no Brasil por algumas empresas.

A partir dos dados do HUD/U.S. (2002), apresentados na Tabela 29, e descritos no item 4.2.1.3, a produtividade do painel de estudo em WLF é de 0,46 homem hora/m², enquanto o do painel de estudo em LSF (com base na mesma pesquisa) é de 0,58 homem hora/m².

Neste contexto o sistema construtivo com melhor produtividade é o *wood framing*, portanto, para valores de comparação, o valor da produtividade deste sistema construtivo será considerado como “z=1”. Com este valor de referência pode-se dizer que o sistema construtivo em *steel framing* tem como valor de produtividade 1,26z. Nesta comparação, o sistema construtivo em alvenaria não é avaliado, por não se tratar de um sistema industrializado, e porque não foi avaliado pela pesquisa americana. O Gráfico 06 ilustra esta comparação.

Gráfico 6: Comparação dos painéis LSF e WLF com base na produtividade (com base no contexto norte americano).



Fonte: Autor.

A partir dos dados do HUD/U.S. (2002), apresentados na Tabela 29, descritos no item 4.2.1.3 e do Gráfico 06, pode-se concluir que, em um contexto no qual os sistemas construtivos (LSF e WLF) já são industrializados e trazidos parcialmente prontos para o canteiro de obras, a produtividade destes sistemas é muito similar. Dentro deste contexto, o *wood framing* se mostrou um sistema mais eficiente por uma pequena diferença (0,12 homem hora/m²).

Entende-se, a partir dos Gráficos 05 e 06, que mesmo que os dados de pesquisas brasileiras apontem o *steel framing* como um sistema com produtividade muito maior em relação aos outros métodos construtivos avaliados, a industrialização dos sistemas construtivos (que começa a ser praticada no Brasil) tende a diminuir esta diferença. A produtividade do *wood framing* tende a aumentar, se equiparando, ou até ultrapassando aquela do LSF.

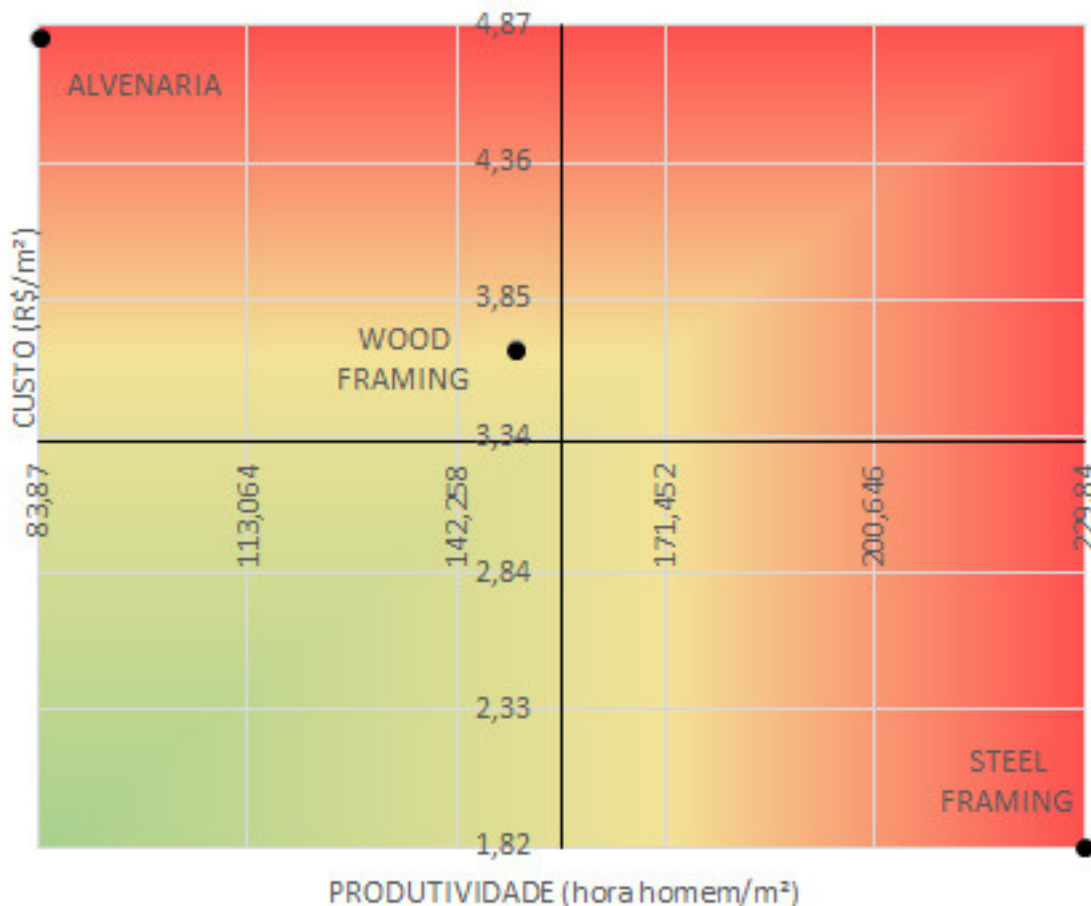
Admitindo este cenário de industrialização dos métodos construtivos como a direção futura do mercado da construção brasileiro, pode-se dizer que o *wood framing* tem a melhor relação entre custo e produtividade entre os três sistemas avaliados.

Ainda que este cenário seja ignorado, utilizando como referência os Gráficos 04 e 05, pode-se dizer que esta razão se mantém. Com base no Gráfico 04, pode-se observar que o *wood framing* tem um custo 1,53 vezes menor que o *steel framing*. Enquanto que, a partir do Gráfico 05, ele tem metade da produtividade em relação a este mesmo sistema. Entende-se, então, que mesmo tendo uma produtividade menor, o seu custo mais baixo compensaria a sua menor eficiência.

Já a alvenaria, conforme já comentado neste item, tem baixo custo, mas também tem baixa produtividade. Outro fator que prejudica este sistema construtivo é que este é baseado em um método artesanal, gerando uma alta taxa de desperdício de insumos (conforme o item 4.2.1.1) e de necessidades de acabamentos para correções de imperfeições na construção.

Esta conclusão é expressa por meio do Gráfico 07. Neste gráfico são utilizados os valores de custo no eixo horizontal e os valores de produtividade no eixo vertical. Foram adotados os como valores mínimo e máximo de cada eixo, o menor e o maior valor entre os três materiais para cada critério.

Gráfico 7: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na produtividade e custo.



Fonte: Autor.

A partir do Gráfico 07, pode-se perceber que os sistemas construtivos alvenaria e *steel framing* estão nos quadrantes opostos ao ponto onde estaria o método construtivo ideal (menor custo e menos horas trabalhadas por metro quadrado). À medida que, o *wood framing* está em um ponto intermediário em relação ao ponto ideal.

Para este estudo, quanto ao custo e produtividade, será considerado o *steel framing* como método mais eficaz para situações de emergência (pela sua alta produtividade) e o *wood framing* como método mais adequado para situações usuais de construções de habitações de interesse social para o PMCMV.

4.2.2 Impacto Ambiental – Energia Embutida e emissões de kgCO₂eq

Com a crescente preocupação mundial com os impactos gerados pela construção civil ao meio ambiente, a escolha de um produto que gere menor impacto ambiental é um aspecto de grande relevância para a avaliação de qual é o método mais adequado para a construção de casas em grande quantidade pelo PMCMV. Um método construtivo com baixa energia embutida e poucas emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente no seu processo de fabricação, diminui o impacto gerado pela obra como um todo. Desenvolvendo, assim, um produto final (casa) com um fator de sustentabilidade maior e mais adequado ao cenário da construção civil atual.

Para a definição do impacto ambiental gerado por cada método construtivo, foram obtidos dados por meio de pesquisas acadêmicas sobre a energia embutida e as emissões de CO₂ de cada sistema; para que assim eles possam ser comparados e determinado qual deles tem o menor impacto sendo, portanto, o mais adequado para a construção de casas em grande quantidade pelo PMCMV.

Nesta pesquisa serão considerados apenas os dados sobre a energia embutida e sobre a emissão de CO₂eq para cada insumo. Os impactos descritos nos itens 2.3.1.3, 2.3.2.3 e 2.3.3.3 referentes à extração, queima, resíduos, etc. que possuem não valores quantitativos, não serão utilizados como critério de comparação neste estudo, pois estes já foram considerados nas pesquisas consultadas para a obtenção dos dados que serão comparados. O impacto ambiental gerado por estes fatores é abordado apenas com caráter informativo.

4.2.2.1 Impacto ambiental gerado pela alvenaria

Para avaliar o impacto ambiental gerado por um material, é necessário separar os seus insumos, verificando o qual o impacto gerado por cada um deles. No item 2.3.1.3 foram descritos os processos produtivos de cada componente da alvenaria (bloco cerâmico, cimento, cal e areia) e o seu impacto ambiental.

Analisando o processo produtivo de cada um destes itens percebe-se que, um dos fatores mais impactantes é a extração da matéria-prima do meio natural, pois este processo afeta o ecossistema destes locais de maneira muito intensa. Outro

processo presente em alguns destes insumos, que gera grandes impactos, é a queima ou aquecimento em fornos de altas temperaturas; já que este processo gera grandes quantidades de gases prejudiciais ao meio ambiente.

As pesquisas, por meio das quais foram obtidos os dados de energia embutida e emissões de CO₂ para estes insumos, consideram parte destes impactos ambientais. Conforme descrito anteriormente, serão observados como critério de comparação apenas os dados obtidos em pesquisas, pois analisam grande parte dos impactos ambientais gerados no processo de produção.

Os dados referentes à energia embutida e à emissão de CO₂ para os insumos da alvenaria foram obtidos por meio da pesquisa de Lobo (2010) que, baseado em Tavares (2006) e outras pesquisas referentes à avaliação de impactos ambientais gerados pela construção civil, desenvolveu um banco de dados sobre a energia embutida e emissão de CO₂ para diversos insumos da construção civil. Para compor os valores de energia embutida e emissão de CO₂, Lobo (2010) se baseia em três fases da composição do insumo: fonte energética, material e processo de produção.

O Quadro 37 resume os dados referentes ao impacto ambiental de cada insumo do painel em alvenaria descritos no item 2.3.1.3.

Quadro 37: Emissão de quilogramas de CO₂eq e Energia embutida dos insumos do painel em alvenaria.

	BLOCO CERÂMICO (01 PEÇA)	CIMENTO (01 KG)	CAL (01 KG)	AREIA (01 M³)
ENERGIA EMBUTIDA (MJ)	15,97	4,2	4,03	75,75
EMIÇÃO DE CO₂eq (kgCO₂eq)	1,25	1,84	3,13	5,99

Fonte: Autor. Com base em LOBO, 2010.

Para definir qual é a quantidade de energia embutida e de emissão de gases por um metro quadrado no painel de estudo é necessário multiplicar a quantidade de cada insumo pelo seu respectivo impacto ambiental. O Quadro 02 apresenta a quantidade necessária de cada insumo para a composição do metro quadrado do painel em alvenaria. No Quadro 38 são relacionados os dados dos Quadros 02 e 37,

e é calculado o valor total de energia embutida e de emissão de kgCO₂eq para o metro quadrado do painel de estudo em alvenaria.

Quadro 38: Emissão de quilogramas de CO₂eq e Energia embutida do painel em alvenaria.

	BLOCO CERÂMICO (31 PEÇAS)	CIMENTO (14,21 KG)	CAL (9,1 KG)	AREIA (0,077 M³)	TOTAL
ENERGIA EMBUTIDA (MJ)	495,07	59,68	36,67	5,83	597,25
EMIÇÃO DE CO₂eq (kgCO₂eq)	38,75	26,14	28,48	0,46	93,82

Fonte: Autor. Com base em LOBO, 2010.

Para esta pesquisa serão considerados os dados apresentados no Quadro 38 como referentes para o painel representante do sistema construtivo em alvenaria. O total de energia embutida neste painel é de 597MJ/m² e o valor da emissão de kgCO₂eq é de 93,82 kgCO₂eq/m².

4.2.2.2 Impacto ambiental gerado pelo *steel framing*

Assim como realizado para o sistema construtivo em alvenaria, foram separados os insumos do sistema LSF para verificar qual o impacto gerado por cada um deles. No item 2.3.2.3 foram descritos os processos produtivos de cada componente do LSF (aço, placa cimentícia, chapa de OSB, membrana hidrófuga, gesso acartonado e lã de rocha) e o seu impacto ambiental.

Assim como nos insumos relativos ao método construtivo em alvenaria, a análise dos materiais que compõe o sistema LSF mostra que as etapas de produção mais impactantes são a extração dos materiais e a queima, ou aquecimento em fornos de altas temperaturas. Quanto a extração, pode-se dizer que outro impacto gerado é a alteração da paisagem; como por exemplo, uma grande mina de minério de ferro altera de maneira relevante a paisagem, transformando florestas em grandes escavações. Já quanto a queima, o impacto é o mesmo descrito no item anterior: a grande quantidade de gases nocivos ao meio ambiente. Um fator que pode ser considerado positivo quanto a geração de energia para a produção do aço é a eliminação de resíduos de outras indústrias para a geração de calor nos fornos;

embora este processo gera também uma grande quantidade de efluentes atmosféricos.

As pesquisas por meio das quais foram obtidos os dados de energia embutida e emissões de CO₂ para estes insumos, consideram parte destes impactos ambientais, por meio de análises de ciclo de vida e outros métodos de avaliação. Conforme descrito anteriormente só serão observados, como critérios, os fatores considerados e mensurados nestes estudos.

Para a composição do impacto ambiental gerado pelo painel de estudo em LSF, serão descritos os dados obtidos para cada insumo que o compõe. Então, estes valores serão agregados para a obtenção dos montantes totais de energia embutida e de emissões de kgCO₂eq para este método construtivo.

Quanto a energia embutida do aço, foram obtidos dados a partir de duas pesquisas. A primeira, de Palacio (2013) traz referências de outras pesquisas (TAVARES, 2006 e GRIFF, 2011) quanto a energia embutida destes materiais, conforme a Tabela 13. Já a segunda, de Junior (2012), se baseia na pesquisa de Lobo (2010) e de Ting (2006), e apresenta dados relativos apenas ao sistema LSF (na pesquisa Junior, 2012; faz-se a análise do ciclo de vida de uma edificação em LSF) para grande parte dos insumos utilizados no painel de estudo.

O valor da energia embutida do aço segundo Palacio (2013, apud Tavares, 2006) é de 30 MJ por quilograma (conforme a Tabela 13). Quanto a Júnior, ele apresenta os valores associados ao produto final instalado no LSF: a energia embutida para o montante M90 é de 44 MJ/m, para a guia G90 é de 39,9 MJ/m e para os parafusos galvanizados é de 1,9 MJ/un (Tabela 11). Por se referirem a cada componente em aço presente na estrutura em LSF, estes valores, apresentados por Júnior (2012), serão considerados como valores de referência para a composição do impacto ambiental do sistema LSF quanto à energia embutida.

A partir destes dados, e do quantitativo de materiais para um metro quadrado de um painel em LSF apresentado na Tabela 10 (serão considerados apenas dois montantes, duas guias e 32 parafusos; e espaçamento de 60 cm entre montantes), pode-se dizer que a energia embutida total nas peças em aço presentes no painel em *steel framing* é de 228,6 MJ/m²

Já para a quantidade de kgCO₂eq emitidos pelos materiais em aço, foi tida como referência a pesquisa de Neto e Sposto (2011). Nesta pesquisa, conforme descrito no item 2.3.2.3, a quantidade de kgCO₂eq emitidos por cada quilograma de aço foi multiplicada pela quantidade deste material presente em cada peça. Conforme a Tabela 12, em um metro quadrado de um painel em *steel framing* foram emitidos: 56,35 kgCO₂eq com os montantes, 26,74 kgCO₂eq com as guias, e 0,13 kgCO₂eq com os parafusos.

Para a placa cimentícia, em relação a energia embutida, foram obtidos dados com base nos mesmos autores (Palacio, 2013 e Junior, 2012) que fundamentaram os valores de impacto ambiental do aço. Para Palacio (2013, apud Graff, 2011) a energia embutida em um quilograma de chapa cimentícia é de 6 MJ (conforme Tabela 13); já para Junior (2012), uma unidade de placa cimentícia tem como energia embutida 243,9 MJ. Em relação às emissões de kgCO₂eq, também foram utilizados dados referentes à pesquisa de Neto e Sposto (2011). Conforme a Tabela 12, são emitidos 5,30 kgCO₂eq para as placas cimentícias em um metro quadrado de um painel em LSF.

Quanto a energia embutida da placa cimentícia, será considerada a média de valores entre as referências citadas (Junior, 2012 e Palacio, 2013); para Junior o valor da energia embutida por metro quadrado da placa cimentícia é de 84,68 MJ, enquanto que, para Palacio este valor é de 60 MJ (considerando o valor de massa da placa como 10kg/m² [Palacio, 2013 apud ABNT, 2001]). Então, o valor considerado de energia embutida para um metro quadrado de placa cimentícia é de 72,34 MJ.

Em relação a chapa em OSB, segundo Junior (2012), a energia embutida em uma chapa de dimensões 1,20 x 2,40 x 0,01 metro é de 1,3 MJ (Tabela 14); já para Palacio (2013 apud TAVARES, 2006) a energia embutida é de 7,5 MJ a cada quilograma de OSB utilizado (Tabela 13).

Quanto às emissões de kgCO₂eq, a chapa de OSB apresenta um comportamento diferente dos outros insumos. Por ela ter como matéria-prima principal a madeira, ela estoca carbono. Para Monich (2012), uma chapa de OSB emite 4,64 kgCO₂, estoca 8,3 kg de carbono e tem como energia embutida 79,95MJ (Tabelas 15 e 16). Em pesquisa referente ao contexto europeu, Hammond e Jones (2011) consideram que este material emite 0,99 kgCO₂eq por quilograma utilizado.

Será considerado, para esta pesquisa, o valor determinado por Monich (2012), pois corresponde ao contexto brasileiro, no qual o painel de estudo é avaliado neste estudo.

Assim como para a placa cimentícia, será considerada a média de valores entre as referências citadas (Palacio, 2013 apud Tavares, 2006 e Monich, 2012 [o valor considerado por Junior, 2012 não foi considerado por ser muito discrepante das outras pesquisas]) para a determinação da energia embutida na chapa de OSB. Para Monich o valor da energia embutida por metro quadrado da placa de OSB é de 27,76 MJ, já para Palacio este valor é de 62 MJ (considerando o valor de massa da placa como 23,8 kg [Palacio, 2013 apud LPBRASIL, 2012]). O valor considerado de energia embutida para um metro quadrado de placa de OSB é de 44,88 MJ.

Conforme descrito no item 2.3.2.3, não será considerado o impacto ambiental gerado pela membrana hidrófuga devido à falta de dados em relação à emissão de gases atmosféricos e também pela baixa representatividade no contexto geral da pesquisa.

Quanto a placa de gesso acartonado, segundo Junior (2012) a energia embutida pra uma unidade é de 50,9MJ (Tabela 19). Já, para Tavares (2006), para cada quilograma de uma placa de gesso acartonado são necessários 6,10 MJ (Tabela 20). Quanto às emissões de kgCO₂eq, segundo Monich (2012), uma placa emite 11,202 kg CO₂ e a energia embutida para a mesma placa é de 193,88 MJ (Tabela 14).

Para a energia embutida na chapa de gesso acartonado, será considerada a média de valores entre as referências citadas (Monich, 2012, Tavares,2006 [o valor considerado por Junior, 2012 não foi considerado por ser muito discrepante das outras pesquisas]); para Monich o valor da energia embutida por metro quadrado da placa de *drywall* é de 67,31 MJ; já para Tavares este valor é de 61 MJ/m² (considerando o valor de massa da placa como 10kg/m² [Palacio, 2013 apud ABNT, 2001]). O valor considerado de energia embutida para um metro quadrado de placa de gesso acartonado é de 64,15 MJ.

Em relação ao último insumo do sistema construtivo LSF, a lã de rocha, foram obtidos dados em relação a sua energia embutida em Tavares (2006). Segundo esta pesquisa, para cada quilograma de lã de rocha são necessários 19 MJ (Tabela 20).

Enquanto que, quanto às emissões de kgCO₂eq, Bessa (2010) estabelece que cada tonelada produzida de lã de rocha gera 685 kg de dióxido de carbono. (Tabela 21).

Considerando a densidade da lã de rocha como 32 kg/m³ e a espessura de 50mm, os valores de energia embutida e de emissões de kgCO₂eq considerados para um metro quadrado do painel em LSF deste estudo são, respectivamente: 30,4 MJ e 1,096 kgCO₂eq.

O Quadro 39 resume os dados referentes ao impacto ambiental de cada insumo para um metro quadrado do painel em *steel framing* descritos neste item e no item 2.3.1.3.

Quadro 39: Emissão de quilogramas de CO₂eq e Energia embutida dos insumos em um metro quadrado do painel de estudo em *steel framing*.

	AÇO	PLACA CIMENTÍCIA	CHAPA EM OSB	GESSO ACARTONADO	LÃ DE ROCHA	TOTAL
ENERGIA EMBUTIDA (MJ)	228,6	72,34	44,88	64,15	30,4	440,37
EMIÇÃO DE CO₂eq (kgCO₂eq)	38,75	26,14	28,48	0,46	1,096	94,92

Fonte: Autor. Com base em: Palacio, 2013; Junior, 2012; Neto e Sposto, 2011; Monich, 2012; Tavares, 2006; e Bessa, 2010

Para esta pesquisa serão considerados os dados apresentados no Quadro 39 como referentes para o painel representante do sistema construtivo em *steel framing*. O total de energia embutida neste painel é de 440,37MJ/m² e o valor da emissão de kgCO₂eq é de 94,92 kgCO₂eq/m².

4.2.2.3 Impacto ambiental gerado pelo *wood framing*

Assim como realizado para o sistema construtivos anteriores, foram separados os insumos do sistema WLF para verificar o qual o impacto gerado por cada um deles. Como os componentes (madeira, placa cimentícia, chapa de OSB, membrana hidrófuga, gesso acartonado e lã de rocha) do painel em *wood framing* são similares ao painel em *steel framing*, será descrito neste item apenas o impacto

ambiental gerado pela madeira e o resultado total de impacto ambiental para o painel em WLF.

Conforme o item 2.3.3.3, a madeira que é utilizada no *wood framing* é o pinus tratado com autoclave. Ainda neste item são apresentadas as duas pesquisas utilizadas como referência para avaliar o impacto ambiental da madeira. Segundo Torquato (2010), para cada quilograma de madeira serrada (pinus) são necessários 7,4 MJ e emitidos 0,45 kgCO₂ (Tabela 31); assim como descrito anteriormente, a pesquisa de Torquato (2010) não considera o CO₂ absorvido no crescimento das árvores. Enquanto que, em Deeke (2009 apud Rodel, 2005) são apresentados dados (Tabela 32) que consideram a absorção de CO₂ das árvores; de acordo com Deeke (2009 apud Rodel, 2005) a madeira absorve 735 kgCO₂ por metro cúbico e tem energia embutida de 11.200 MJ/m³.

Para o cálculo do impacto ambiental gerado pela madeira é necessário definir a quantidade deste material em um metro quadrado de um painel em WLF. Conforme o Quadro 34 (ESPINDOLA, 2010), em um metro quadrado de WLF, são necessários 4,06 metros lineares de montantes de pinus 4x9 cm; já no Quadro 35 (TORQUATO, 2010) é apresentado o valor de 4,63 metros lineares do mesmo tipo de montantes. Para o painel de estudo será considerada a média das duas pesquisas: 4,19 metros lineares de montantes de pinus 4x9 cm. Considerando que o pinus pesa 400kg/m³ (GLOBALWOOD, 2014), que a altura considerada é de um metro (por ser analisado apenas um painel de um metro quadrado) e que o total de madeira utilizado é de 0,0036 m³, a massa da madeira em um metro quadrado de WLF é de 1,44 kg.

Portanto, a energia embutida na madeira em um metro quadrado de WLF é de 10,65 MJ (segundo Torquato, 2010) e de 40,32 MJ (segundo Deeke, 2009 apud Rodel, 2005). Quanto as emissões de kgCO₂, para Torquato (2010), estas seriam de 0,648 kgCO₂; enquanto que, para Deeke (2009 apud Rodel, 2005) em um metro quadrado de WLF seriam absorvidos 2,646 kgCO₂.

Para esta pesquisa, quanto à energia embutida, será considerada a média dos valores apresentados; quanto às emissões de kgCO₂, será considerada a soma dos valores apresentados pelas pesquisas, pois cada uma delas tem foco em uma parte do processo de produção dos montantes de madeira.

O Quadro 40 apresenta o resumo os dados referentes ao impacto ambiental dos montantes de madeira (presentes em um metro quadrado de WLF) descritos neste item e do impacto causado pelos outros insumos considerados no painel de estudo em *wood framing*, apresentados no Quadro 39.

Quadro 40: Emissão de quilogramas de CO₂eq e Energia embutida dos insumos em um metro quadrado do painel de estudo em *wood framing*.

	MADEIRA	PLACA CIMENTÍCIA	CHAPA EM OSB	GESSO ACARTONADO	LÃ DE ROCHA	TOTAL
ENERGIA EMBUTIDA (MJ)	25,48	72,34	44,88	64,15	30,4	237,23
EMISSÃO DE CO₂eq (kgCO₂eq)	-1,998	26,14	28,48	0,46	1,096	54,17

Fonte: Autor. Com base em: Palacio, 2013; Junior, 2012; Neto e Sposto, 2011; Monich, 2012; Tavares, 2006; Bessa, 2010; Torquato, 2010 e Deeke, 2009 apud Rodel, 2005.

Para esta pesquisa serão considerados os dados apresentados no Quadro 40 como referentes para o painel representante do sistema construtivo em *wood framing*. O total de energia embutida neste painel é de 237,23MJ/m² e o valor da emissão de kgCO₂eq é de 54,17 kgCO₂eq/m².

4.2.2.4 Comparativo de impacto ambiental

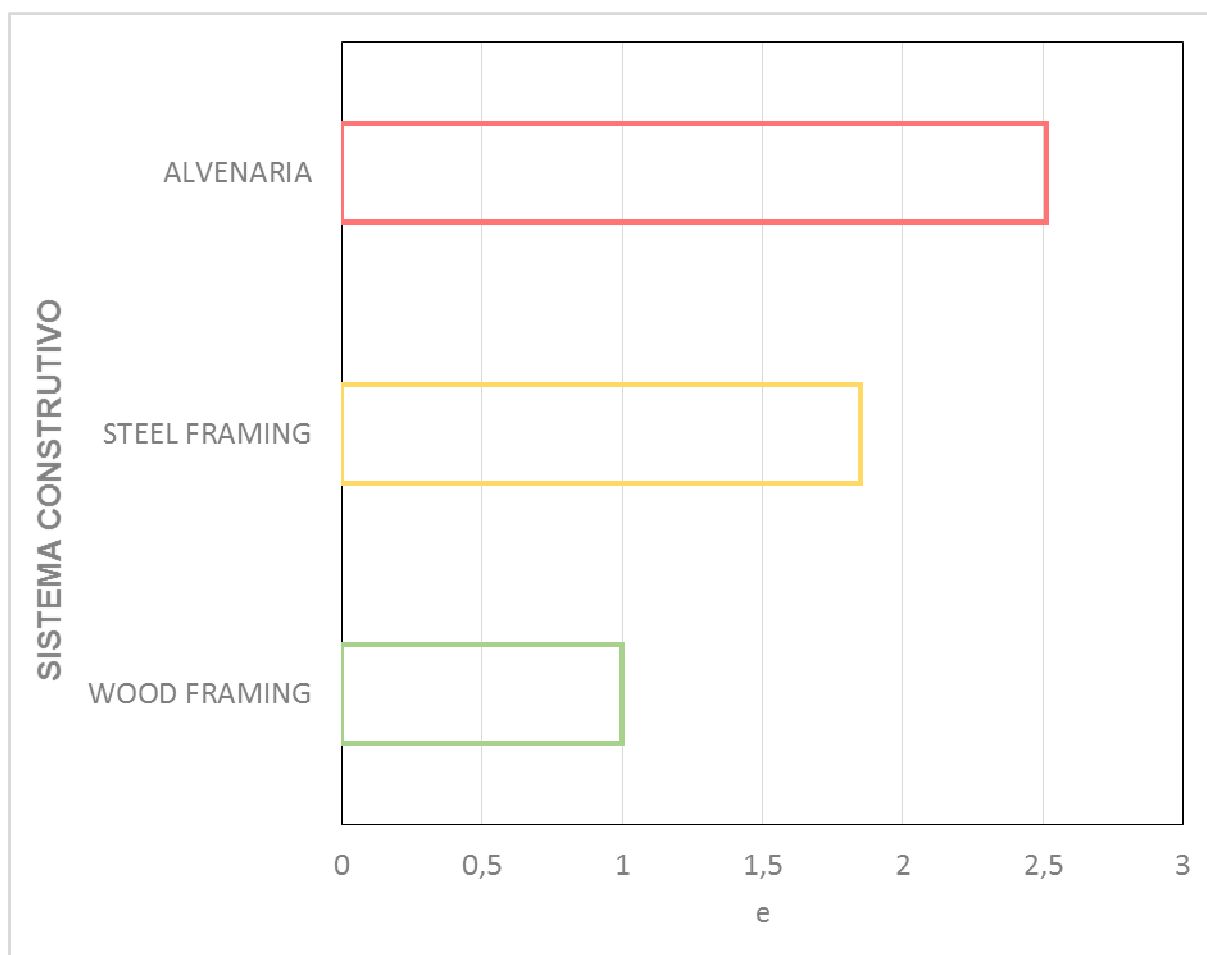
Para comparar os sistemas construtivos apresentados (alvenaria, *steel framing* e *wood framing*) com base no impacto ambiental gerado a cada metro quadrado construído serão considerados os valores descritos nos itens 4.2.2.1, 4.2.2.2 e 4.2.2.3.

Quanto à energia embutida considera-se que o painel com menor valor por metro quadrado é o mais adequado para a construção de habitações de interesse social no PMCMV. Dado que, a construção em série com o painel ideal necessitaria de menos energia para ser produzida. Para a comparação, quanto a esse critério, estabeleceu-se o painel de menor energia embutida como referência; os outros serão representados por valores baseados no valor do painel de menor energia embutida.

Para os sistemas construtivos apresentados são considerados os seguintes valores: 597,25MJ/m² para a alvenaria, 440,37MJ/m² para o *steel framing* e 237,23MJ/m² para o *wood framing*.

O sistema construtivo com menor energia embutida é o *wood framing*, portanto, para valores de comparação, o valor de energia embutida deste sistema construtivo será considerado como “e=1”. Com este valor de referência, pode-se dizer que o sistema construtivo em *steel framing* tem energia embutida de 1,85e e que o método construtivo em alvenaria tem energia embutida de 2,51e. O Gráfico 08 ilustra esta comparação.

Gráfico 8: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na energia embutida.



Fonte: Autor.

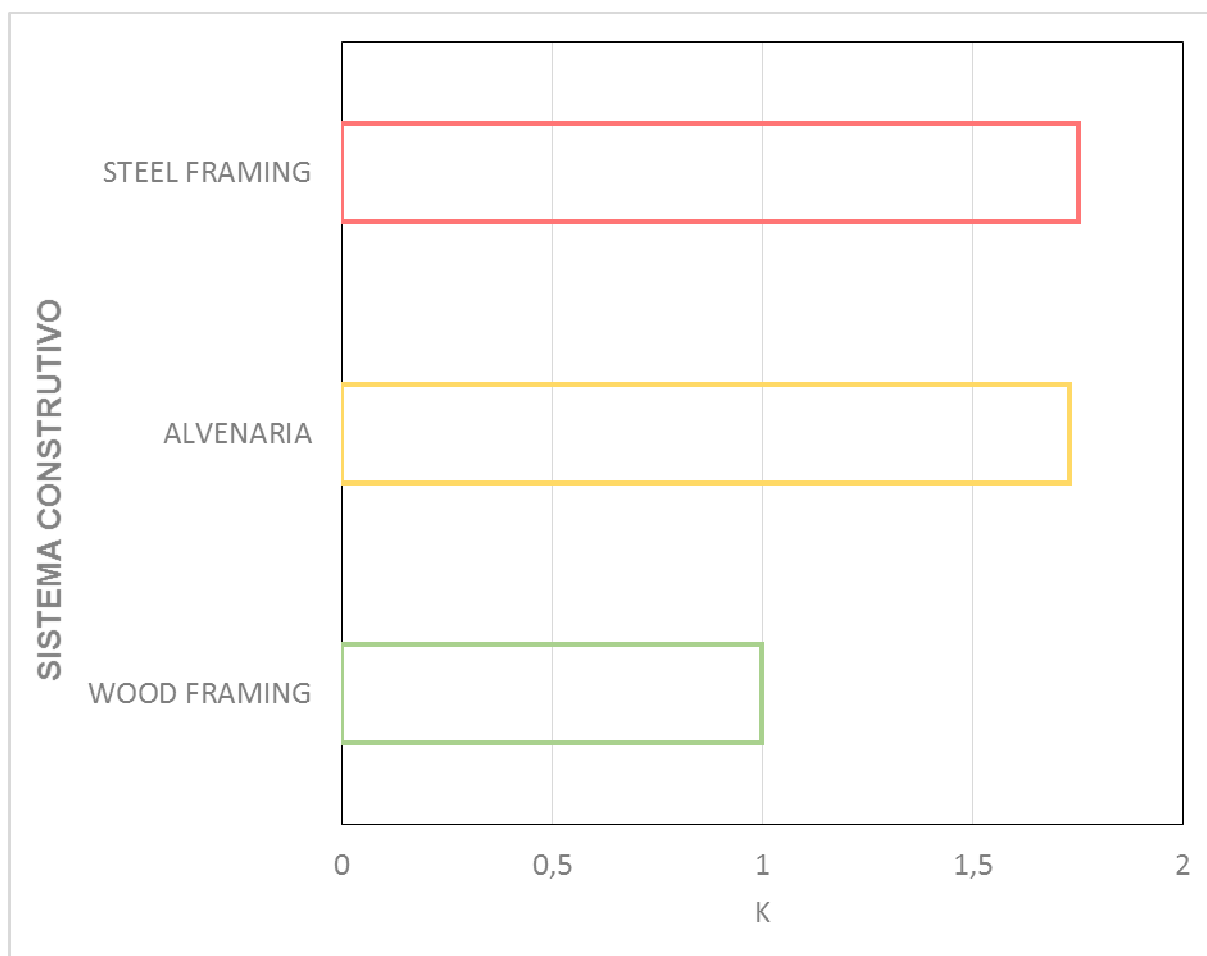
Quanto à emissão de kgCO₂eq considera-se que o painel com menor valor por metro quadrado é o mais adequado para a construção de habitações de interesse social no PMCMV. Visto que a construção em série com o painel ideal geraria menos emissões de gases nocivos ao meio ambiente. Para a comparação,

quanto a esse critério, estabeleceu-se o painel de menor emissão de kgCO_2eq como referência, os outros serão representados por valores baseados no valor do painel de menor emissão de kgCO_2eq .

Para os sistemas construtivos apresentados são considerados os seguintes valores: $93,82 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2$ para a alvenaria, $94,92 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2$ para o *steel framing* e $54,17 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2$ para o *wood framing*.

O sistema construtivo com menor emissão de kgCO_2eq é o *wood framing*, portanto, para valores de comparação, o valor das emissões de kgCO_2eq deste sistema construtivo será considerado como “ $k=1$ ”. Com este valor de referência, pode-se dizer que o sistema construtivo em alvenaria emite de $1,73k$ e que o método construtivo em *steel framing* tem emissões de $1,75k$. O Gráfico 09 ilustra esta comparação.

Gráfico 9: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na emissão de kgCO_2eq .



Fonte: Autor.

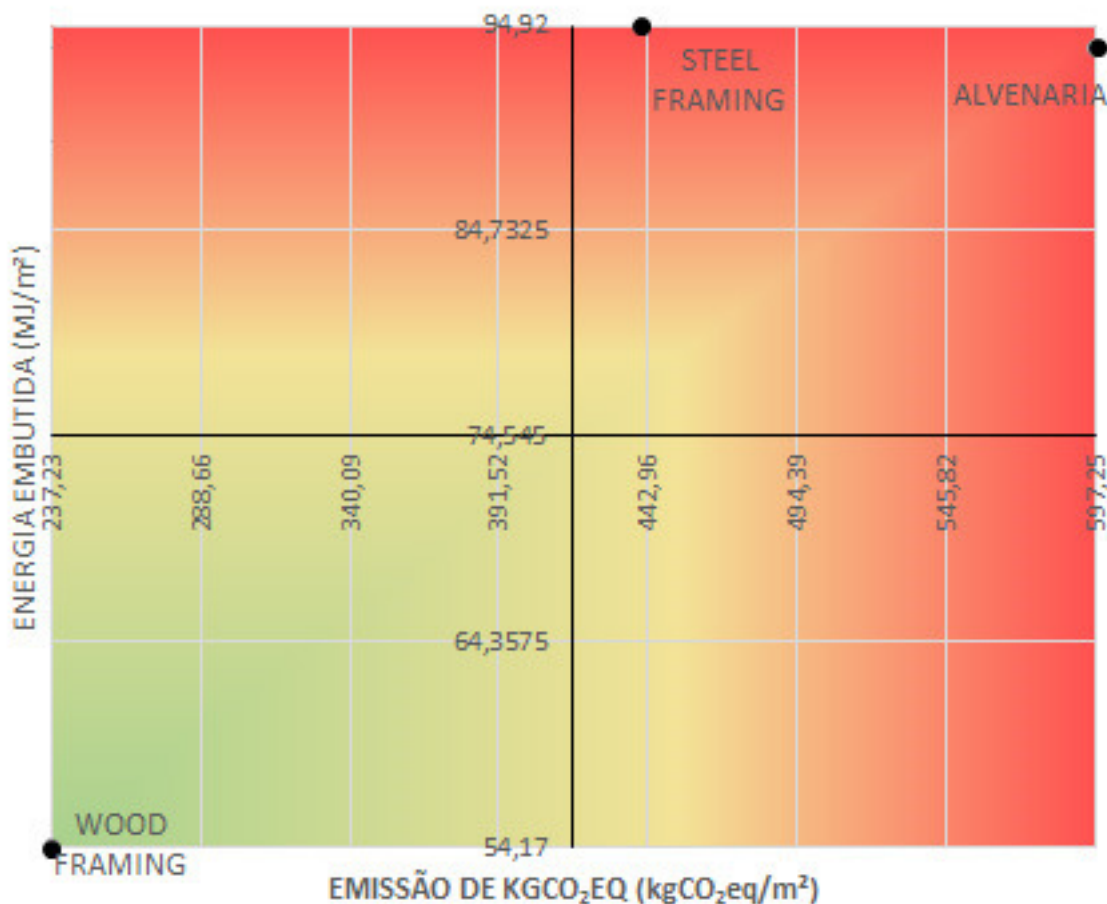
A partir dos dados dos Gráficos 08 e 09, pode-se concluir que o método construtivo em *wood framing* é o que tem menor impacto ambiental. Em ambos os gráficos percebe-se que ele tem um impacto ambiental aproximadamente equivalente à metade dos outros dois métodos construtivos avaliados.

Pode-se inferir que a causa disto seja pelo uso da madeira. Se analisada a composição dos painéis representantes dos sistemas construtivos LSF e WLF, a única diferença que existe é o material dos montantes. Analisando os gráficos, nota-se o contraste entre estes materiais e o menor impacto ambiental gerado pelo uso da madeira.

A alvenaria pode ser considerada como o material de maior impacto ambiental, se comparada com os outros métodos estudados. Embora em relação às emissões de kgCO₂eq de carbono ela tenha desempenho similar ao *steel framing*, ela tem uma energia embutida muito maior que os outros dois métodos avaliados.

Esta conclusão é expressa por meio do Gráfico 10. Neste gráfico são utilizados os valores de energia embutida no eixo horizontal e os valores de emissão de kgCO₂eq no eixo vertical. Foram adotados os como valores mínimo e máximo de cada eixo o menor e o maior valor entre os três materiais para cada critério avaliado.

Gráfico 10: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na energia embutida e na emissão de kgCO_2eq .



Fonte: Autor.

A partir do Gráfico 10, pode-se perceber que os sistemas construtivos alvenaria e *steel framing* estão no quadrante oposto ao ponto onde estaria o método construtivo ideal (menor custo e menos horas trabalhadas por metro quadrado). Já o *wood framing*, está localizado neste ponto, já que entre os sistemas analisados nesta pesquisa ele é o que tem menor energia embutida e menor emissão de kgCO_2eq a cada metro quadrado de painel.

Para este estudo, quanto ao impacto ambiental, será considerado o *wood framing* como método mais adequado para a construção de habitações de interesse social para o PMCMV. Visto que a energia necessária e as emissões de gases nocivos ao meio ambiente são muito menores com o emprego deste sistema em relação aos outros métodos construtivos estudados.

4.2.3 Desempenho Térmico – Transmitância Térmica e Capacidade Térmica

Para comparar os sistemas construtivos apresentados (alvenaria, *steel framing* e *wood framing*) a partir do desempenho térmico foram tomados como base os valores elaborados para as análises destes métodos construtivos de acordo com a NBR 15.575-4, apresentados nos itens 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3.

Quanto à transmitância térmica, considera-se que o painel com menor valor por metro quadrado é o mais adequado para a construção de habitações de interesse social no PMCMV. Já que um painel com baixa transmitância térmica, tem baixa transmissão de calor entre o ambiente interno e externo, fazendo com que os ambientes internos não variem a sua temperatura de maneira tão intensa quanto os externos e que, internamente, a temperatura seja mais agradável que no exterior da residência; garantindo assim, mais conforto ao usuário.

Para a comparação quanto a esse critério estabeleceu-se o painel de menor transmitância térmica como referência; os outros serão representados por valores baseados no valor do painel de menor transmitância térmica.

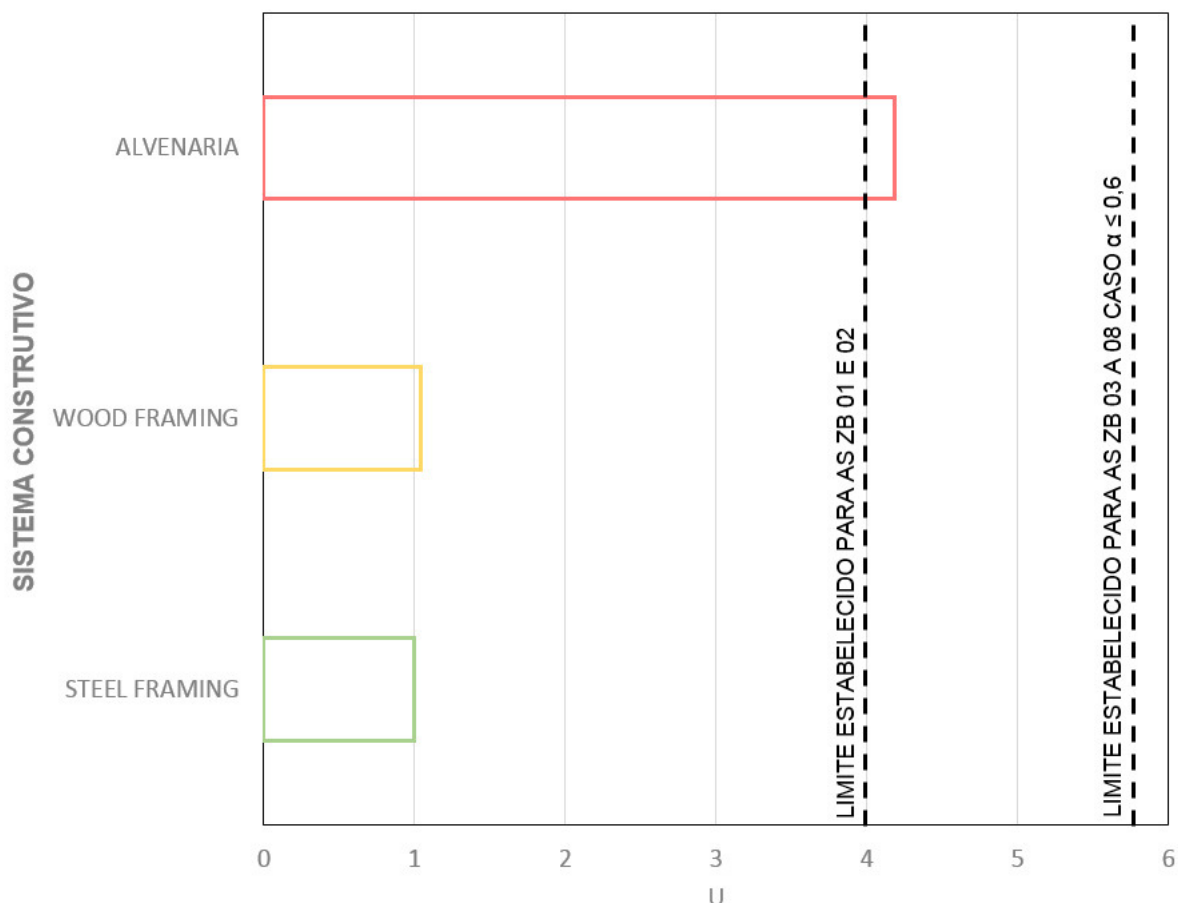
Para os sistemas construtivos apresentados são considerados os seguintes valores: 2,66W/m²k para a alvenaria, 0,628W/m²k para o *steel framing* e 0,657 W/m²k para o *wood framing*.

O sistema construtivo com menor transmitância térmica é o *steel framing*, portanto, para valores de comparação, o valor da transmitância térmica deste sistema construtivo será considerado como “u=1”. Com este valor de referência pode-se dizer que o sistema construtivo em *wood framing* tem como transmitância 1,04u e que o método construtivo em alvenaria tem como transmitância de 4,23u.

Como este fator de comparação pode ser analisado segundo a norma NBR 15.575 – 4 (assim como já realizado nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3), serão comparados também os valores referentes aos critérios mínimos desta norma em relação à Transmitância térmica (Quadro 14). Para que seja mantida a proporção estabelecida, os valores mínimos da norma também serão adequados com base no valor de referência “u”. Para as zonas bioclimáticas 01 e 02 o valor máximo da transmitância aceito é de 3,98u (2,50W/m²k); enquanto que, para as zonas

bioclimáticas 03 a 08 os valores podem chegar a 5,89u (3,70W/m²k) caso a absorvância à radiação solar (α) seja menor ou igual a 0,6. O Gráfico 11 ilustra esta comparação.

Gráfico 11: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na transmitância térmica e comparação com os critérios da NBR 15,575-4.



Fonte: Autor.

Quanto à capacidade térmica, considera-se que o painel com maior valor por metro quadrado é o mais adequado para a construção de habitações de interesse social no PMCMV. Já que, um painel com maior capacidade térmica, necessita receber mais calor para que a sua temperatura aumente, ou seja, um painel com maior capacidade térmica demora para se esquentar ou esfriar, evitando com que a temperatura interna sofra as variações da temperatura externa. Esta conclusão não inclui as zonas muito quentes; mas mesmo assim, como a maioria das zonas bioclimáticas brasileiras (zonas bioclimáticas 01 a 07) necessita de painéis com maior capacidade térmica para ter um bom desempenho, será considerado, será considerado o painel com maior capacidade térmica como mais adequado.

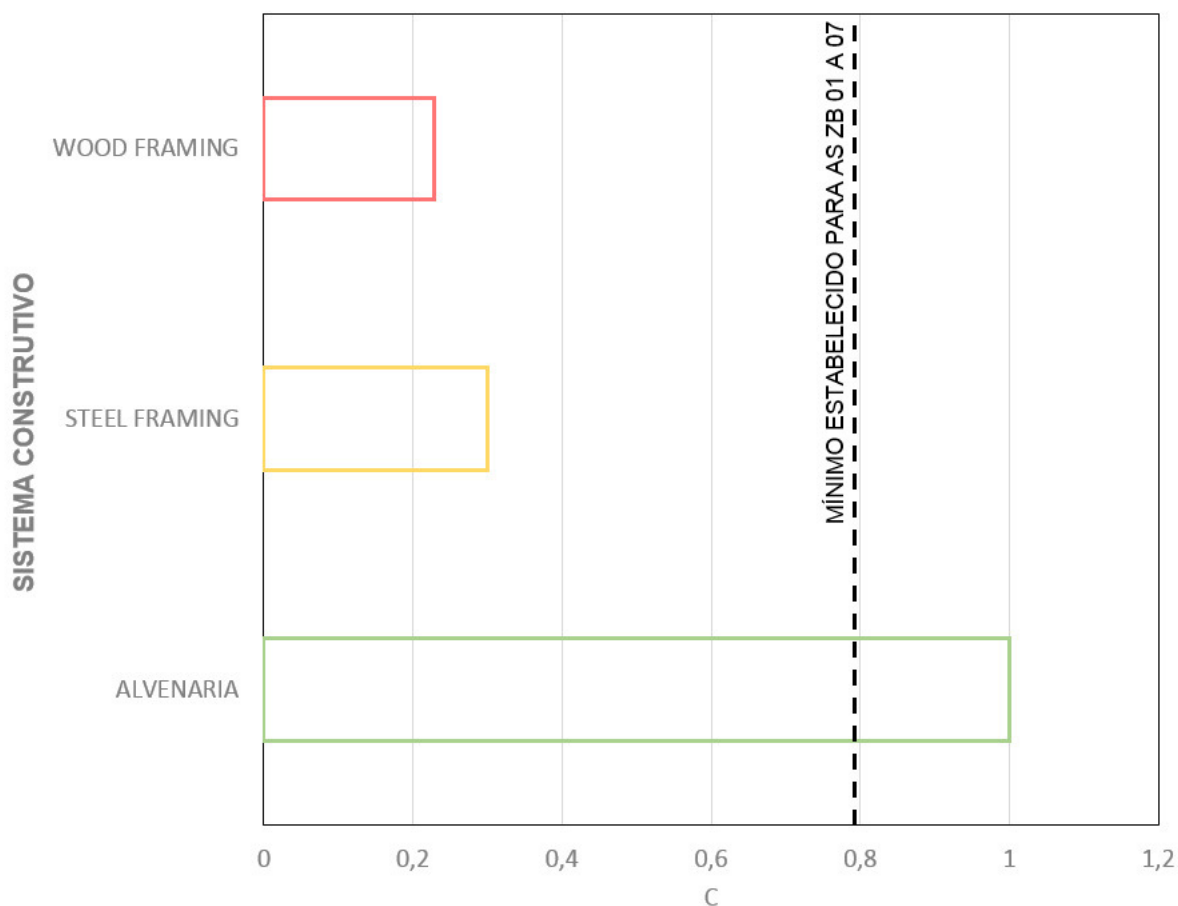
Para a comparação quanto a esse critério estabeleceu-se o painel de maior capacidade térmica como referência; os outros serão representados por valores baseados no valor do painel de maior capacidade térmica.

Para os sistemas construtivos apresentados são considerados os seguintes valores: 165,58 KJ/m²k para a alvenaria, 49,925 KJ/m²k para o *steel framing* e 37,35 KJ/m²k para o *wood framing*.

O sistema construtivo com maior capacidade térmica é a alvenaria, portanto, para valores de comparação, o valor da capacidade térmica deste sistema construtivo será considerado como “c=1”. Com este valor de referência pode-se dizer que o sistema construtivo em *steel framing* tem como capacidade térmica 0,30c e que o método construtivo em *wood framing* tem como capacidade térmica de 0,225c.

Como este fator de comparação pode ser analisado segundo a norma NBR 15.575 – 4 (assim como já realizado nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3), serão comparados também os valores referentes aos critérios mínimos desta norma em relação à capacidade térmica (Quadro 15). Para que seja mantida a proporção estabelecida, os valores mínimos da norma também serão adequados com base no valor de referência “c”. Para as zonas bioclimáticas 01 e 07 o valor máximo da capacidade térmica aceito é de 0,78u (130 KJ/m²k); já para a zona bioclimática 08 não há exigência quanto a esse critério. O Gráfico 12 ilustra esta comparação.

Gráfico 12: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na capacidade térmica e comparação com os critérios da NBR 15,575-4.



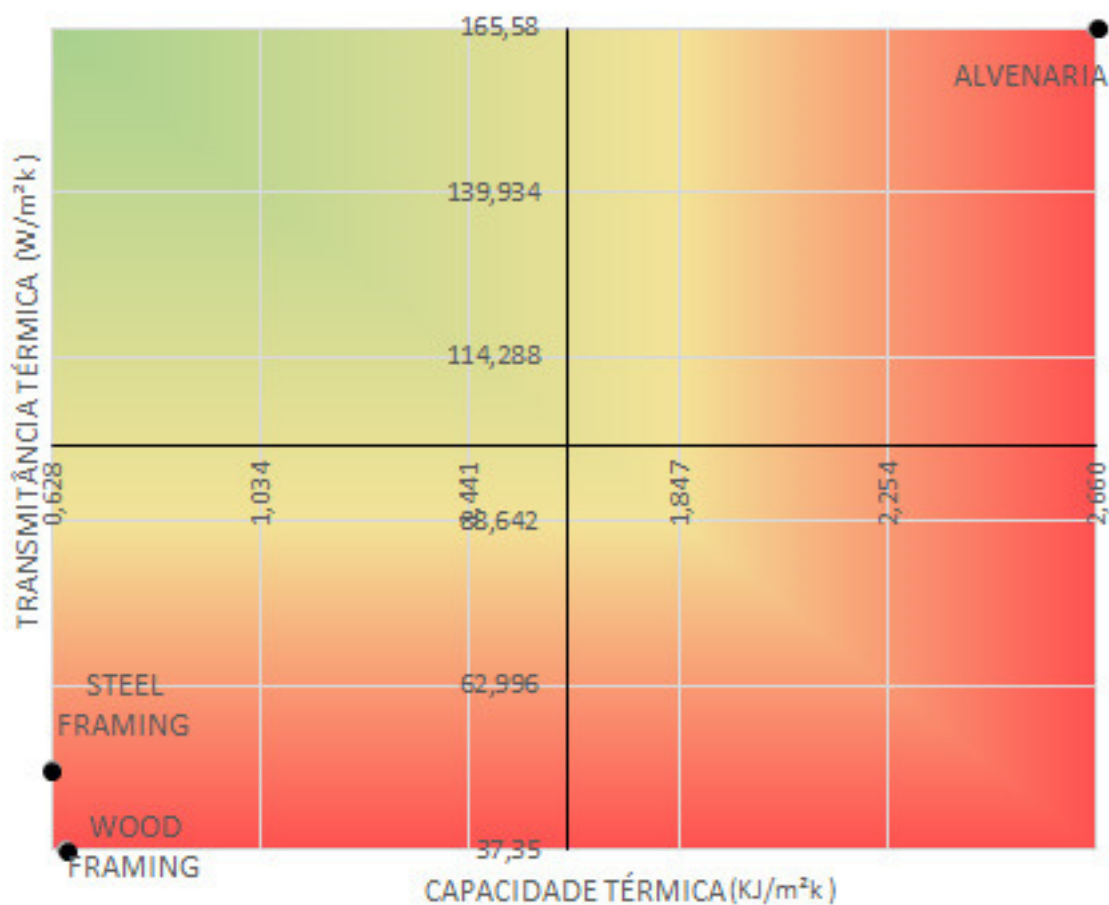
Fonte: Autor.

A partir dos dados dos Gráficos 11 e 12, e das conclusões apresentadas nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3, pode-se perceber que nenhum dos métodos construtivos atende a todos os critérios da NBR 15.575-4 em relação ao desempenho térmico.

Para comparar os sistemas construtivos entre si, segundo a transmitância e capacidade térmica, foi utilizado o Gráfico 13.

Neste gráfico são utilizados os valores de transmitância térmica no eixo horizontal e os valores de capacidade térmica no eixo vertical. Foram adotados os como valores mínimo e máximo de cada eixo o menor e o maior valor entre os três materiais para cada critério.

Gráfico 13: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na transmitância térmica e capacidade térmica.



Fonte: Autor.

A partir do Gráfico 13, pode-se perceber que todos sistemas construtivos estão nos quadrantes opostos ao ponto onde estaria o método construtivo ideal (menor transmitância e maior capacidade térmica por metro quadrado). Pode-se concluir, por meio do Gráfico 13, que o *steel framing* apresenta o melhor desempenho térmico em relação aos outros sistemas construtivos; dado que é aquele que se encontra mais próximo da área onde estaria o método construtivo ideal.

Para este estudo, quanto ao desempenho térmico, será considerado o *steel framing* como método mais adequado para a construção de habitações de interesse social para o PMCMV, já que o seu desempenho térmico, analisado pelos critérios de transmitância térmica e capacidade térmica, é melhor que o dos outros sistemas construtivos.

4.2.4. Desempenho Acústico – Índice de Redução sonora

Para comparar os sistemas construtivos apresentados (alvenaria, *steel framing* e *wood framing*) a partir do desempenho acústico foram tomados como base os valores elaborados para as análises destes métodos construtivos de acordo com a NBR 15.575-4, apresentados nos itens 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3.

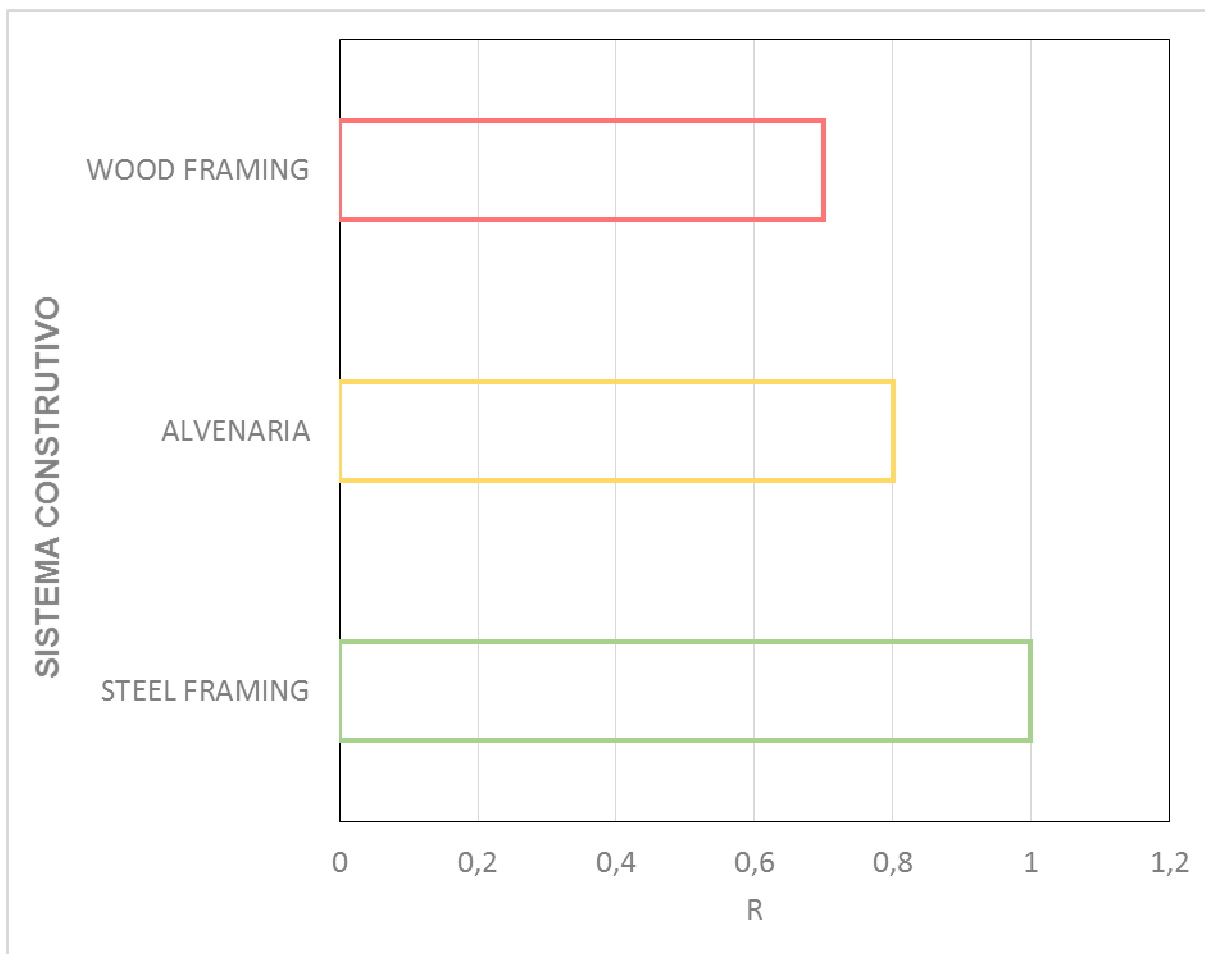
Quanto ao índice de redução sonora considera-se que o painel com maior valor por metro quadrado é o mais adequado para a construção de habitações de interesse social no PMCMV. Visto que, um painel com maior índice de redução sonora, isola acusticamente melhor os ambientes, fazendo com que os ruídos da rua, ou dos outros cômodos não sejam escutados com clareza; garantindo mais conforto ao usuário.

Para os sistemas construtivos apresentados são considerados os seguintes valores: 40 dB para a alvenaria, 50 dB para o *steel framing* e 34,93 dB para o *wood framing*.

O sistema construtivo com maior índice de redução sonora é o *steel framing*, portanto, para valores de comparação, o valor do índice de redução sonora deste sistema construtivo será considerado como “ $r=1$ ”. Com este valor de referência pode-se dizer que o sistema construtivo em alvenaria tem como índice de redução sonora $0,8r$ e que o método construtivo em *wood framing* tem redução sonora de $0,7r$. O Gráfico 14 ilustra esta comparação.

Como os requisitos da NBR 15.575 em relação ao desempenho acústico são apresentados em vários tipos de situações eles não serão incluídos no Gráfico 14, para facilitar a sua legibilidade; as comparações quanto aos sistemas construtivos e a norma de desempenho já foram realizadas detalhadamente nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3.

Gráfico 14: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base no índice de redução sonora.



Fonte: Autor.

A partir dos dados do Gráfico 14 e das conclusões apresentadas nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3, será considerado, para este estudo, quanto ao desempenho acústico, o *steel framing* como método mais adequado para a construção de habitações de interesse social para o PMCMV, já que o seu desempenho acústico é melhor que o dos outros sistemas construtivos.

4.2.5 Resumo comparativo entre os sistemas com base nos critérios discutidos

A partir dos dados apresentados nos itens 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 e 4.2.4; pode-se comparar os três sistemas construtivos apresentados, com o objetivo de selecionar qual deles é o mais adequado para a construção de unidades habitacionais de interesse social pelo PMCMV.

Quanto ao critério de custo e produtividade e de impacto ambiental concluiu-se que o *wood framing* é o método construtivo mais adequado. Enquanto que, para os critérios de desempenho térmico e acústico o *steel framing* foi o método mais apropriado. Pode-se concluir que, analisando os diversos critérios discutidos, houve um empate entre estes dois sistemas construtivos. (Quadro 41).

Quadro 41 – Resumo dos resultados dos parâmetros avaliados.

PARÂMETRO	SISTEMA CONSTRUTIVO COM MELHOR DESEMPENHO
CUSTO E PRODUTIVIDADE	<i>WOOD FRAMING</i>
IMPACTO AMBIENTAL	<i>WOOD FRAMING</i>
DESEMPENHO TÉRMICO	<i>STEEL FRAMING</i>
DESEMPENHO ACÚSTICO	<i>STEEL FRAMING</i>

Fonte: Autor.

4.3 Conclusão sobre os resultados apresentados

A partir dos dados apresentados nos itens 4.1 e 4.2, pode-se comparar os três sistemas construtivos apresentados (por meio da NBR 15.575 e dos outros critérios analisados nesta pesquisa), com o objetivo de selecionar qual deles é o mais adequado para a construção de unidades habitacionais de interesse social pelo PMCMV.

No item 4.1, os métodos construtivos foram avaliados conforme as especificações de desempenho térmico e acústico da NBR 15.575-4. Neste item, o *steel framing* mostrou-se (entre os três sistemas avaliados) o método construtivo que melhor atendeu às exigências dos critérios de desempenho desta, embora nenhum deles tenha atendido a todos os critérios mínimos.

No item 4.2, os sistemas construtivos foram comparados entre si por meio de critérios que avaliam qual deles é o método construtivo mais adequado para a construção de unidades habitacionais em grande quantidade pelo PMCMV. Neste item foi constatado que, nos critérios referentes à custo e produtividade; e impacto ambiental, o *wood framing* é o sistema construtivo mais apropriado. Enquanto que,

nos critérios referentes ao desempenho térmico e acústico, o *steel framing* é o método mais adequado.

Com base nos resultados e conclusões obtidos nos itens 4.1 e 4.2, o sistema construtivo em *steel framing* é considerado como mais adequado, pois atende melhor aos requisitos da NBR 15.575, esta diferença com os outros sistemas construtivos avaliados se dá principalmente no desempenho acústico.

Considerando que os critérios avaliados pela norma estão incluídos entre àqueles considerados na comparação entre os sistemas construtivos e que nenhum dos métodos atingiu a todos os critérios mínimos da NBR 15.575-4. Os sistemas construtivos podem ser avaliados com base apenas na comparação entre eles.

Deste modo, se todos os critérios avaliados forem considerados igualmente importantes, pode-se concluir, então, que os sistemas construtivos *steel framing* e *wood framing*, são igualmente adequados para a construção de unidades habitacionais de interesse social em grande quantidade pelo PMCMV.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O déficit habitacional brasileiro é um problema grave que necessita de programas específicos para ser controlado e suprimido. Ao longo do século XX, o governo elaborou várias estratégias para este objetivo, mas nenhuma delas surtiu o efeito desejado. Uma das conclusões mais frequente entre os estudos sobre os planos governamentais e também entre as pesquisas promovidas pelo governo foi que o sistema construtivo convencional brasileiro, a alvenaria, é um método artesanal, que exige muito tempo de construção.

Atualmente, o PMCMV é a ferramenta que o governo utiliza para combater o déficit habitacional. Neste programa, diversos métodos construtivos foram empregados. Porém, em grande parte dos casos, o método construtivo em alvenaria, por ser o mais tradicional, é o mais utilizado.

Neste contexto, é aprovada a norma de desempenho NBR 15.575, que estabelece requisitos e critérios mínimos que a construção brasileira deve atender, visando a melhora na qualidade das edificações e aumento do conforto do usuário.

Esta pesquisa apresentou uma comparação entre três sistemas construtivos (alvenaria, *steel framing* e *wood framing*) utilizados no PMCMV, com o objetivo de definir qual se adequa melhor à construção de habitações de interesse social em grande quantidade pelo PMCMV.

Na primeira análise realizada, pelos critérios da NBR 15.575-4, nenhum dos sistemas avaliados atendeu a todos os requisitos da norma. Porém, por meio dos resultados obtidos, conclui-se que o sistema construtivo em *steel framing* é aquele que melhor atende a norma de desempenho (entre os métodos avaliados). Nesta análise cabe uma ressalva, esta conclusão deve-se ao fato deste sistema construtivo se destacar na avaliação quanto aos critérios de desempenho acústico. Nestes critérios, quanto ao sistema construtivo *wood framing* foram obtidos poucos dados e o seu desempenho considerado foi abaixo do resultado esperado (como já discutido anteriormente).

Na segunda análise, foram comparados os métodos construtivos com base em parâmetros definidos para auxiliar na verificação de qual sistema construtivo é mais adequado para a construção de habitações de interesse social em série pelo PMCMV. Nos dois primeiros parâmetros avaliados (custo e produtividade, e impacto

ambiental) o sistema construtivo *wood framing* apresentou melhor desempenho; enquanto que, para os outros parâmetros (desempenho térmico e acústico) o método construtivo *steel framing* se destacou em relação aos outros sistemas avaliados.

Assim, com base nas avaliações pela norma e nas análises pelos parâmetros apresentados, o sistema construtivo *steel framing* é o que atende melhor a norma e aos parâmetros.

Porém, se for considerado que nenhum sistema construtivo atingiu o desempenho mínimo em todos os critérios apresentados da NBR 15.575-4 e que os parâmetros avaliados pela norma estão incluídos na comparação entre os sistemas construtivos; pode-se analisar os métodos construtivos apenas com base nos parâmetros de estudo.

Portanto, pode-se considerar um empate entre os sistemas construtivos *wood framing* e *steel framing*, já que o primeiro mostrou-se mais adequado nos quesitos de custo e produtividade e impacto ambiental e que o segundo se destacou nos fatores referentes ao desempenho térmico e acústico.

Deste modo, conclui-se que, para a definição do sistema construtivo mais adequado à construção de habitações de interesse social em grande quantidade pelo PMCMV, deva-se escolher qual dos parâmetros tem mais importância, o que depende do contexto no qual as habitações serão construídas.

Neste estudo, como todos os parâmetros são avaliados com igual importância, considera-se que ambos os sistemas construtivos *wood framing* e *steel framing* são adequados à construção de habitações de interesse social em grande quantidade pelo PMCMV.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros.

É de grande importância o estudo contínuo dos métodos construtivos no contexto brasileiro, para que este possa evoluir e adotar sistemas mais industrializados, com uma produção mais eficiente, menor impacto ambiental e melhor qualidade final.

Para futuros estudos recomenda-se:

- Comparar mais tipologias de painéis;
- Analisar estes sistemas construtivos por meio de projetos;
- Produzir mais pesquisas sobre o *wood framing*, pois ainda há pouco material disponível, no contexto brasileiro, relativo a este sistema;
- Analisar outros sistemas mais novos e pouco conhecidos em contexto nacional;
- Analisar diversos métodos construtivos com base em mais critérios da norma de desempenho NBR 15.575.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. L. M. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua, RJ para produção de brita e areia.** São Paulo, 2000. 118 p. Tese (Doutorado) Departamento de Engenharia e Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005a.

_____, **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15575-3:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

BESSA, V. M. T. **Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios.** São Paulo, 2010. 286 p. Tese (Doutorado) Departamento de Engenharia Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

BONDUKI, N. **Do Projeto Moradia ao Programa Minha Casa Minha Vida.** Teoria e Debate 82 p.8-14. 2009. Disponível em: < <http://www.fpabramo.org.br/uploads/TD82-Nacional.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2014

BRASIL, Ministério do Planejamento. **Maior empreendimento do Minha Casa, Minha Vida está 100% entregue em Manaus.** Disponível em: < <http://www.pac.gov.br/noticia/58a60e6c>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

BRASILIT. **Placa cimentícia Brasil Plac Plus, catálogo técnico.** São Paulo, 2007. Disponível em: < <http://www.correiocidadania.com.br/>>. Acesso em: 18 mar. 2014.

BERTINI, A. A. MARTINS, J. C. THOMAZ, E. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013, 300 p. Câmara Brasileira da Indústria da Construção, Fortaleza, 2013.

CALCULADOR. **Correção de Valor por Índice**. Disponível em: <<http://www.calculador.com.br/calculo/correcao-valor-por-indice>>. Acesso em: 30 mar. 2014.

CONDEIXA, Karina M. S. P. **Comparação entre materiais da construção civil através da avaliação do ciclo de vida: sistema drywall e alvenaria de vedação**. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.

CRASTRO, R. C. M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados. Light steel framing**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005.

CRASTO, R. C. M. FREITAS, A. M. S. **Construções em *Light Steel Frame***, Revista Techne, São Paulo: Pini, ano 14, n. 112, p. 60-65, jul 2006.

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.

EISFELD, C. L. BERGER, R. **Análise das estruturas de mercado das indústrias de painéis de madeira (compensado, MDF e OSB) no estado do Paraná**. Revista Floresta vol. 42, no. 1: 21-34. 2011.

ESPINDOLA, L. R. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ESPINDOLA, L. R. MORAES, P. D. **Coordenação Modular em Sistemas Leves de Madeira e Sistemas Mistos**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

FERREIRA, J. A. C. **Avaliação acústica de residências: resultados medidos e simulados**. 2004. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FERREIRA, R. M. A. **Análise da envoltória de um edifício residencial construído em sistema não-convencional no contexto brasileiro**. Dissertação (Especialização em Construções Sustentáveis) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012

FIX, M., P. A. **Como o governo Lula pretende resolver o problema da habitação. Alguns comentários sobre o pacote habitacional Minha Casa, Minha Vida**. Correio da cidadania (2009). Disponível em: < <http://www.correiocidadania.com.br/>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, Renata C. M. **Steel Framing: Arquitetura**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manuais da Construção em Aço). 2006.

GARCIA, S., MARTINS, M. S., ROMANINI, A., BERNARDES, M. **Análise de sistemas construtivos para implementação em habitação de interesse social**. Revista de Arquitetura da IMED, Vol. 1, n. 1, jan/jun 2012, p. 31-40. Passo Fundo, 2012.

GERVÁSIO, H. M. A. **SUSTENTABILIDADE DO AÇO E DAS ESTRUTURAS METÁLICAS**. In: Congresso Latino Americano de Construção Metálica - Construmetal 2008, São Paulo. 2008.

GLOBALWOOD. **FICHA TÉCNICA: MADEIRA DE PINUS**. Curitiba, 2014. Disponível em: < http://www.globalwood.com.br/noticias/ficha-tecnica-madeira-de-pinus/#.Uzil3_IdXw8>. Acesso em: 22 mar. 2014.

GOMES, A. P. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em Light Steel Framing**. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), 2007.

HAMMOND, G. JONES, C. **ICE Inventory of Carbon and Energy V 2.0**. Equipe de Pesquisa de Energia Sustentável (Sustainable Energy Research Team - SERT), Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Bath, Inglaterra. 2011. Disponível em: < <http://www.environmenttools.co.uk/directory/tool/name/inventory-of-carbon-and-energy-ice-university-of-bath/id/780>>. Acesso em: 18 mar. 2014.

HASS, D. C. G. MARTINS, L. F. **Viabilidade econômica do uso do sistema construtivo Steel Frame como método construtivo para habitações sociais**. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

HIRATA, F. **Minha Casa, Minha Vida: Política habitacional e de geração de emprego ou aprofundamento da segregação urbana?** Revista Aurora 2.2 (2011). Disponível em: <<http://www2.marilia.unesp.br/revistas/index.php/aurora/article/view/1202/1070>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

ICAL. **Ciclo da Cal**. 2010. Disponível em: < <http://www.ical.com.br/producao.html>>. Acesso em: 13 mar. 2014.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Etapas de produção do aço**. 2009. Disponível em: < <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/processo--etapas.asp>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Produto: Sistema Construtivo a seco Saint-Gobain - Light Steel Frame. Documento de Avaliação Técnica no 14**. Emissão: 04/2013, Validade: 03/2015. São Paulo. 2013a.

_____. **Produto: Sistema construtivo LP Brasil OSB em Light Steel Frame e fechamento em chapas de OSB revestidas com *siding* vinílico. Documento de Avaliação Técnica no 15**. Emissão: 04/2013, Validade: 03/2015. São Paulo. 2013b.

IFBQ – Instituto Falcão Bauer de Qualidade. **Produto: Sistema Construtivo TECVERDE: Sistema leve em madeira. Documento de Avaliação Técnica no 22**. Emissão: 10/2013, Validade: 09/2015. São Paulo. 2013.

JARDIM, G. T. C. CAMPOS, A.S. **Light steel framing”**: uma aposta do setor siderúrgico no desenvolvimento tecnológico da construção civil. São Paulo. CBCA, 2005. Disponível em: < <http://www.cbca-iabr.org.br/upfiles/downloads/apresent/SteelFramingCBCA.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2014.

JÚNIOR, R. C. **ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE PROJETO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL CONCEBIDO EM LIGHT STEEL FRAMING**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Carlos. São Carlos, 2012.

LAMBERTS, R.; MARINOSKI, D; TRIANA, M; VERSAGE, R; SORGATO, M; MORISHITA, C. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas. Florianópolis**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

LIPPIATT, B.C. **Selecting cost-effective green building products: BEES approach**. *Journal of Construction Engineering and Management*. Nov. /Dec. p. 448-455. 1999.

LP BRASIL. **Manual CES - Construção Energética Sustentável. Steel Frame Wood Frame**. Curitiba, 2011. Disponível em: < <http://www.lpbrasil.com.br/download/manual-ces.asp>>. Acesso em: 19 mar. 2014.

LOBO, F. H. R. **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.

LOSSO, M.; VIVEIROS, E. **Gesso Acartonado e Isolamento Acústico: Teoria versus prática no Brasil**. In: I CLACS - Conferência Latino Americana de Construção Sustentável, ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, 2004.

LUCA, C. R. **Desempenho acústico em sistemas drywall**. Associação Brasileira do Drywall. São Paulo. 2011. Disponível em: < http://www.gypsum.com.br/shared/manual_desempenho_acustico.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2014.

MAGALHÃES, R. F. **Edificações em light steel frame isoladas externamente com EIFS: avaliação de desempenho térmico pela NBR 15.575/2013.** 94p. Dissertação (Graduação em engenharia civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MEIRELLES, C. R. M. DINIS, H. SEGALL, M. L. SANT'ANA, S. S. **Considerações sobre o uso da madeira do Brasil em Construções Habitacionais.** III Fórum de Pesquisa FAU, Mackenzie, 2007.

MONICH, C.R. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná.** 128p. Dissertação (Mestrado em engenharia da construção civil) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MOREIRA D. LABAKI L. **Programa para cálculo da resistência térmica, da transmitância térmica e do atraso térmico de elementos e componentes de alvenarias.** Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~damore/conforto27>>. Acesso em: 13 mar. 2014.

MUNHOZ, F.C. RENOFIO, A. **Uso da gipsita na construção civil e adequação para a P+L.** In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007. Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu. 2007. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR650479_9888.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2014.

NASCIMENTO, D. M. BRAGA. R. C. Q. **Déficit habitacional: um problema a ser resolvido ou uma lição a ser aprendida?** Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online) n.9, p.98-109. 2009. Disponível em: <http://www.iau.usp.br/revista_risco/Risco9-pdf/02_art05_risco9.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2014.

NETO, A. C. N. SPOSTO, R. M. **Sustentabilidade energético ambiental de fachadas aplicada ao sistema steel frame.** IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis–ELECS. Vitória 1 (2011): 1-10.

PALACIO, C. D. U. **Energia incorporada de vedações para habitação de interesse social considerando-se o desempenho térmico: estudo de caso com utilização do light steel frame no entorno do DF.** Dissertação de Mestrado em Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília. 2013.

PARANÁ, SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA – PARANÁ EDIFICAÇÕES. **Custos de Edificações.** 2014. Disponível em: <<http://www.paranaedificacoes.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=6>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

PINTO, R. B. **Determinação experimental e numérica da Redução sonora aérea em paredes de Alvenaria utilizadas em habitações** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria). 2011.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. **A. Influência do tipo da cal hidratada na reologia de pastas.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. Boletim Técnico n. 233.

RIBAS, R. A. J. SOUZA, H.A. ADRIANO, J. J. PEREIRA, D. J. R. **Desempenho térmico e acústico de painéis de fechamento em multicamadas.** REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil v.6, n.2, p.1-10. Universidade Federal de Goiás, 2013.

SANTOS, L. C. F. D. **Avaliação de impactos ambientais da construção: comparação entre sistemas construtivos em alvenaria e em wood light frame.** Dissertação (Especialização em Construções Sustentáveis) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária.** 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W. **Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida.** In: Ambiente Construído, v. 5, n. 2, p. 83-94, abr/ jun 2004. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energética de edificações residências brasileiras**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TECVERDE. **Tecnologia Tecverde: em apenas 3 meses, você se muda para uma casa onde a natureza é sempre bem-vinda**. Disponível em <<http://www.tecverde.com.br/site/tecverde/tecnologia-tecverde/>>. Acesso em 15 mar. 2014.

HUD/U.S. (U.S. Department of Housing and Urban Development). **Steel vs. Wood. Cost Comparison. Beaufort Demonstration Homes**. 119p. Washington, D.C. 2002. Disponível on-line em <http://www.huduser.org/portal/publications/destech/steel_vs_wood.html>. Acesso em 15 mar. 2014.

VON LAER, C. B. FERNANDES, B. B. SOARES, P. P. TABARELLI, A. POUHEY, M. T. F. **Construção seca estilo wood frame: estudo de casos regionais de moradias populares**. XXII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

VOTORANTIM. **Coprocessamento**. Disponível em: < <http://www.vcimentos.com.br/htms-ptb/Responsabilidade/residuos.htm>>. Acesso em: 13 mar. 2014.

ZAGONEL, J. **Diagnóstico da prática de alvenaria estrutural e análise da viabilidade de uso do sistema racionalizado com blocos cerâmicos no Vale do Taquari**. Tese (Graduação) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ZATT, G. 2010. **Fechamento de paredes de vedação: sistema Light Steel Frame utilizando placas cimentícias**. Tese (Graduação) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Cálculos dos valores de transmitância e capacidade térmica do painel em alvenaria, baseados no método da NBR 15.220-2.

Dados (conforme Quadro 04):

Dimensões do tijolo = 19 cm x 14 cm x 9 cm

ρ cerâmica = 1600 kg/m³

λ cerâmica = 0,90 W/(m.K)

c cerâmica = 0,92 kJ/(kg.K)

ρ argamassa = ρ reboco = 2000 kg/m³

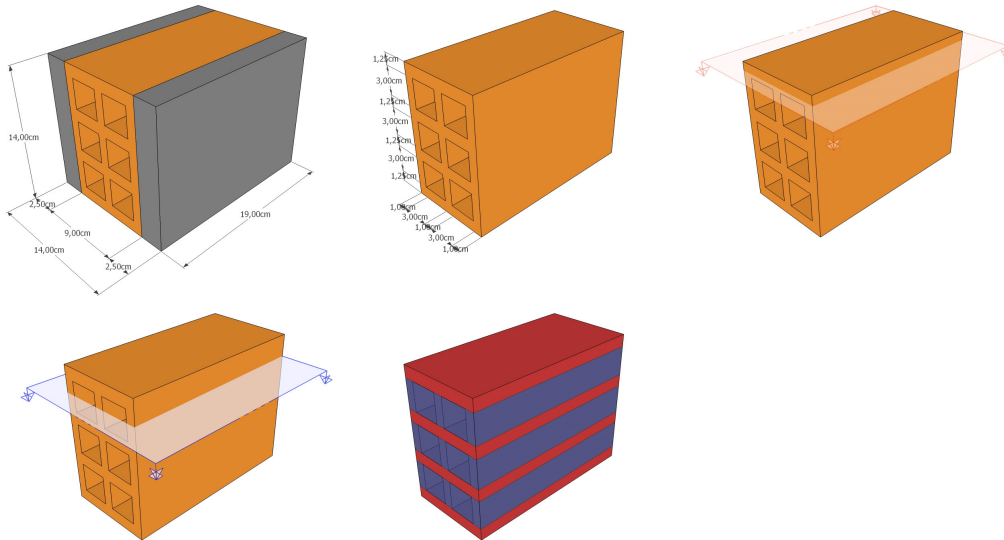
λ L argamassa = λ reboco = 1,15 W/(m.K)

c argamassa = c reboco = 1,00 kJ/(kg.K)

Para a câmara de ar, $R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ (tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 3,0 cm, fluxo horizontal). (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a).

Para este cálculo calcula-se primeiramente a resistência térmica no tijolo e da argamassa separadamente, para depois definir a resistência térmica da parede. A Figura 21 ilustra o tijolo e suas medidas, assim como as localizações das seções de cálculo.

Figura 21: Tijolo de estudo, com e sem argamassa de fechamento. Localização das seções 01 (em vermelho) e 02 (em azul).



Fonte: O autor.

- **Resistência térmica do tijolo (R_{tijolo}):**

Seção 1 (tijolo):

$$A_1 = 0,0125 \times 0,19 = 0,002375 \text{m}^2$$

$$R_1 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} = \frac{0,09}{0,9} = 0,081 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Seção 2 (tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo):

$$A_2 = 0,03 \times 0,19 = 0,0057 \text{m}^2$$

$$R_2 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}}$$

$$R_2 = \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} = 0,35 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Portanto, a resistência do tijolo será:

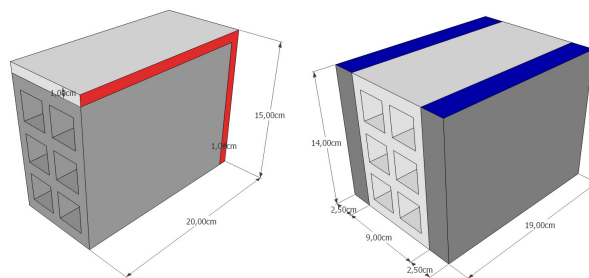
$$R_{\text{tijolo}} = \frac{4xA_1 + 3xA_2}{\frac{4xA_1}{R_1} + \frac{3xA_2}{R_2}} = \frac{4x0,002375 + 3x0,0057}{\frac{4x0,002375}{0,081} + \frac{3x0,0057}{0,35}}$$

$$R_{\text{tijolo}} = 0,16 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- **Resistência térmica da argamassa (R_{parede}):**

Para o cálculo da resistência térmica da argamassa esta será dividida em duas partes: a argamassa entre os blocos, e a argamassa de fechamento lateral, chamada a partir deste momento de reboco. A Figura 21 ilustra a argamassa em relação ao tijolo e suas medidas, assim como as localizações das seções de cálculo.

Figura 22: Tijolo de estudo, seção da argamassa e do reboco, respectivamente



Fonte: O autor.

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01x0,19 + 0,01x0,15 = 0,0034 \text{m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{arg\ massa}}{\lambda_{arg\ massa}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$R_a = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,121\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,14 \times 0,19 = 0,0266\text{m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{tijolo} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + 0,16 + \frac{0,025}{1,15} = 0,203\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_{parede} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0034 + 0,0266}{\frac{0,0034}{0,121} + \frac{0,0266}{0,203}}$$

$$R_{parede} = 0,188\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- **Resistência térmica total do painel (R_{painel}):**

$$R_{painel} = R_{si} + R_{parede} + R_{se}$$

A resistência superficial da camada de ar interna e externa é determinada pelo Quadro 42.

Quadro 42: - Resistência térmica da camada de ar superficial interna e externa.

R _{si} (m ² .K)/W			R _{se} (m ² .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	↑	↓	⇒	↑	↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a.

Portanto a resistência térmica do painel de alvenaria é de:

$$R_{\text{painel}} = 0,13 + 0,188 + 0,04 = 0,358 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

A partir da resistência térmica a transmitância pode ser calculada:

$$U = \frac{1}{R_{\text{painel}}} = \frac{1}{0,358} = 2,79 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Para o cálculo da capacidade térmica o tijolo é dividido da mesma maneira que no cálculo da transmitância. Neste cálculo o tijolo e a argamassa serão analisados juntos.

- Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,15 = 0,0034 \text{m}^2$$

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

Como $\rho_{\text{reboco}} = \rho_{\text{argamassa}} = 2000 \text{ kg/m}^3$ e $c_{\text{reboco}} = c_{\text{argamassa}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$, tem-se:

$$C_{Ta} = 0,14 \times 1 \times 2000 = 280 \text{KJ / m}^2 \text{K}$$

- Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,0125 \times 0,19 = 0,002375 \text{m}^2$$

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tb} = 0,025 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,025 \times 1,00 \times 2000$$

$$C_{Tb} = 50 + 132,48 + 50 = 232,48 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{K}$$

- Seção C (reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco):

$$A_c = 0,03 \times 0,19 = 0,0057 \text{m}^2$$

$$C_{Tc} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}}$$

$$+ (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tc} = 0,05 \times 1,00 \times 2000 + 0,03 \times 0,92 \times 1600 = 144,16 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{K}$$

Portanto, a capacidade térmica do painel será:

$$C_{T\text{painel}} = \frac{A_a + 4A_b + 3A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{4A_b}{C_{Tb}} + \frac{3A_c}{C_{Tc}}}$$

$$C_{T\text{painel}} = \frac{0,0034 + 4 \times 0,002375 + 3 \times 0,0057}{\frac{0,0034}{280} + \frac{4 \times 0,002375}{232,48} + \frac{3 \times 0,0057}{144,16}}$$

$$C_{T\text{painel}} = 174,8 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{K}$$

APÊNDICE B – Cálculos dos valores de transmitância e capacidade térmica do painel em *steel framing*, baseados no método da NBR 15.220-2.

Dados (conforme Quadro 10):

$$\rho_{\text{aço}} = 7800 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{aço}} = 55 \text{ W/(m.K)}$$

$$c_{\text{aço}} = 0,46 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$\rho_{\text{lã de rocha}} = 32 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{lã de rocha}} = 0,045 \text{ W/(m.K)}$$

$$c_{\text{lã de rocha}} = 0,75 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$\rho_{\text{placa cimentícia}} = 1330 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{placa cimentícia}} = 0,35 \text{ W/(m.K)}$$

$$c_{\text{placa cimentícia}} = 0,84 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$\rho_{\text{OSB}} = 550 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{OSB}} = 0,12 \text{ W/(m.K)}$$

$$c_{\text{OSB}} = 2,30 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$\rho_{\text{gesso acartonado}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{gesso acartonado}} = 0,35 \text{ W/(m.K)}$$

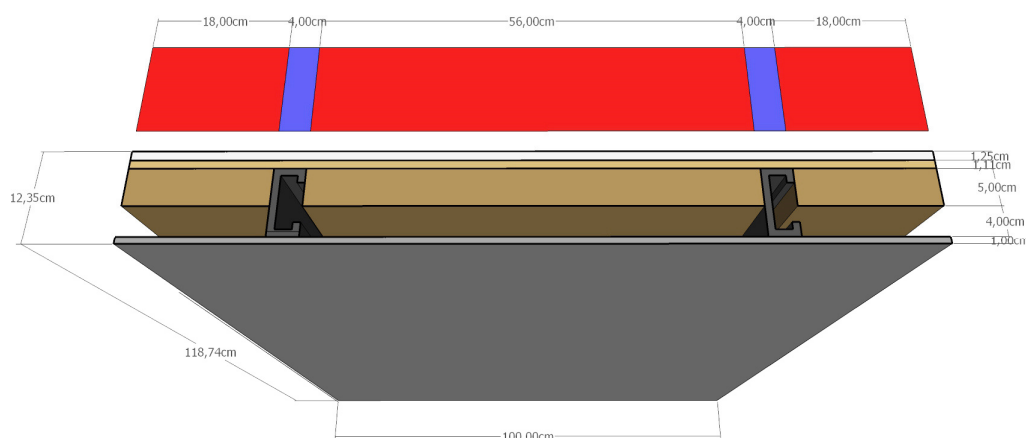
$$c_{\text{gesso acartonado}} = 0,84 \text{ kJ/(kg.K)}$$

Os valores relativos à densidade dos materiais, que não foram pré definidos pela norma foram obtidos em Monich (2012), Ferreira (2004) e Ribas (et al. 2013).

Para a câmara de ar, $R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 3,0 cm, fluxo horizontal). (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a).

Para este cálculo será adotada apenas uma seção; mas esta possui duas características diferentes. Os locais onde estão localizados os montantes tem uma seção diferente daqueles que não têm. Para o cálculo final é considerada a percentagem que os montantes ocupam relativamente ao todo do painel, determinando assim o desempenho térmico do painel.

Figura 23: Painel em *steel framing* de estudo. Localização das seções 01 (em vermelho) e 02 (em azul).



Fonte: O autor.

Na Figura 23, observa-se que a percentagem da seção 02 é de 8% em relação ao total, pode-se observar também as espessuras de cada material, e a camada de ar que ocupa 4 cm de espessura no painel.

- Seção 1 (placa cimentícia + câmara de ar + lâ de rocha + OSB + gesso acartonado):

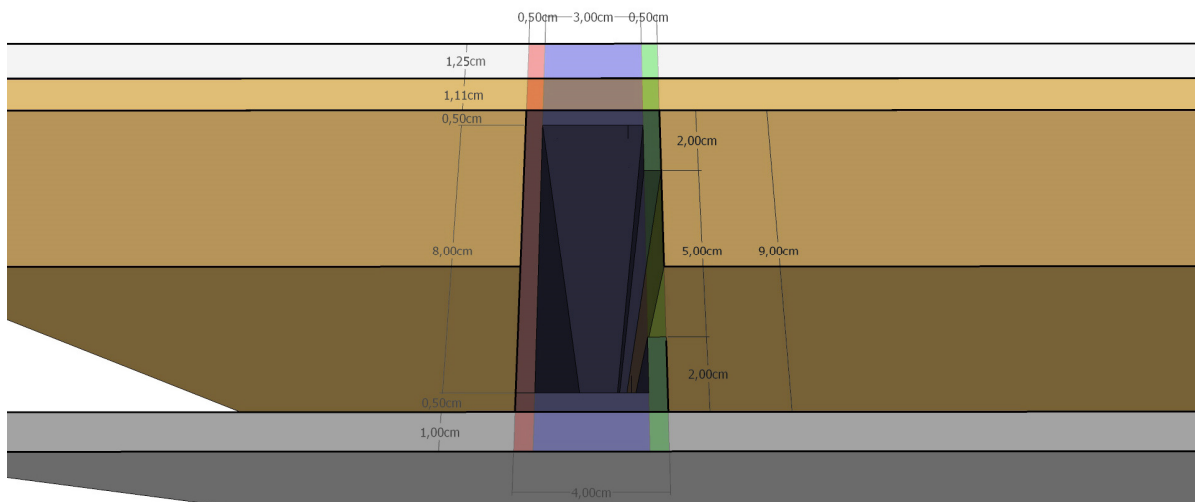
$$R_1 = \frac{e_{cimenticia}}{\lambda_{cimenticia}} + R_{ar} + \frac{e_{l\tilde{a}}}{\lambda_{l\tilde{a}}} + \frac{e_{osb}}{\lambda_{osb}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}}$$

$$R_1 = \frac{0,01}{0,35} + 0,16 + \frac{0,05}{0,045} + \frac{0,011}{0,12} + \frac{0,0125}{0,35} = 1,42 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- Seção 2:

A seção 02 é dividida conforme a Figura, pois o perfil do aço é irregular e cada uma das suas seções deve ser calculada separadamente.

Figura: Pannel em *steel framing* de estudo. Localização das seções 02a (em vermelho) e 02b (em azul) e 2c (em verde) no perfil do montante do pannel em *steel framing*.



Fonte: O autor.

- Seção 2a (placa cimentícia + montante de aço + OSB + gesso acartonado):

$$R_{2a} = \frac{e_{cimenticia}}{\lambda_{cimenticia}} + \frac{e_{aço}}{\lambda_{aço}} + \frac{e_{osb}}{\lambda_{osb}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}}$$

$$R_{2a} = \frac{0,01}{0,35} + \frac{0,09}{55} + \frac{0,011}{0,12} + \frac{0,0125}{0,35} = 0,157 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- Seção 2b (placa cimentícia + montante de aço + câmara de ar + montante de aço + OSB + gesso acartonado):

$$R_{2b} = \frac{e_{cimenticia}}{\lambda_{cimenticia}} + \frac{e_{aço}}{\lambda_{aço}} + R_{ar} + \frac{e_{aço}}{\lambda_{aço}} + \frac{e_{osb}}{\lambda_{osb}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}}$$

$$R_{2b} = \frac{0,01}{0,35} + \frac{0,005}{55} + 0,16 + \frac{0,005}{55} + \frac{0,011}{0,12} + \frac{0,0125}{0,35} = 0,316 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- Seção 2c (placa cimentícia + montante de aço + câmara de ar + montante de aço + OSB + gesso acartonado):

$$R_{2c} = \frac{e_{cimenticia}}{\lambda_{cimenticia}} + \frac{e_{aço}}{\lambda_{aço}} + R_{ar} + \frac{e_{aço}}{\lambda_{aço}} + \frac{e_{osb}}{\lambda_{osb}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}}$$

$$R_{2c} = \frac{0,01}{0,35} + \frac{0,02}{55} + 0,16 + \frac{0,02}{55} + \frac{0,011}{0,12} + \frac{0,0125}{0,35} = 0,388 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Para a definição da resistência térmica da seção 02 faz-se uma soma baseada na percentagem que cada uma das sub seções ocupa:

$$R_2 = \frac{12,5xR_{2a} + 75xR_{2b} + 12,5xR_{2c}}{100} = 0,30 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Para a definição da resistência térmica da parede faz-se uma soma baseada na percentagem que cada uma das seções (a e b) ocupa no painel:

$$R_{parede} = \frac{92xR_1 + 8xR_2}{100} = 1,33 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Para a definição da resistência térmica total do painel, ainda deve-se adicionar a resistência superficial da camada de ar interna e externa:

$$R_{\text{painel}} = R_{\text{si}} + R_{\text{parede}} + R_{\text{se}}$$

$$R_{\text{painel}} = 0,13 + 1,33 + 0,04 = 1,50 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

A partir da resistência térmica a transmitância pode ser calculada:

$$U = \frac{1}{R_{\text{painel}}} = \frac{1}{1,318} = 0,666 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Para o cálculo da capacidade térmica o painel de *steel framing* é dividido da mesma maneira que no cálculo da transmitância.

- Seção 1 (placa cimentícia + câmara de ar + lã de rocha + OSB + gesso acartonado):

$$C_{T1} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cimenticia}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{lã}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{osb}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}}$$

$$C_{T1} = 0,01 \times 0,84 \times 1330 + 0,05 \times 0,75 \times 32 + 0,011 \times 2,3 \times 550 + 0,0125 \times 0,84 \times 1000$$

$$C_{T1} = 36,787 \text{KJ / m}^2 \text{K}$$

- Seção 2:

Seção 2a (placa cimentícia + montante de aço + OSB + gesso acartonado):

$$C_{T2a} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cimenticia}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{aço}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{osb}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}}$$

$$C_{T2a} = 0,01 \times 0,84 \times 1330 + 0,09 \times 0,46 \times 7800 + 0,011 \times 2,3 \times 550 + 0,0125 \times 0,84 \times 1000$$

$$C_{T2a} = 358,507 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ K}$$

- Seção 2b (placa cimentícia + montante de aço + câmara de ar + montante de aço + OSB + gesso acartonado):

$$C_{T2b} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (\text{e.c.}\rho)_{\text{cimentícia}} + (\text{e.c.}\rho)_{\text{aço}} + (\text{e.c.}\rho)_{\text{ar}} + (\text{e.c.}\rho)_{\text{aço}} + (\text{e.c.}\rho)_{\text{osb}} + (\text{e.c.}\rho)_{\text{gesso}}$$

$$C_{T2b} = 0,01 \times 0,84 \times 1330 + 0,005 \times 0,46 \times 7800 + 0,005 \times 0,46 \times 7800 + 0,011 \times 2,3 \times 550 + 0,0125 \times 0,84 \times 1000$$

$$C_{T2b} = 71,46 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ K}$$

- Seção 2c (placa cimentícia + montante de aço + câmara de ar + montante de aço + OSB + gesso acartonado):

$$C_{T2c} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (\text{e.c.}\rho)_{\text{cimentícia}} + (\text{e.c.}\rho)_{\text{aço}} + (\text{e.c.}\rho)_{\text{ar}} + (\text{e.c.}\rho)_{\text{aço}} + (\text{e.c.}\rho)_{\text{osb}} + (\text{e.c.}\rho)_{\text{gesso}}$$

$$C_{T2c} = 0,01 \times 0,84 \times 1330 + 0,02 \times 0,46 \times 7800 + 0,02 \times 0,46 \times 7800 + 0,011 \times 2,3 \times 550 + 0,0125 \times 0,84 \times 1000$$

$$C_{T2c} = 179,107 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ K}$$

A capacidade térmica para a Seção 2 será então:

$$C_{T2} = \frac{12,5xC_{T2a} + 75xC_{T2b} + 12,5xC_{T2c}}{100} = 120,8KJ / m^2 K$$

Para a definição da capacidade térmica do painel faz-se uma soma baseada na percentagem que cada uma das seções (a e b) ocupa no painel:

$$C_{Tpanel} = \frac{92xC_{T1} + 8xC_{T2}}{100} = 43,50KJ / m^2 K$$

APÊNDICE C – Cálculos do valor da redução sonora resultante da camada de ar gerada pela distância entre os montantes e pelo material destes.

A partir das pesquisas descritas no item 4.1.2, é calculado o índice de redução sonora de cada painel destes estudos por meio de um processo inverso, ou seja, reduzindo os valores de redução sonora de cada componente de revestimento. Para os valores a serem reduzidos serão tomados como referência os dados do Quadro 24 e as conclusões descritas no item 4.1.2.

Para a pesquisa de Losso e Viveiros (2004), serão considerados os valores descritos no item 4.1.2, com base na Tabela 24. Neste item são adotados como referência para pesquisa dois painéis: um com duas placas de gesso acartonado e outro com quatro. Para o painel com duas placas (painel 01) o índice de redução sonora adotado é de 37,5dB, já para o de quatro placas (painel 02) esse valor é de 43,5 dB.

Com referência na pesquisa de Losso e Viveiros (2004) e considerando como índice de redução sonora de uma placa de gesso acartonado o valor de 3 dB; o valor da redução sonora resultante da camada de ar gerada pela distância entre os montantes e pelo material destes é de:

- Painel 01: $37,5 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 31,5 \text{ dB}$;
- Painel 02: $43,5 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 31,5 \text{ dB}$.

Para os ensaios técnicos elaborados pela empresa Brasilit (2007), serão considerados os valores descritos na Tabela 25. Nesta tabela são mostrados dois painéis: um com duas placas de cimentícias e outro com quatro placas e isolamento em lã mineral. Para o painel com duas placas (painel 03) o índice de redução sonora é de 45 dB, já para o de quatro placas e lã mineral (painel 04) esse valor é de 57 dB.

Com referência nos ensaios técnicos elaborados pela empresa Brasilit (2007), considerando como índice de redução sonora de uma placa cimentícia o valor de 2 dB e para o isolamento em lã mineral 7,93 dB; o valor da redução sonora resultante da camada de ar gerada pela distância entre os montantes e pelo material destes é de:

- Painei 03: $45 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - 2 \text{ dB} = 41 \text{ dB}$;
- Painei 04: $57 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - 7,93 \text{ dB} = 41,07 \text{ dB}$.

A terceira fonte de dados a ser considerada são os ensaios técnicos elaborados pelo IPT (2013a) sobre o sistema construtivo Saint-gobain, serão considerados os valores descritos na Tabela 26. Nesta tabela são mostrados dois painéis: o primeiro com fechamento externo em placas cimentícias de espessura de 10 mm; fechamento interno em drywall com 12,5 mm de espessura; e núcleo em lã de vidro com 50 mm de espessura; o segundo difere apenas na substituição da placa cimentícia para uma chapa de gesso acartonado. Para o primeiro painel (painel 05) o índice de redução sonora é de 50 dB, para segundo (painel 06) esse valor é de 51 dB.

Com referência nos ensaios técnicos elaborados pelo IPT (2013a sobre o sistema construtivo Saint-gobain, considerando os índices de redução sonora da placa de gesso acartonado, da placa cimentícia, e do isolamento em lã mineral descritos anteriormente; o valor da redução sonora resultante da camada de ar gerada pela distância entre os montantes e pelo material destes é de:

- Painei 05: $50 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - 7,93 \text{ dB} = 37,07 \text{ dB}$;
- Painei 06: $51 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 7,93 \text{ dB} = 37,07 \text{ dB}$.

O quarto ensaio considerado é o de Luca (2011), serão considerados os valores descritos Anexo 01. Nesta tabela são avaliados vários painéis, mas serão considerados apenas aqueles com a mesma espessura de câmara de ar do painel de estudo (as paredes 04, 05 e 06). A primeira parede é composta por duas placas de gesso acartonado; na segunda é adicionado o isolamento com lã mineral; e na terceira são adicionadas mais duas placas de gesso. Para o primeiro painel (painel 07) o índice de redução sonora é de 38 dB, para segundo (painel 08) esse valor é de 45 dB e para o terceiro (painel 09) é de 51 dB.

Com referência na pesquisa de Luca (2011), considerando os índices de redução sonora da placa de gesso acartonado e do isolamento em lã mineral descritos anteriormente; o valor da redução sonora resultante da camada de ar gerada pela distância entre os montantes e pelo material destes é de:

- Painel 07: $38 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 32 \text{ dB}$;
- Painel 08: $45 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 7,93 \text{ dB} = 31,07 \text{ dB}$.
- Painel 09: $51 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 7,93 \text{ dB} = 31,07 \text{ dB}$.

A quinta fonte de dados a ser considerada são os ensaios técnicos elaborados pelo IPT (2013b) sobre o sistema construtivo LP Brasil OSB em Light *Steel framing*, serão considerados os valores descritos para a parede externa deste sistema na Tabela 27. Este painel (painel 10) é composto por: placas de OSB, membrana hidrófuga e siding vinílico e placas de drywall e tem um índice de redução sonora de 39 dB.

Com referência nos ensaios técnicos elaborados pelo IPT (2013b) sobre o sistema construtivo LP Brasil OSB em Light *Steel framing*, considerando os índices de redução sonora da placa de OSB como 3,97dB e o da placa de gesso acartonado descrito anteriormente; o valor da redução sonora resultante da camada de ar gerada pela distância entre os montantes e pelo material destes é de:

- Painel 10: $39 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3,97 \text{ dB} = 32,03 \text{ dB}$;

A última fonte de dados avaliada é aquela da LP BRASIL (2011), realizada com base em análises do IPT, serão considerados os valores descritos para a parede 01 (as outras paredes não serão consideradas, pois apresentam materiais que não fazem parte do escopo da pesquisa) deste sistema na Tabela 28. Este painel (painel 11) é composto por: duas placas de OSB e duas placas de drywall e tem um índice de redução sonora de 47 dB.

Com referência na pesquisa elaborados pela LP BRASIL (2011) com base em análises do IPT, considerando os índices de redução sonora da placa de OSB como e o da placa de gesso acartonado descritos anteriormente; o valor da redução sonora resultante da camada de ar gerada pela distância entre os montantes e pelo material destes é de:

- Painel 11: $47 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3,97 \text{ dB} - 3,97 \text{ dB} = 33,06 \text{ dB}$;

A partir das pesquisas descritas no item 4.1.2 e nesse Apêndice, o índice de redução sonora médio resultante da camada de ar gerada pela distância entre os montantes e pelo material destes é de: 34,40 dB.

APÊNDICE D – Cálculos dos valores de transmitância e capacidade térmica do painel em *wood framing*, baseados no método da NBR 15.220-2.

Dados (conforme Quadro 13):

$$\rho_{\text{pinus}} = 400 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{pinus}} = 0,23 \text{ W/(m.K)}$$

$$c_{\text{pinus}} = 1,34 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$\rho_{\text{lã de rocha}} = 32 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{lã de rocha}} = 0,045 \text{ W/(m.K)}$$

$$c_{\text{lã de rocha}} = 0,75 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$\rho_{\text{placa cimentícia}} = 1330 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{placa cimentícia}} = 0,35 \text{ W/(m.K)}$$

$$c_{\text{placa cimentícia}} = 0,84 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$\rho_{\text{OSB}} = 550 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{OSB}} = 0,12 \text{ W/(m.K)}$$

$$c_{\text{OSB}} = 2,30 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$\rho_{\text{gesso acartonado}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{gesso acartonado}} = 0,35 \text{ W/(m.K)}$$

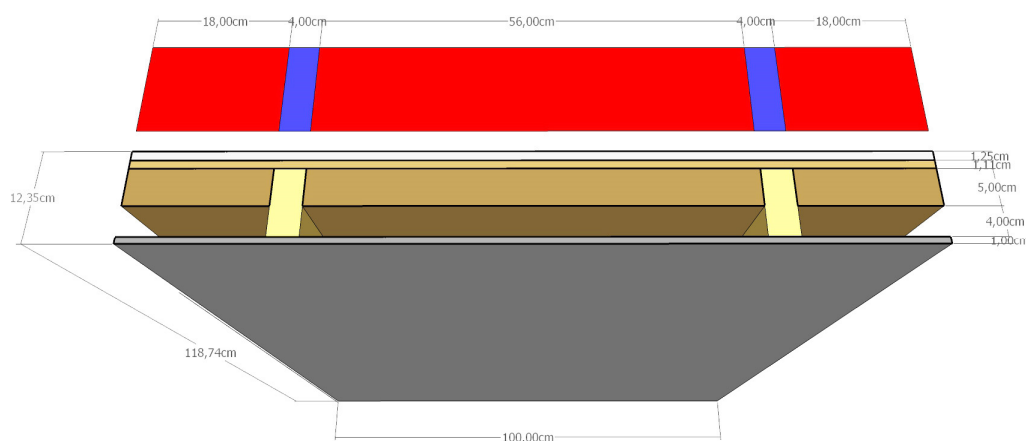
$$c_{\text{gesso acartonado}} = 0,84 \text{ kJ/(kg.K)}$$

Os valores relativos à densidade dos materiais, que não foram pré definidos pela norma foram obtidos em GlobalWood (2014), Ferreira (2004) e Ribas (et al. 2013).

Para a câmara de ar, $R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 3,0 cm, fluxo horizontal). (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a).

Para este cálculo será adotada apenas uma seção; mas esta possui duas características diferentes. Os locais onde estão localizados os montantes tem uma seção diferente daqueles que não têm. Para o cálculo final é considerada a percentagem que os montantes ocupam relativamente ao todo do painel, determinando assim o desempenho térmico do painel.

Figura 24: Painel em *wood framing* de estudo. Localização das seções 01 (em vermelho) e 02 (em azul).



Fonte: O autor.

Na Figura 24, observa-se que a percentagem da seção 02 é de 8% em relação ao total, pode-se observar também as espessuras de cada material, e a camada de ar que ocupa 4 cm de espessura no painel.

- Seção 1 (placa cimentícia + câmara de ar + lâ de rocha + OSB + gesso acartonado):

$$R_1 = \frac{e_{cimenticia}}{\lambda_{cimenticia}} + R_{ar} + \frac{e_{l\tilde{a}}}{\lambda_{l\tilde{a}}} + \frac{e_{osb}}{\lambda_{osb}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}}$$

$$R_1 = \frac{0,01}{0,35} + 0,16 + \frac{0,05}{0,045} + \frac{0,011}{0,12} + \frac{0,0125}{0,35} = 1,42 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- Seção 2 (placa cimentícia + montante em pinus + OSB + gesso acartonado):

$$R_2 = \frac{e_{cimenticia}}{\lambda_{cimenticia}} + \frac{e_{pinus}}{\lambda_{pinus}} + \frac{e_{osb}}{\lambda_{osb}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}}$$

$$R_2 = \frac{0,01}{0,35} + \frac{0,09}{0,23} + \frac{0,011}{0,12} + \frac{0,0125}{0,35} = 0,547 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Para a definição da resistência térmica da parede faz-se uma soma baseada na percentagem que cada uma das seções (a e b) ocupa no painel:

$$R_{parede} = \frac{92xR_1 + 8xR_2}{100} = 1,35 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Para a definição da resistência térmica total do painel, ainda deve-se adicionar a resistência superficial da camada de ar interna e externa:

$$R_{painel} = R_{si} + R_{parede} + R_{se}$$

$$R_{painel} = 0,13 + 1,35 + 0,04 = 1,52 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

A partir da resistência térmica a transmitância pode ser calculada:

$$U = \frac{1}{R_{painel}} = \frac{1}{1,318} = 0,657 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Para o cálculo da capacidade térmica o painel de *wood framing* é dividido da mesma maneira que no cálculo da transmitância.

- Seção 1 (placa cimentícia + câmara de ar + lã de rocha + OSB + gesso acartonado):

$$C_{T1} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e.c.\rho)_{\text{cimenticia}} + (e.c.\rho)_{\text{ar}} + (e.c.\rho)_{\text{lã}} + (e.c.\rho)_{\text{osb}} + (e.c.\rho)_{\text{gesso}}$$

$$C_{T1} = 0,01 \times 0,84 \times 1330 + 0,05 \times 0,75 \times 32 + 0,011 \times 2,3 \times 550 + 0,0125 \times 0,84 \times 1000$$

$$C_{T1} = 36,787 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ K}$$

- Seção 2 (placa cimentícia + montante de pinus + OSB + gesso acartonado):

$$C_{T2} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e.c.\rho)_{\text{cimenticia}} + (e.c.\rho)_{\text{pinus}} + (e.c.\rho)_{\text{osb}} + (e.c.\rho)_{\text{gesso}}$$

$$C_{T2} = 0,01 \times 0,84 \times 1330 + 0,09 \times 0,23 \times 400 + 0,011 \times 2,3 \times 550 + 0,0125 \times 0,84 \times 1000$$

$$C_{T2} = 43,86 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ K}$$

Para a definição da capacidade térmica do painel faz-se uma soma baseada na percentagem que cada uma das seções (a e b) ocupa no painel:

$$C_{T\text{painel}} = \frac{92 \times C_{T1} + 8 \times C_{T2}}{100} = 37,35 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ K}$$

ANEXOS

ANEXO A – Orçamento de insumos para o painel em LSF na empresa RUDEGON.

RUDEGON

Rudegon Com. e Repr. de Madeiras Ltda - Matriz
Rua Tenente Francisco Ferreira de Souza, 3969 - Boqueirão - Curitiba - Paraná - Fone: (41) 3015-1000
CNPJ: 79.985.479/0001-12 - Insc.Est.: 101.237.99-07
www.rudegon.com.br

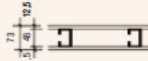


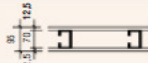




ORÇAMENTO

1027215

Nome/Razao Social 1 - CONSUMIDOR - CONSUMIDOR				C.P.F./C.N.P.J. 000.000.000-00		R.G./Inscrição Estadual ISENTO	
Endereço			Bairro		Cidade		UF
CEP		Telefone 3015-1000		Email do Cliente			
Representante *BO.VEN VALDEIR			Email do Representante		Data da Cotação 19/03/2014 - 11:54:19		
Cod.Prod.	Quantidade	UN	Descrição dos Produtos	Loja	Entrega	Valor Unitário	Valor Total
17527	1	CH	OSB HOME PLUS ESTRUTURAL 2400 X 1200 X 11,1mm (LXXVIII) 61087NH078 LP BRASIL	M	Retira	43,60	43,60
26560	1	CH	DRYWALL ST 1800 X 1200 X 12,5mm KNAUF	M	Retira	29,30	29,30
23673	1	UN	PLACA CIMENTICIA PROFORT 1.20 X 2.40 X 10mm DRY PLACLUX	M	Retira	99,00	99,00
17788	1	RO	MEMBRANA 0,92m X 30 m FRAME 3234A-004 99081 LP BRASIL	M	Retira	135,00	135,00
17789	1	UN	MEMBRANA 2,70m X 30m FRAME 3234A-008 99082 LP BRASIL	M	Retira	406,10	406,10
12451	1	RO	ISOLMANTA DE 0.5mm 1.50 X 300m MULTINOVA	M	Retira	168,60	168,60
Cond.Pagamento		Forma de Pagamento		Parcela	Vencimento	Valor	
A VISTA		DINHEIRO		001	19/03/2014	881,60	

ANEXO B – Tabela dos padrões de desempenho das paredes drywall mais comuns (LUCA, 2013)

Padrões de desempenho das paredes drywall mais comuns

Item	Utilização	Corte da parede e designação	Distância entre montantes (mm)	Altura limite da parede (m)		Quantidade de chapas	Espessura das chapas (mm)	Isolamento acústico R_w (dB)		Resistência ao fogo (minutos)		Peso da parede (kg/m ²)
				Montantes				Isolante		Chapas		
				Simples	Duplo			sem	com	ST ou RU	RF	
1	Paredes internas à unidade Cozinha/sala Cozinha/área de serviço	 73/48/600/MS/1ST12,5+1ST12,5/BR	600	2,50	2,90	2	12,5	36dB	-	CF 30	CF 45	22
			400	2,70	3,25							
2	Paredes internas à unidade Dormitório/sala Dormitório/dormitório Dormitório/banheiro Banheiro/banheiro	 73/48/600/MS/1ST12,5+1ST12,5/BR/1LM50	600	2,50	2,90	2	12,5	-	44dB	CF 30	CF 45	23
			400	2,70	3,25							
3	Paredes internas à unidade Cozinha/sala Cozinha/área de serviço Dormitório/sala Dormitório/dormitório Dormitório/banheiro Banheiro/banheiro	 98/48/600/MS/2ST12,5+2ST12,5/BR/1LM50	600	2,90	3,50	4	12,5	-	50dB	CF 60	CF 90	43
			400	3,20	3,80							
4	Paredes internas à unidade Cozinha/sala Cozinha/área de serviço	 95/70/600/MS/1ST12,5+1ST12,5/BR	600	3,00	3,60	2	12,5	38dB	-	CF 30	CF 45	22
			400	3,30	4,05							
5	Paredes internas à unidade Dormitório/sala Dormitório/dormitório Dormitório/banheiro Banheiro/banheiro	 95/70/600/MS/1ST12,5+1ST12,5/BR/1LM50	600	3,00	3,60	2	12,5	-	45dB	CF 30	CF 45	23
			400	3,30	4,05							
6	Paredes entre unidades habitacionais autônomas	 120/70/600/MS/2ST12,5+2ST12,5/BR/1LM50	600	3,70	4,40	4	12,5	-	51dB	CF 60	CF 90	43
			400	4,10	4,80							
7	Paredes internas à unidade Dormitório/sala Dormitório/dormitório Dormitório/banheiro Banheiro/banheiro	 115/90/600/MS/1ST12,5+1ST12,5/BR/1LM50	600	3,50	4,15	2	12,5	-	45dB	CF 30	CF 45	22
			400	3,85	4,60							
8	Paredes entre unidades habitacionais autônomas e áreas comuns de permanência de pessoas e atividades de lazer e esportivas: home theater, salão de jogos, salão de festas, etc.	 193/70/600/MS/DES/2ST12,5+2ST12,5/BR/1LM50	600	2,90	3,40	4	12,5	-	61dB	CF 60	CF 90	45
			400	3,20	3,70							

Ver nas páginas 14 e 15 observações sobre a tabela

Observações sobre a tabela das páginas 12 e 13

Designação das paredes

A designação das paredes drywall é composta pelos seguintes elementos, tomando-se como exemplo o item 8:

193/70/600/MS/DES/2 ST 12,5 + 2 ST 12,5/BR/LM 50

193:	espessura total da parede (mm)
70:	largura dos montantes (mm)
600:	espaçamento entre os montantes (mm)
MS:	montante simples
DES:	dupla estrutura separada
2 ST 12,5:	número, tipo e espessura de chapa de um lado
2 ST 12,5:	número, tipo e espessura de chapa do outro lado
BR:	borda rebaixada
LM 50:	lã mineral e espessura da manta ou painel

Legendas

ST:	Chapa standard
RU:	Chapa resistente à umidade
RF:	Chapa resistente ao fogo
DES:	Dupla estrutura separada
CF:	Corta fogo
MD:	Montante duplo
Rw:	Índice ponderado de redução de som aéreo medido em laboratório
dB:	Decibel
MS:	Montante simples
BR:	Borda rebaixada
LM:	Lã mineral
LV:	Lã de vidro
LR:	Lã de rocha

Fatores que alteram o desempenho das paredes

Espaços internos maiores entre as chapas proporcionam índices de isolamento maiores. Ver: item 1 = 36 dB e item 4 = 38 dB.

Nas paredes com lã mineral (LM), o desempenho acústico é similar mantendo-se a mesma espessura de lã e de acordo com as densidades dos tipos de lã: lã de vidro (LV) de 12 a 16 kg/m³ ≅ lã de rocha (LR) de 32 kg/m³.

A espessura de lã mais usada nas paredes drywall é de 50 mm, aplicada nos itens 2, 3, 5, 6, 7 e 8. Mantas mais espessas, preenchendo todo o espaço entre chapas (largura da estrutura), melhoram o isolamento acústico. No item 7, se for utilizada manta de lã mineral com 100 mm, o R_w passará para 47 dB.

Quando aplicadas chapas RF com 15 mm de espessura, em vez de chapas de 12,5 mm, os índices de resistência ao fogo são melhorados: CF 45 passa para CF 60 e CF 90 passa para CF 120.

Ensaio de acústica

Todas as paredes apresentadas na tabela foram submetidas a ensaios no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Os números e as datas a seguir referem-se a ensaios de acústica.

Item 1:	842296 (17/02/1997)
Item 2:	865428 (13/07/1999)
Item 3:	838605 (08/08/1996)
Item 4:	960529 (07/08/2007)
Item 5:	960530 (07/08/2007)
Item 6:	960531 (07/08/2007)
Item 7:	895960 (27/11/2002)
Item 8:	862883 (29/03/1999)

ANEXO C – Exemplo de cálculo de correção de preços no website Calculador.

Siga o @calculador_br no Twitter!

Calculad^{or} Google Pesquisa Personalizada

[HOME](#)
[TRABALHISTAS](#)
[FINANCEIROS](#)
[LOTÉRICOS](#)
[VEICULARES](#)
[DATAS](#)
[SAÚDE](#)
[TABELAS](#)
[CONTATO](#)
[TERMOS DE USO](#)

Home > Cálculos Financeiros > Correção de Valor por Índice

Correção de Valor por Índice

"Correção de um valor pelos principais índices de inflação do Brasil."
— Saliba Mais

Valor:

Data Início:

Data Fim:

Índice Financeiro:

Valor Atualizado

R\$ 23,43

Receba atualizações do Cálculo de correção por índice em seu email sempre que houver nova cotação para o índice.

Meu email:

Repetir este cálculo e enviar novos valores diretamente no email.

Você pode cancelar seu alerta a qualquer momento por email.

Nº.	Ref.	Valor Inicial	Cotação Índice	Valor Correção	Valor Final
1	jan/2010	R\$ 17,32	0,64	R\$ 0,11	R\$ 17,43
2	fev/2010	R\$ 17,43	0,36	R\$ 0,06	R\$ 17,49
3	mar/2010	R\$ 17,49	0,75	R\$ 0,13	R\$ 17,62
4	abr/2010	R\$ 17,62	0,84	R\$ 0,15	R\$ 17,77
5	mai/2010	R\$ 17,77	1,81	R\$ 0,32	R\$ 18,09
6	jun/2010	R\$ 18,09	1,09	R\$ 0,20	R\$ 18,29
7	jul/2010	R\$ 18,29	0,44	R\$ 0,08	R\$ 18,37
8	ago/2010	R\$ 18,37	0,14	R\$ 0,03	R\$ 18,40
9	set/2010	R\$ 18,40	0,21	R\$ 0,04	R\$ 18,44
10	out/2010	R\$ 18,44	0,20	R\$ 0,04	R\$ 18,47
11	nov/2010	R\$ 18,47	0,37	R\$ 0,07	R\$ 18,54
12	dez/2010	R\$ 18,54	0,67	R\$ 0,12	R\$ 18,67
13	jan/2011	R\$ 18,67	0,41	R\$ 0,08	R\$ 18,74
14	fev/2011	R\$ 18,74	0,28	R\$ 0,05	R\$ 18,80
15	mar/2011	R\$ 18,80	0,43	R\$ 0,08	R\$ 18,88
16	abr/2011	R\$ 18,88	1,06	R\$ 0,20	R\$ 19,08
17	mai/2011	R\$ 19,08	2,94	R\$ 0,56	R\$ 19,64
18	jun/2011	R\$ 19,64	0,37	R\$ 0,07	R\$ 19,71
19	jul/2011	R\$ 19,71	0,45	R\$ 0,09	R\$ 19,80
20	ago/2011	R\$ 19,80	0,13	R\$ 0,03	R\$ 19,82
21	set/2011	R\$ 19,82	0,14	R\$ 0,03	R\$ 19,85
22	out/2011	R\$ 19,85	0,23	R\$ 0,05	R\$ 19,90
23	nov/2011	R\$ 19,90	0,72	R\$ 0,14	R\$ 20,04
24	dez/2011	R\$ 20,04	0,11	R\$ 0,02	R\$ 20,06
25	jan/2012	R\$ 20,06	0,89	R\$ 0,18	R\$ 20,24
26	fev/2012	R\$ 20,24	0,30	R\$ 0,06	R\$ 20,30
27	mar/2012	R\$ 20,30	0,51	R\$ 0,10	R\$ 20,41
28	abr/2012	R\$ 20,41	0,75	R\$ 0,15	R\$ 20,56
29	mai/2012	R\$ 20,56	1,88	R\$ 0,39	R\$ 20,94
30	jun/2012	R\$ 20,94	0,73	R\$ 0,15	R\$ 21,10
31	jul/2012	R\$ 21,10	0,67	R\$ 0,14	R\$ 21,24
32	ago/2012	R\$ 21,24	0,26	R\$ 0,06	R\$ 21,29
33	set/2012	R\$ 21,29	0,22	R\$ 0,05	R\$ 21,34
34	out/2012	R\$ 21,34	0,21	R\$ 0,04	R\$ 21,39
35	nov/2012	R\$ 21,39	0,33	R\$ 0,07	R\$ 21,46
36	dez/2012	R\$ 21,46	0,16	R\$ 0,03	R\$ 21,49
37	jan/2013	R\$ 21,49	0,65	R\$ 0,14	R\$ 21,63
38	fev/2013	R\$ 21,63	0,60	R\$ 0,13	R\$ 21,76
39	mar/2013	R\$ 21,76	0,50	R\$ 0,11	R\$ 21,87
40	abr/2013	R\$ 21,87	0,74	R\$ 0,16	R\$ 22,03
41	mai/2013	R\$ 22,03	2,25	R\$ 0,50	R\$ 22,53
42	jun/2013	R\$ 22,53	1,15	R\$ 0,26	R\$ 22,79
43	jul/2013	R\$ 22,79	0,48	R\$ 0,11	R\$ 22,90
44	ago/2013	R\$ 22,90	0,31	R\$ 0,07	R\$ 22,97
45	set/2013	R\$ 22,97	0,43	R\$ 0,10	R\$ 23,08
46	out/2013	R\$ 23,08	0,26	R\$ 0,06	R\$ 23,12
47	nov/2013	R\$ 23,12	0,35	R\$ 0,08	R\$ 23,21
48	dez/2013	R\$ 23,21	0,10	R\$ 0,02	R\$ 23,23
49	jan/2014	R\$ 23,23	0,88	R\$ 0,20	R\$ 23,43