

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Geovâni Luís Wolfart

**SISTEMA CONSTRUTIVO EM *LIGHT STEEL FRAME* COM
REVESTIMENTO EXTERNO EM EIFS: ASPECTOS E
GARGALOS DO PROCESSO EXECUTIVO**

Porto Alegre
junho 2016

GEOVÂNI LUÍS WOLFART

**SISTEMA CONSTRUTIVO EM *LIGHT STEEL FRAME* COM
REVESTIMENTO EXTERNO EM EIFS: ASPECTOS E
GARGALOS DO PROCESSO EXECUTIVO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientadora: Angela Borges Masuero

Porto Alegre
junho 2016

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de delineamento da pesquisa.....	19
Figura 2 – Componentes de unidade em <i>Wood Frame</i>	22
Figura 3 – Tipos de perfis de aço formados a frio para uso em sistema construtivo de paredes, piso e cobertura	23
Figura 4 – Componentes do sistema EIFS	28
Figura 5 – Zoneamento bioclimático brasileiro	34
Figura 6 – Fluxograma de execução	41
Figura 7 – Fluxograma de execução com imagens de cada etapa	41
Figura 8 – Fachada casa em LSF	42
Figura 9 – Térreo da casa grande	43
Figura 10 – 2º pavimento casa grande	43
Figura 11 – Sótão casa grande	43
Figura 12 – Térreo casa pequena	44
Figura 13 – 2º pavimento casa pequena	44
Figura 14 – Implantação do condomínio	45
Figura 15 – Concretagem da base do radier	47
Figura 16 – Detalhe dos rebaixos do radier para colocação das tubulações	47
Figura 17 – Vista geral do radier com as instalações hidrossanitárias já posicionadas sob camada de 20 cm de areia	47
Figura 18 – Vista geral do radier acabado, ressaltando a posição das instalações	48
Figura 19 – Vista da superfície do radier impermeabilizado com material cimentício ...	48
Figura 20 – Detalhe da banda acústica aplicada sob a guia metálica	49
Figura 21 – Marcação utilizando giz de linha	51
Figura 22 – Exemplo de identificação das guias e montantes constantes no caderno de montagem de painel	52
Figura 23 – Estocagem das guias e montantes a serem utilizados nos painéis estruturais desmontados	52
Figura 24 – Fixação dos painéis estruturais	54
Figura 25 – Representação esquemática das placas de OSB utilizadas e suas respectivas dimensões em centímetros	55
Figura 26 – Representação esquemática dos detalhes de fixação de placas OSB	56
Figura 27 – Telhamentos executados e em execução	58
Figura 28 – Telha asfáltica utilizada no empreendimento	59
Figura 29 – Fixação da telha utilizada no empreendimento	60

Figura 30 – Fixação telha de início	60
Figura 31 – Fixação da primeira fiada da telha asfática	61
Figura 32 – Fixação da segunda fiada da telha asfática	61
Figura 33 – Fixação da terceira fiada da telha asfática	62
Figura 34 – Corte esquemático mostrando fluxo de ar pela cobertura	64
Figura 35 – Corte esquemático mostrando fluxo de ar pela cobertura	64
Figura 36 – Aplicação de lã mineral em parede de LSF	66
Figura 37 – Detalhes fixação e cortes no XPS	67
Figura 38 – Detalhes de reforços em janelas	70
Figura 39 – Detalhes de reforços em cantos 90°	70
Figura 40 – Detalhe das superfícies críticas com a camada de pintura	71
Figura 42 – Linha de início para fixação das placas de EPS	72
Figura 43 – Fixação das placas de EPS	73
Figura 44 – Placas de EPS com irregularidades lixadas	74
Figura 45 – Tela de reforço (branca) e tela de armadura (amarela)	75
Figura 46 – Modelo das unidades estudadas	78
Figura 47 – Montagem de parede protótipo	82
Figura 48 – Equipamentos utilizados durante os ensaios	83
Figura 49 – Curva Padrão vs Curva Obtida (ensaio em laboratório)	83
Figura 50 – Equipamentos utilizados durante os ensaios	85
Figura 51 – Curva Padrão vs Curva Obtida (ensaio de campo)	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	36
Tabela 2 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno ...	37
Tabela 3 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes.....	39
Tabela 4 – Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes	40
Tabela 5 – Materiais utilizados e suas propriedades térmicas	79
Tabela 6 – Propriedades dos vidros	79
Tabela 7 – Nível de desempenho térmico	80
Tabela 8 - Síntese da avaliação de desempenho térmico	81
Tabela 9 – Nível de redução sonora ponderada R_w (dB)	84
Tabela 10– Quadro resumo com os níveis de atendimento para cada condição ($D_{nT,w}$)	86
Tabela 11 – Gargalos e medidas de ajuste	87

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço

DECIV – Departamento de Engenharia Civil

EE – Escola de Engenharia

EIFS – *Exterior Insulation and Finish System*

EPS – Poliestireno Expandido

IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia

LSF – *Light Steel Frame*

NBR – Norma Brasileira

OSB – *Oriented Strand Board*

PET – Polietileno Tereftalato

PVC - Policloreto de polivinila

SA – Sociedade Anônima

SINAT – Sistema Nacional de Avaliações Técnicas

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

XPS – Poliestireno Extrudado

LISTA DE SÍMBOLOS

$T_{i,\min}$ – valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{e,\min}$ – valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{i,\max}$ – valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{e,\max}$ – valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação ($^{\circ}\text{C}$)

R_w – índice de redução sonora ponderada (dB)

$D_{nT,w}$ – diferença padronizada de nível ponderada (dB)

U - Transmitância térmica ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}$)

C - Capacidade térmica ($\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}$)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	17
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	17
2.2 OBJETIVO PRINCIPAL	17
2.3 OBJETIVO ESPECÍFICO	17
2.4 HIPÓTESE	17
2.5 PRESSUPOSTO	18
2.6 DELIMITAÇÕES	18
2.7 DELINEAMENTO	18
3 SISTEMAS CONSTRUTIVOS LEVES	20
3.1 ESTRUTURAS	20
3.1.1 LIGHT WOOD FRAME	21
3.1.2 LIGHT STEEL FRAME	22
3.2 FECHAMENTOS VERTICAIS INTERNOS E EXTERNOS	24
3.2.1 CONTRAVENTAMENTO EXTERNO EM CHAPAS OSB	24
3.2.2 FECHAMENTO INTERNO EM GESSO ACARTONADO	24
3.3 REVESTIMENTO EXTERNO EM EIFS (<i>Exterior Insulation and Finishing System</i>)	27
3.4 ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO	28
3.4 NORMA DE DESEMPENHO	30
3.5.1 DESEMPENHO TÉRMICO	32
3.5.1.1 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO BRASIL	33
3.5.1.2 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE	34
3.5.2 DESEMPENHO ACÚSTICO	38
4 OBJETO DE ESTUDO	40
4.1 EMPREENDIMENTO	42
4.2 MATERIAIS E TÉCNICAS EXECUTIVAS	46
4.2.1 FUNDAÇÃO	46
4.2.2 IMPERMEABILIZAÇÃO E CAMADA SEPARADORA	48
4.2.3 PAINÉIS ESTRUTURAIS E ANCORAGEM	50
4.2.4 CONTRAVENTAMENTO E REFORÇO COM CHAPAS OSB	54
4.2.5 TELHADO E COBERTURA	57
4.2.6 ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO	65

4.2.6 ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO	67
4.2.8 ESQUADRIAS	76
4.3 APRESENTAÇÃO DOS ENSAIOS E RESULTADOS	77
4.3.1 TESTE DE DESEMPENHO TÉRMICO	78
4.3.2 TESTE DE DESEMPENHO ACÚSTICO EM LABORATÓRIO	81
4.3.3 TESTE DE DESEMPENHO ACÚSTICO <i>IN LOCO</i>	84
4.4 POTENCIALIDADES E GARGALOS	86
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

Até alguns anos atrás unidades habitacionais construídas no Brasil não possuíam grande preocupação com garantias de desempenho aos seus usuários. Diversos fatores influenciam a continuidade desta linha de pensamento dentro do ambiente da construção civil, seja por construtores ou compradores, desde uma cultura extremamente tradicional quanto a métodos executivos quanto às variáveis ambientais.

A cultura tradicional acaba se caracterizando por ter grande reticência à entrada de novos produtos e metodologias construtivas que permitem e, pode-se afirmar, possibilitem um melhor desempenho. Outro fator que deve ser levado em consideração é a dificuldade em encontrar materiais de melhor qualidade com um custo equivalente ao custo dos materiais de obras convencionais, definindo um fator que muitas vezes é tomado como determinante na escolha dos materiais.

A possibilidade de desenvolver unidades habitacionais que possuam desempenho mais avançado na questão dos confortos térmico e acústico são muito grandes, visto que combinações variadas de materiais desde a estrutura, revestimentos internos, isolantes, vedantes, esquadrias e revestimentos externos podem ser geradas. A gama de soluções é extremamente grande, possibilitando, ao final do processo, definições de projeto que dependem exclusivamente do nível de desempenho desejado, nicho de mercado no qual será inserido e o custo final.

A quebra de paradigmas com o intuito de introduzir ou gerar novas tecnologias no uso cotidiano da indústria da construção é o passo necessário para buscar um nível de eficiência e conforto maior nas unidades habitacionais desenvolvidas no nosso meio. Com garantias de qualidade, eficiência, desempenho e durabilidade, os sistemas construtivos mais avançados terão sua implantação e disseminação facilitadas.

Unidades executadas com sistemas construtivos leves, como o *Light Steel Frame*, apresentam a possibilidade de utilizar materiais diferenciados durante sua construção. As soluções podem se encaminhar mais facilmente para soluções de desempenho e de conforto aprimorados, porém, no Brasil, muito pouco desses conjuntos de soluções foi pesquisado para possibilitar a obtenção de dados comprovando acréscimos positivos no uso destes materiais. Diante desse cenário,

buscar-se-á analisar um sistema completo desde o revestimento interno até o revestimento externo de unidades habitacionais executadas em *Light Steel Frame*.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais os principais aspectos e dificuldades decorrentes do processo executivo, de unidades habitacionais em *Light Steel Frame*, em conjunto com seus materiais e técnicas executivas?

2.2 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal do trabalho é a identificação dos cuidados que devem ser tomados durante as etapas construtivas para que o sistema em *Light Steel Frame* cumpra o desempenho especificado.

2.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) identificar soluções a serem adotadas para evitar a ocorrência de falhas no sistema construtivo decorrente do processo de execução
- b) Identificação dos principais gargalos na execução do sistema analisado.

2.4 HIPÓTESE

O trabalho tem por hipótese que, as orientações fornecidas pelos especialistas no sistema *Light Steel Frame* não são suficientes para a correta execução do sistema de forma a garantir o desempenho desejado da edificação.

2.5 PRESSUPOSTO

Tem-se como pressuposto deste trabalho que os resultados obtidos em ensaios são representativos das condições reais de conforto térmico e acústico que serão obtidas pelo usuário da edificação.

2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a analisar um único tipo de sistema construtivo, com um determinado revestimento, interno e externo, que possui isolamento térmico interno e externo à parede na cidade de Canoas – Rio Grande do Sul.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) análise descritiva de todos processo de execução das unidades estudadas;
- c) acompanhamento da confecção e ensaio de protótipo quanto ao desempenho acústico;
- d) acompanhamento da modelagem e ensaio via *software* quanto ao desempenho térmico;
- e) análise dos resultados obtidos e comparação com os níveis estabelecidos em Norma;
- f) considerações finais.

A pesquisa bibliográfica se fará presente em todas as etapas do desenvolvimento do presente trabalho desde o embasamento teórico e técnico sobre o assunto estudado até a consolidação das considerações finais, para que essas possam ter uma parcela de contribuição no contexto geral da construção civil. Posteriormente, será acompanhado o desenvolvimento dos ensaios para as duas variáveis que estão sendo contempladas neste estudo. Em se tratando de desempenho acústico, será desenvolvida a montagem de um protótipo utilizando os mesmos materiais utilizados na edificação estudada, visando a maior proximidade possível do contexto real, para posterior ensaio e obtenção de dados que serão utilizados na análise comparativa com

a NBR 15.575/2013. Também será realizado um ensaio de campo objetivando a determinação ainda mais próxima da realidade do desempenho da unidade habitacional.

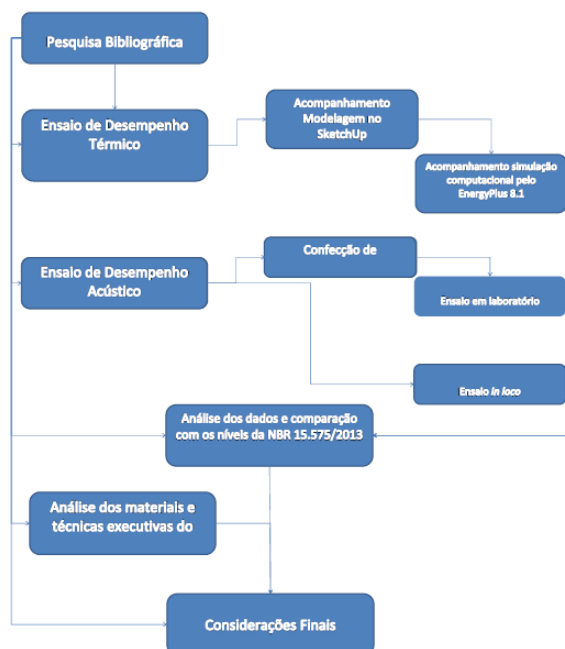
Quanto ao desempenho térmico, foi realizado, por laboratório especializado, a modelagem da edificação e simulação computacional, caracterizando a zona bioclimática na qual a edificação em estudo está situada.

Obtidos todos os parâmetros necessários à caracterização dos desempenhos térmico e acústico da unidade estudada, será realizada uma análise comparativa dos valores obtidos, pelos ensaios realizados, com os valores estabelecidos pela NBR 15.575/2013 a fim de estabelecer os níveis reais de atendimento aos quais a edificação objeto de estudo irá atender.

A partir disso, serão realizadas as considerações finais englobando todos os fatores envolvidos na realização do presente trabalho, podendo, então, responder à questão que rege este projeto de pesquisa.

A figura 1 apresenta o diagrama de delineamento da pesquisa.

Figura 1 – Diagrama de delineamento da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

3 SISTEMAS CONSTRUTIVOS LEVES

As tecnologias construtivas vêm tomando um direcionamento cada vez mais forte rumo à racionalização dos processos e otimização dos produtos utilizados. Com isso, os sistemas construtivos leves, vem ganhando uma importância cada vez maior no âmbito da construção civil no Brasil.

Os sistemas construtivos leves podem ser constituídos por painéis estruturais em madeira ou por painéis estruturais em aço leve conformado à frio. Ambos os sistemas construtivos podem ser construídos fazendo uso de fechamentos em chapas delgadas, sendo o sistema construído por perfis metálicos leves conhecido como “*light steel frame*” e o sistema constituído por componentes de madeira conhecido como “*light wood frame*”. Tendo em vista o enfoque da melhoria no desempenho das unidades, estes sistemas têm se mostrado bastante vantajosos para quem procura desenvolver produtos diferenciados por possibilitar uma série de tomadas de decisão e opções de projeto que visam garantir a melhoria de desempenho.

Quando os profissionais da construção civil se veem diante da tomada de decisão sobre utilizar ou não um sistema construtivo diferente dos sistemas já habitualmente utilizados e conhecidas, ao menos de forma superficial, as características que estes poderão nos propiciar, surgem questionamentos sobre o fato de este sistema atender às exigências estruturais e arquitetônicas. Porém, segundo Vaz (2013), é possível a construção de edificações leves tão resistentes quanto às construídas em concreto fazendo uso de perfis estruturais de aço ou peças de madeira em conjunto com placas estruturais. Permitindo também o uso de qualquer tipo de revestimento externo e interno, tendo seu uso irrestrito a qualquer estilo arquitetônico, sendo indicado tanto para edificações unifamiliares de pequeno porte como em prédios de até cinco pavimentos.

3.1 ESTRUTURAS

Um sistema construtivo leve, conforme nos é apresentado por LP Indústria e Comércio SA ([2012?]a), tem como principal característica o uso de uma estrutura de perfis leves de aço (*Steel Frame*) ou de madeira (*Wood Frame*), possuindo contraventamento com placas estruturais que funcionam em conjunto, dando rigidez, forma e sustentação à edificação. Nos tópicos a seguir serão apresentadas as especificidades e características principais dos sistemas estruturais mencionados.

Abaixo são apresentadas as características básicas dos dois sistemas construtivos leves anteriormente mencionados. Este trabalho, porém, irá se ater, em seu desenvolvimento, apenas aos detalhes executivos do sistema *Light Steel Frame*.

3.1.1 LIGHT WOOD FRAME

O uso de madeiras na construção civil é largamente utilizado desde muito tempo, porém, segundo Sacco e Stamato (2008, p. [1]), “Os sistemas construtivos leves com madeira têm sua origem no desbravamento do oeste norte-americano e sempre estiveram relacionados com uma construção rápida [...]”. Os sistemas construtivos leves com madeira, apesar de utilizarem um insumo de uso bastante comum na construção civil, possuem algumas especificidades que podem gerar diversos ganhos, aumentando a gama de opções que circundam a construção civil.

A origem deste sistema construtivo se deu porque, conforme Jardim e Campos ([2005], p. 2), entre as décadas de 1810 a 1860, todo o território do oeste norte-americano era ocupado, aumentando consideravelmente a demanda por edificações. Utilizando conceitos como praticidade, velocidade e produtividade, fez-se uso, à época, do madeiramento das imensas reservas florestais que existiam, dando origem ao sistema construtivo conhecido como “*Wood Frame*”.

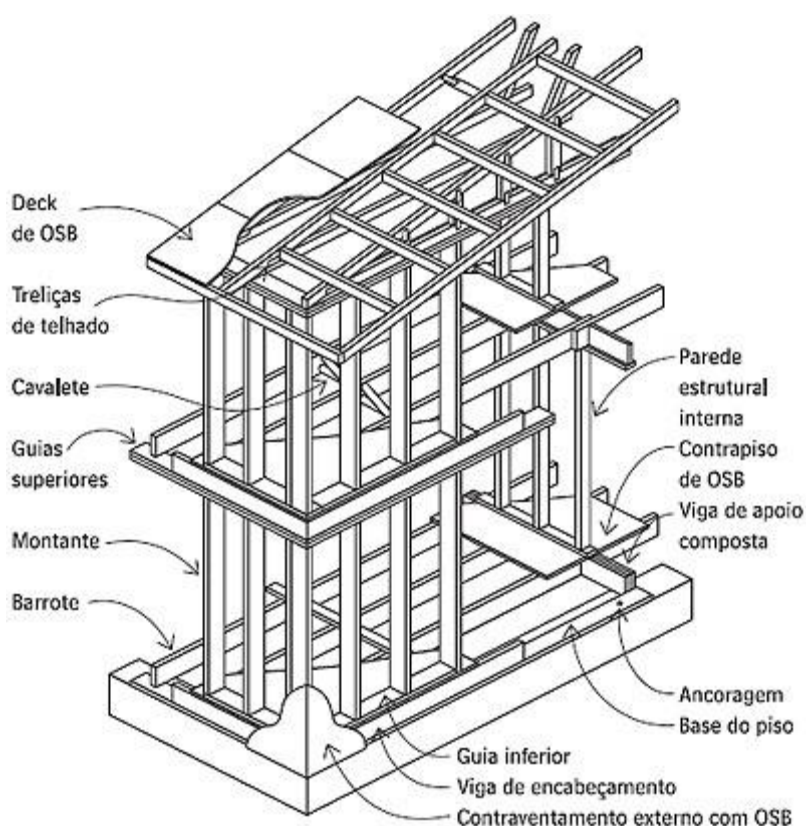
Sacco e Stamato (2008, p. [2]), nos explicam que o sistema possui, basicamente, paredes portantes que darão suporte para as cargas advindas da primeira plataforma ou piso. Há o conceito de que essa plataforma trava os apoios e contraventa horizontalmente as paredes portantes do pavimento imediatamente abaixo. Seguindo essas etapas, é possível acrescentar novamente paredes portantes que serão travadas pela plataforma da laje superior, seguindo até o telhado. Usualmente, sem alterações nessa metodologia, é possível a execução de edificações de até quatro pavimentos.

Os painéis de parede são compostos, de acordo com Brasil (2011, p. 3), por peças de madeira maciça, serrada. Essas peças podem ser classificadas como montantes, travessas, bloqueadores, umbrais, vigas, caibros, ripas e sarrafos. Essas peças podem ser tratadas quimicamente ou podem possuir, naturalmente, alta resistência ao ataque de organismos xilófagos. Já segundo Sacco e Stamato (2008, p. [2]), os painéis são compostos por montantes verticais de madeira de 38 mm x 90mm, separados entre si, comumente, à uma distância de 40 ou 60 cm. Essa distância

é utilizada visando a compatibilidade de modulação com as placas estruturais em OSB e das placas de gesso acartonado. Estes painéis de parede são fechados na parte superior e inferior, formando quadros, por guias de madeiras. Após colocação sobre a fundação ou laje superior, é afixada outra guia sobre a guia superior, sendo que esta sobrepõe a outra e solidariza os encontros dos painéis.

Na figura 2, estão representados os materiais usualmente utilizados na construção do sistema *Wood Frame*, assim como o local de aplicação de cada uma destas peças.

Figura 2 – Componentes de unidade em *Wood Frame*



(fonte: SACCO; STAMATO, 2008, p. [2])

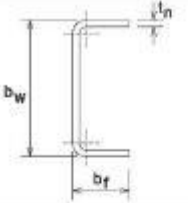
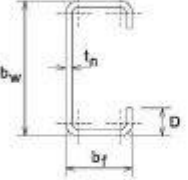
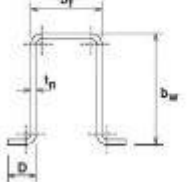
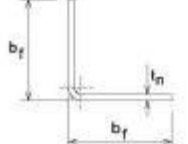
3.1.2 LIGHT STEEL FRAME

O sistema denominado como “*Light Steel Frame*” pode ser definido, segundo Brasil (2012), como os “Sistemas construtivos cuja principal característica é ser estruturado por perfis de aço conformados a frio, com revestimento metálico, e fechamentos em chapas delgadas [...]”.

É composto, segundo Brasil (2012), por quadros formados por perfis leves de aço conformados a frio, que recebem proteção anticorrosiva metálica pelo processo contínuo de imersão a quente, seja com zinco ou com liga de alumínio-zinco.

Os perfis mais utilizados para montagem deste tipo de estrutura são apresentados na figura 3.

Figura 3 – Tipos de perfis de aços formados a frio para uso em sistema construtivo de paredes, piso e cobertura

SEÇÃO TRANSVERSAL	SÉRIE Designação NBR 6355:2003	Utilização
	U simples $U\ b_w \times b_f \times t_n$	Guia Ripa Bloqueador ξ
	U enrijecido $Ue\ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga
	Cartola $Cr\ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais $L\ b_{f1} \times b_{f2} \times t_n$	Cantoneira

(fonte: BRASIL, 2012)

De acordo com Jardim e Campos ([2005], p. 2), com o início da tecnologia da galvanização, a partir da metade do século XX, as siderúrgicas começaram a fornecer aços mais resistentes à corrosão apresentando espessuras menores. Foi possível, assim, a substituição lenta e gradual das estruturas executadas em madeira por estruturas com perfis de aço, intensificada com a passagem do furacão Andrew, em 1992, pela costa leste americana, causando intensa destruição. Devido a este fato, as companhias seguradoras subtaxaram as obras em *Light Steel*

Frame e sobretaxaram as obras em *Wood Frame*, gerando, dessa maneira, grande incentivo ao desenvolvimento e aplicação da tecnologia que utiliza metal.

Caracterizado e amplamente difundido como um sistema de construção leve, precisa efetivamente apresentar um peso próprio relativamente baixo. Apresenta, porém, um peso próprio bastante inferior quando comparado aos sistemas de estrutura convencional, executados em alvenaria. Conforme Gerolla (2006, p. [2]), “[...] o peso de uma parede estruturada em *steel frame* não passará de 50 kg/m², enquanto, normalmente, o peso da mesma parede em alvenaria convencional varia de 120 a 250 kg/m².”. Para resistir estruturalmente, os quadros em aço leve podem ser constituídos por perfis metálicos de pequena espessura, sendo utilizados, em sua grande maioria, perfis com espessura que varia de 0,8 até 1,25mm.

Um painel em LSF é constituído, assim, por pelo menos duas guias, sendo os elementos horizontais que ficam na borda inferior e superior do painel, e montantes, elementos verticais, que ficam espaçados horizontalmente em no máximo 40 ou 60 centímetros, variando de acordo com opção do projetista, respeitando, porém, a modulação para uso de chapas delgadas de fechamento.

3.2 FECHAMENTOS VERTICAIS INTERNOS E EXTERNOS

Unidades construídas com sistemas construtivos leves fazem uso rotineiro de chapas delgadas como fechamentos internos e externos dos quadros que formam a sua estrutura. Dentro desta linha de uso, são bastante comuns a utilização de chapas estruturais OSB, chapas de compensado, chapas de gesso acartonado, *sidings* e réguas e chapas cimentícias. Este trabalho irá ser desenvolvido a partir do estudo de fechamento verticais em chapas estruturais em OSB com e sem função de contraventamento e chapas de gesso acartonado.

Nos próximos tópicos serão apresentadas as características de cada um destes sistemas de fechamento, seja interno ou externo.

3.2.1 CONTRAVENTAMENTO EXTERNO EM CHAPAS OSB

É parte necessária e de extrema importância, o uso de chapas delgadas como elemento de contraventamento deste tipo de estrutura. São comumente utilizadas, para esse fim, placas cimentícias, réguas cimentícias, chapas de OSB (*Oriented Strand Board*) e chapas de gesso

acartonado. Este estudo, porém, irá se ater às características e necessidades para permitir o uso de fechamentos externos em chapas de OSB.

A chapa de OSB, segundo a Brasil (2012, p.6), é uma chapa estrutural constituída por tiras de madeira, unidas com resinas resistentes à água, orientadas em três ou cinco camadas perpendiculares entre si e prensadas sob alta pressão e temperatura. LP Indústria e Comércio SA. ([2012?])b apresenta que:

A sigla OSB vem do inglês e corresponde a *Oriented Strand Board*, que significa Painel de Tiras de Madeira Orientadas. Trata-se de um produto de grande resistência mecânica, versatilidade e qualidade absolutamente uniforme, que por suas características é tratado como um painel estrutural.

Tamaki (2015, p. 2) descreve que as chapas de OSB são formadas por lascas de madeira orientadas e prensadas e, no LSF, são utilizadas entre o revestimento e o perfil estrutural. São utilizados como reforço da parede no perímetro externo da edificação e, internamente, nas paredes que podem vir a receber cargas diferenciadas, como armários de cozinha, bancada de pia e algumas paredes da sala, por exemplo.

Essas chapas possuem largura modular de 1200 mm com alturas que podem variar de acordo com a dimensão dos painéis de laje e cobertura, assim como do pé direito das unidades. As alturas padrão comumente encontradas no mercado possuem 2400mm ou 3000mm

A escolha de alturas de chapa que variam das dimensões padrão pode ser feita visando redução de cortes, diminuindo ao máximo a quantidade de resíduos gerados e o desperdício de materiais, aliado à redução de gastos intrínseca aos motivos anteriormente apresentados. Brasil (2012) recomenda que, para edifícios multifamiliares com até cinco pavimentos, sejam utilizados perfis metálicos para complementar o contraventamento feito com chapas estruturais de OSB.

Conforme mencionado pela LP Indústria e Comércio SA. ([2012?])b, a partir da introdução do painel estrutural OSB no mercado americano, o mesmo teve rápida aceitação, substituindo os demais painéis no segmento da construção civil. Países como Estados Unidos e Canadá são os países que mais utilizam esse material, com destaque para o uso na construção civil, por permitirem seu emprego, devido às suas características físicas e mecânicas, para fins estruturais.

Nestes mesmos países, o OSB passou a competir largamente com as chapas de compensando a partir da década de 90. Hoje, todos os códigos de edificações americanos e canadenses

reconhecem a qualidade que a placa OSB tem para que seu uso seja o mesmo das madeiras compensadas. A comercialização e produção em grande escala, no Brasil, teve seu início apenas a partir de 2002.

3.2.2 FECHAMENTO INTERNO EM GESSO ACARTONADO

A evolução da construção civil no território nacional e no mundo e a busca cada vez maior pela racionalização acaba trazendo novas tipologias de revestimento, tipologias essas que permitem uma redução global nos custos, seja pela redução de custo financeiro propriamente dito, seja com o custo de tempo de execução das atividades. Dentro desta linha de racionalização, o revestimento interno em gesso acartonado vem sendo amplamente difundido na rotina da construção civil.

Segundo Ciocchi (2003, p. [1]),

A placa de gesso acartonado foi inventada no final do século XIX e passou a ser empregada como elemento construtivo por reunir a qualidade da madeira (facilidade de trabalho) e da pedra (isolamento térmico, acústico e resistência ao fogo). É composta de um miolo de gesso e aditivos envoltos por cartão especial e fabricada a partir da gipsita natural.

Sistemas construtivos leves, como o *Light Steel Frame*, abordado neste estudo, utilizam o gesso acartonado rotineiramente como revestimento interno em suas unidades. Isso ocorre devido ao fato de sua estrutura portante ser muito próxima da estrutura metálica requerida por este sistema.

Embora sua utilização ainda possa gerar, culturalmente, certa desconfiança na população brasileira, em especial à população do estado do Rio Grande do Sul, de acordo com Silva (2000, p. 44):

O gesso acartonado é utilizado em regiões com terremotos, como na Califórnia e Japão, regiões com furacões, como Flórida e Caribe, regiões de temperaturas muito altas ou muito baixas, como na Europa e no Canadá, regiões de grande umidade, como México, e secas, como algumas na Austrália. O gesso acartonado chega ao país tropical devidamente testado e aprovado por todos os povos.

Em sua concepção, as placas de gesso acartonado são fixadas a uma estrutura metálica, podendo ser aplicadas em paredes e forros. Tem como aplicação menos usual a fixação colada sobre paredes de alvenaria. Porém, em qualquer um dos modos, é notável a redução de espessura das

paredes e o ganho de área interna nos empreendimentos realizados utilizando placas de gesso acartonado. De acordo com Ciocchi (2003, p. [1]), pode haver um ganho de área útil de até 4% com o sistema seco. Porém, para se ter bom desempenho é necessário que as paredes recebam tratamento acústico e reforços para fixação de cargas.

3.3 REVESTIMENTO EXTERNO EM EIFS (Exterior Insulation and Finishing System)

A rapidez de execução tanto da estrutura quanto dos revestimentos verticais internos, aliada à utilização de materiais leves e com desempenho térmico e acústico que tendem a uma melhoria significativa e gradativa quando comparados aos materiais de uso rotineiro nos canteiros de obra, fazem com que as soluções de engenharia se encaminhem naturalmente para definições de revestimento externo que tenham potencial de ser tão eficientes, ou ainda mais, do que os sistemas utilizados para as outras etapas de construção.

Segundo Santiago (2008, p. 98), “Os materiais usuais de acabamento para fechamento verticais em LSF são os painéis de OSB (acabados com *siding*, argamassa ou EIFS) e as placas cimentícias para a face externa e gesso acartonado e placas cimentícias para a face interna [...]”. O empreendimento objeto deste estudo faz uso da solução de revestimento externo utilizando chapas delgadas em OSB, com função estrutural de contraventamento, e acabamento superficial no sistema EIFS.

Conforme nos é apresentado por Santiago (2008, p. 107), o EIFS, sigla em inglês para *Sistema de Isolamento e Acabamento Externo*, é uma alternativa de acabamento para o sistema LSF que gera uma aparência final bastante semelhante aos sistemas construtivos tradicionais e, ainda, possui baixa incidência de manifestações patológicas. Esse revestimento é bastante utilizado em construções em LSF e, no Brasil, vem ganhando espaço em substituição ao uso de argamassa sobre o OSB. Este revestimento é constituído por um substrato em OSB, isolamento térmico e revestimento com argamassa polimérica. Para aumentar a durabilidade e resistência do material, pode ser utilizada uma tela de fibra de vidro.

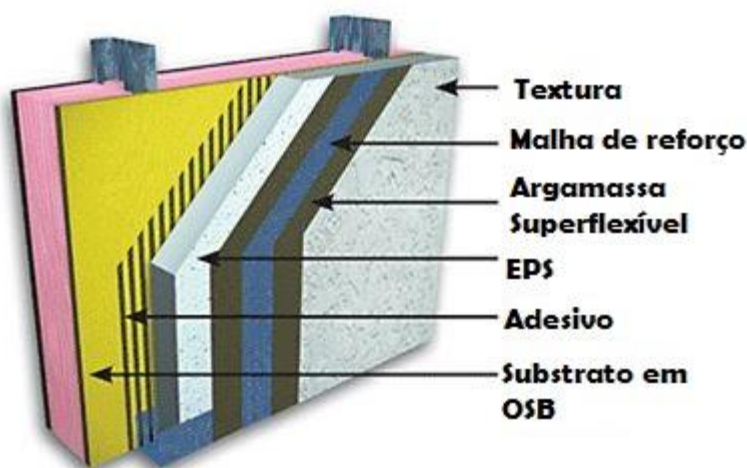
Como já mencionado, a cultura tradicional das construções no estado do Rio Grande do Sul gera um grande preconceito quanto aos sistemas construtivos leves, pois sua constituição pouco robusta pode dar a impressão de fragilidade e pouca resistência. Tendo essa visão por base e

procurando grande desempenho térmico aliado à uma baixa ocorrência de manifestações patológicas, o EIFS tem se mostrado uma opção muito vantajosa para construtores e consumidores. Sua aparência final se assemelha muito ao método amplamente difundido de revestimentos argamassados com acabamento em textura e pintura.

O sistema EIFS é composto, permitindo algumas variações, por um substrato em OSB fixado mecanicamente aos perfis metálicos que compõem a estrutura do LSF; seguido de aplicação de uma membrana impermeável que auxilia na proteção e cria uma barreira líquida para o ar e umidade que pode incidir sobre o substrato; adesivo de base cimentícia modificado com polímero; aplicação de placas de EPS (Poliestireno Expandido) de espessuras variáveis; aplicação de camadas finas do mesmo adesivo de base cimentícia utilizado para fixação do EPS, reforçado com malha de fibra de vidro álcali-resistente, visando estruturar o revestimento que tem, em média, de 4 a 6 mm de espessura e aplicação de revestimento monocamada.

Os materiais constituintes do sistema EIFS são apresentados na figura 4.

Figura 4 – Componentes do sistema EIFS



(fonte: adaptado de POLYMOLDING, [2015?])

3.4 ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO

Uma das principais características necessárias à uma unidade habitacional que propicia reais condições de conforto na sua utilização é o seu nível de desempenho térmico e acústico. De acordo com Freitas e Castro (2006, p. 89), uma edificação possui o desempenho termoacústico

pela capacidade de proporcionar condições de qualidade ambiental adequada ao uso para o qual ela foi projetada.

O isolamento térmico e acústico deve visar não somente questões relacionadas ao desempenho das unidades, mas deve, sim, garantir as condições ideais de conforto dos ambientes de utilização das unidades habitacionais. O isolamento deve buscar atenuar as variações térmicas e acústicas dentro dos limites onde o usuário se sente confortável, pois de nada adianta, por exemplo, construir uma unidade habitacional completamente estanque aos ruídos e a temperatura externa se a mesma não permite uma adequada renovação do ar ou acabe se tornando uma câmara reverberante. Nesse ponto, os conceitos de desempenho e conforto devem estar bastante alinhados

Os sistemas de isolamento nas vedações verticais de unidades executadas com sistemas construtivos leves são de suma importância, devido às características inerentes do sistema, que consiste em construção com pouca massa e espessura. Diferentemente dos conceitos tradicionais de isolamento onde o que é realmente determinante de seu desempenho é a massa da parede, de acordo com Santiago (2008, p. 22), os isolamentos térmicos e acústicos das unidades em LSF são baseados no conceito de isolação multicamada. A isolação multicamada consiste em combinar o preenchimento entre placas leves com material isolante. Com isso, são permitidas composições de placas de gesso acartonado, chapas OSB, placas ou régua cimentícias e *sidings*.

O conceito de lei de massa, segundo Freitas e Crasto (2006, p. 89), não pode ser aplicado às unidades em *light steel frame*, pois o isolamento destas unidades está baseado na utilização de conceitos mais atuais, como a isolação multicamada. Os conceitos mais tradicionais conceituam que materiais de grande massa e densidade serão melhores isolantes, porém, ainda conforme Freitas e Crasto (2006, p. 89), com o uso de vedações leves, deve-se realizar a combinação de placas leves de fechamento afastadas, formando um espaço entre as mesmas que será preenchido com material isolante. Com isso, diversas combinações podem ser utilizadas, através de acréscimos no número de placas ou aumento da espessura diversas soluções que venham a propiciar ganhos na atenuação da variação entre as condições internas e externas às unidades.

A utilização de materiais isolantes pode ser utilizada, à priori, em qualquer sistema construtivo, seja ele em estrutura convencional, LSF, alvenaria portante, entre outros. Traços de concreto, variando os agregados utilizados ou não, que permitam atenuação sonora, pinturas que diminuam a absorvância térmica, mantas acústicas para pisos, contrapisos com agregados leves, uso de blocos cerâmicos que possuam variação na geometria dos furos internos modificando a propagação de ondas sonoras, preenchimento de vãos internos às paredes com materiais à base de lã de vidro, rocha, PET ou EPS, são algumas das diversas possibilidades de utilização de materiais isolantes. Este estudo, porém, focará na utilização de lã mineral de fibra de vidro, tanto em paredes quanto em forros, aplicadas em casas em LSF.

Denotadas as necessidades de conforto e desempenho e possibilidades de melhoria com o uso de materiais isolantes, tanto térmica quanto acusticamente, os mesmos devem ser ensaiados de acordo com as normas vigentes para que se tenha um maior grau de certeza quanto às reais condições de desempenho das edificações estudadas. Com isso, serão apresentados à seguir, os critérios da atual norma de desempenho que permite balizar as decisões de projeto ou de execução para garantir um desempenho adequado.

3.5 NORMA DE DESEMPENHO

A preocupação, tanto por parte de construtores quanto por consumidores, quanto ao desempenho das unidades habitacionais que estão sendo desenvolvidas é visivelmente crescente. Cada vez mais são buscados materiais, tecnologias e técnicas construtivas que, aliadas a um controle mais rígido na execução de projetos e das obras, visam mudar os parâmetros habituais e melhorar os níveis de desempenho das construções brasileiras. Com base nisso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou, em fevereiro de 2013, a NBR 15.575, também conhecida como Norma de Desempenho. Segundo Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (2013, p. [2]), a indústria da construção brasileira está passando por uma revolução conceitual sobre os requisitos mínimos de segurança e também está mudando seus parâmetros de qualidade para casas e edifícios. A entrada em vigor, em 2013, da Norma de Desempenho de Edificações, que contempla exigências mínimas de conforto e segurança, estabelece o marco de que pela primeira vez uma norma brasileira associa a qualidade dos produtos ao resultado que eles conferem ao consumidor.

Entrando em vigor em julho de 2013, a atual versão da Norma de Desempenho é subdividida em 6 partes:

- a) Parte 1 - Requisitos Gerais;
- b) Parte 2 - Requisitos para os sistemas estruturais;
- c) Parte 3 - Requisitos para os sistemas de pisos;
- d) Parte 4 - Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE;
- e) Parte 5 - Requisitos para os sistemas de coberturas;
- f) Parte 6 - Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

A parte 1 da presente norma, que trata dos requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais como um todo integrado, apresenta, em seu item 4.3, os requisitos do usuário relativos à habitabilidade:

- a) estanqueidade;
- b) desempenho térmico;
- c) desempenho acústico;
- d) desempenho lumínico;
- e) saúde, higiene e qualidade do ar;
- f) funcionalidade e acessibilidade;
- g) conforto tátil e antropodinâmico.

O presente trabalho irá se ater à parte 4 desta norma, tendo como enfoque o nível de desempenho térmico e acústico, dos sistemas de vedações verticais internos e externos, alcançado pelo sistema construtivo leve que é o *Light Steel Frame*.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a, p. 13), na NBR 15575-1, “A avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a atender a uma função, independentemente da solução técnica adotada.”. É de extrema importância ressaltar que o desempenho somente pode ser efetivamente avaliado quando considerado um sistema, não somente um material específico. As propriedades de cada um dos materiais, quando formando um sistema, é que permitirão ganhos de desempenho.

A seguir, serão abordados os métodos de avaliação e as características necessárias para verificação das condições referentes ao desempenho térmico e acústico de unidades habitacionais conforme a norma de desempenho.

3.5.1 DESEMPENHO TÉRMICO

Em se tratando de requisitos de desempenho das unidades residenciais, as questões relacionadas ao conforto térmico são de elevada importância para os usuários, pois influem diretamente no bem estar tanto em momentos de lazer e descanso, quanto em momentos de trabalho.

Segundo Lamberts et al. (2011, p. 5):

Define-se Conforto Térmico como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente [...].

A NBR 15575-1:2013 apresenta, em seu anexo E, as recomendações de desempenho térmico que estabelecem valores máximos e mínimos de temperatura que podem ser observados no interior da edificação para que se atenda, pelo menos, aos níveis mínimos (M) de desempenho estabelecidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), permitindo que o conforto térmico seja alcançado dentro do ambiente que circunda os usuários, estabelecendo, assim, os parâmetros que devem ser atingidos pelos sistemas de revestimento utilizados na edificação.

São três os níveis de desempenho adequados que podem ser alcançados para atendimento dos requisitos da Norma de Desempenho. São estabelecidos os níveis Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S). Para fins de cumprimento dos parâmetros de desempenho, a norma estabelece que, ao menos, o nível mínimo seja atendido. Neste ponto pode existir uma certa sobreposição de ideias, onde, do ponto de vista do usuário, que pode desejar que o seu imóvel seja entregue com as características de atendimento superior, e do ponto de vista de construtores que podem visar a diminuição nos seus custos de construção diminuindo, conseqüentemente, a qualidade de seus produtos para atingir somente o nível mínimo da presente norma. As variações de prazos, custos e qualidade de uma obra devem ser balizadas, também, pela satisfação e conforto do usuário.

As variáveis ambientais, que são intrínsecas à área onde um empreendimento será executado, que influem no conforto térmico são, segundo Lamberts (2011, p. 6), a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a velocidade do ar e a umidade relativa do ar. Com isso, faz-se necessário um conhecimento mais aguçado do local onde a edificação vai ficar situada. Visando suprir essas e outras necessidades, foi realizado o zoneamento bioclimático do Brasil, apresentado no tópico a seguir.

3.5.1.1 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO BRASIL

O Brasil, devido à sua grande extensão territorial, possui uma diversidade muito grande de condições climáticas que acontecem simultaneamente dentro do seu território. As condições de desempenho térmico serão afetadas de maneiras diferentes quando comparadas cidades localizadas em zonas próximas à linha do Equador e cidades localizadas no extremo sul de seu território, por exemplo. O mesmo acontece quando feitas comparações ou avaliações sobre dias típicos de inverno ou verão, visto que existem diversas faixas de temperatura e comportamento do clima no território brasileiro.

Considerando essa diversidade de condições, viu-se a necessidade de determinar zonas de aplicação para condições climáticas. Com isso, a ABNT criou a NBR 15220-3:2005 que trata, em sua parte 3, do zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

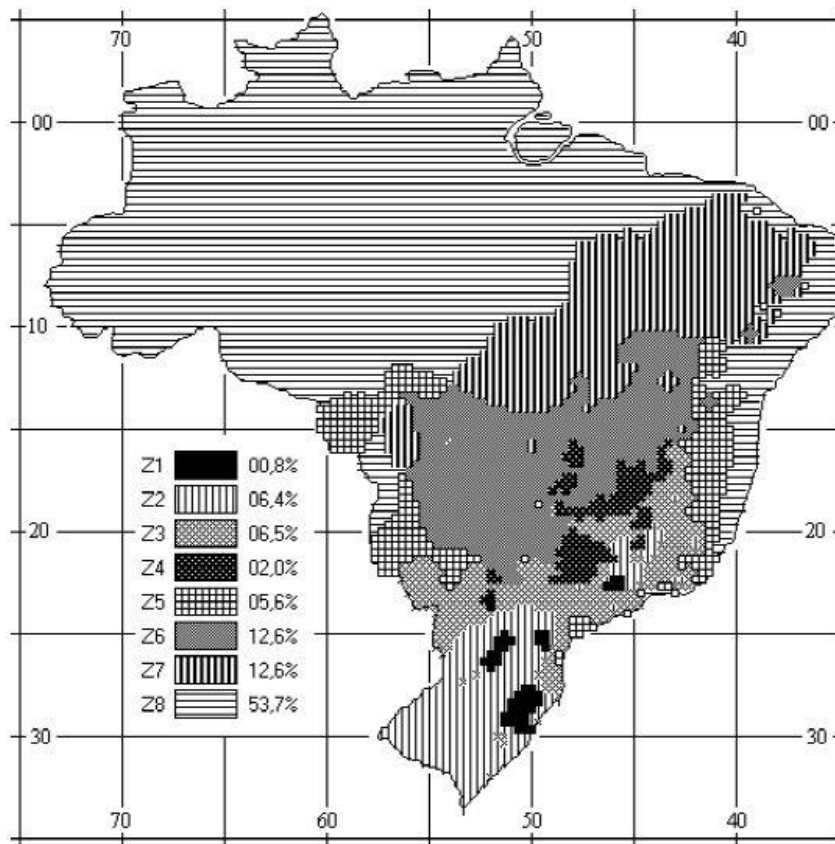
De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005, p. 3), foram criadas:

Oito divisões climáticas do território brasileiro, chamadas zonas bioclimáticas. Dessa forma, cada zona bioclimática é caracterizada através de suas particularidades, sendo recomendadas diretrizes construtivas para que possa ser alcançado apropriado desempenho térmico nas edificações de cada região.

Os critérios adotados para determinação dos níveis de desempenho térmico dessas unidades levarão em consideração as condições estabelecidas para a zona bioclimática onde o objeto de estudo está inserido, realizando, porém, considerações referentes às outras zonas bioclimáticas brasileiras para possibilitar a extrapolação e utilização dos resultados em diferentes locais do Brasil.

Na figura 5, são apresentadas as 8 divisões climáticas estabelecidas para o território brasileiro.

Figura 5 – Zoneamento bioclimático brasileiro



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 2)

3.5.1.2 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE

A norma de desempenho apresenta 3 diferentes métodos para avaliação das condições de desempenho térmico das edificações, que são:

- a) Procedimento 1A – Simplificado;
- b) Procedimento 1B – Simulação computacional;
- c) Procedimento 2 – Medição *in loco*.

Todos os procedimentos de análise são considerados assertivos perante as necessidades estabelecidas pela norma, tendo cada um, porém, as suas especificidades. O procedimento 1A verifica as características dos materiais que constituem a fachada e cobertura da obra, com base nas características de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT). Pode ser considerado bastante simplificado, frente à complexidade e importância do assunto. Com isso, o método 1B, que será utilizado para avaliar as edificações objeto deste estudo, se mostra mais detalhista e preciso. A sua metodologia será detalhada a seguir.

O método de medições *in loco* possui algumas especificidades, que acabam se tornando agentes complicadores, como a necessidade de medição de temperatura no dia típico de verão ou de inverno, que serão explicados abaixo, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. Isso gera uma demanda muito específica e um espaço temporal muito grande para execução e conclusão dos ensaios. É importante ressaltar que as medições *in loco* necessitam da execução de um protótipo ou da edificação já executada.

O método utilizado para avaliação do desempenho térmico das unidades objeto deste estudo será por simulação computacional, empregando o *software* EnergyPlus (versão 8.1) que é indicado na NBR 15575-1:2013 em seu item 11.2.

A modelagem da edificação será realizada, por laboratório habilitado, pelo *plug-in* OpenStudio para o *Google SketchUp* 8, considerando “[...] a habitação como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica. Na composição de materiais para a simulação, deve-se utilizar dados de propriedades térmicas dos materiais e/ou componentes construtivos” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 22). Os dados relativos às propriedades térmicas dos materiais serão obtidos com bases em catálogos técnicos dos fornecedores dos materiais utilizados nas edificações em estudo.

A análise dos trabalhos existentes para avaliação do desempenho térmico, de acordo com Barbosa (1997, p. 3), apresentou dois problemas principais. O fato de as considerações de sensação térmica dos usuários estarem quase sempre baseadas em normas internacionais constitui o primeiro dos problemas. Isso acontece por não possuirmos confirmação de que seus parâmetros se aplicam aos usuários adaptados a climas tropicais e subtropicais. O segundo problema consiste no uso de dados climáticos que utilizam considerações em forma de dias típicos, considerando, assim, condições extremas do clima deixando de lado as sequências climáticas mais representativas. A possibilidade de ocorrência destes dias é bastante baixa e deve-se atentar ao fato de que no sul do país o clima é regido por frentes frias que geram altas variações de temperatura até mesmo de um dia para o outro.

A abordagem existente na norma nos apresenta as avaliações das condições de conforto para dias típicos, abordando os valores máximos de temperatura para um dia típico de verão. Já para a avaliação de conforto térmico em condições de baixas temperaturas, é indicada a comparação com um dia típico de inverno, considerando, assim, um valor mínimo de temperatura.

Para um dia típico de verão, a edificação deve “Apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 22). Em ambientes de permanência prolongada, salas e dormitórios, por exemplo, o valor máximo diário de temperatura não pode ser maior do que o máximo diário da temperatura do ar exterior, ou seja, os ambientes devem sempre possuir temperatura interna menor ou igual ao pior caso do dia no lado externo. A tabela 1 apresenta as condições para classificação, de acordo com as zonas bioclimática, em seus níveis mínimo, intermediário e superior, sendo o nível M (denominado mínimo) o nível estabelecido para aceitação.

Tabela 1 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$
$T_{i,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius $T_{e,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius		

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 62)

Para as condições de inverno, é necessário “Apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores que do ambiente externo, no dia típico de projeto de inverno [...] nas zonas bioclimáticas 1 a 5. Nas zonas 6, 7 e 8 não é necessário realizar avaliação de desempenho térmico [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 23).

A Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013a, p.23) nos apresenta que “Os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, no dia típico de projeto de inverno, devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C.”.

A tabela 2 apresenta, para as considerações dos dias de inverno, as condições para classificar, de acordo com as zonas bioclimática, em seus níveis mínimo, intermediário e superior, sendo o nível M (denominado mínimo) o nível estabelecido para aceitação da edificação.

Tabela 2 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 a 8
M	$T_{i,min.} \geq (T_{e,min.} + 3^{\circ}C)$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,min.} \geq (T_{e,min.} + 5^{\circ}C)$	
S	$T_{i,min.} \geq (T_{e,min.} + 7^{\circ}C)$	
$T_{i,min.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius $T_{e,min.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius		

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 63)

Para que a edificação apresente a condição mais crítica termicamente, os ambientes serão adotados considerando a orientação solar mais desfavorável. Também serão levadas em consideração as taxas de renovação de ar conforme estabelecido pela Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013b, p. 26), ressaltando que:

No caso da ventilação, pode ser considerada uma condição “padrão”, com taxa de 1ren/h, ou seja, uma renovação de ar por hora do ambiente (renovação por frestas), e uma condição “ventilada”, com taxa de 5 ren/h, ou seja, cinco renovações de ar por hora do ambiente, sala ou dormitório. No caso do sombreamento, das aberturas, pode ser considerada uma condição padrão, na qual não há qualquer proteção da abertura contra a entrada da radiação solar, e uma condição “sombreada”, na qual há proteção da abertura que corte pelo menos 50% da radiação solar incidente no ambiente, sala ou dormitório.

Caso a condição de 1 renovação por hora não atenda aos requisitos normativos, a NBR 15575-1 indica que as unidades deverão ser avaliadas considerando as seguintes alterações:

- Ventilação: considerar uma condição ventilada, onde a taxa de renovação deverá ser de 5ren/h;
- Sombreamento: considerar uma condição sombreada onde haja a proteção de 50% da abertura da janela da incidência da radiação solar, mantendo a taxa de renovação de ar padrão de 1ren/h;
- Ventilação e sombreamento: considerando uma taxa de renovação de ar de 5ren/h e proteção de 50% da abertura da janela da incidência da radiação solar.

Feitas essas avaliações, sequencialmente, pode-se estabelecer o nível de atendimento das unidades.

3.5.2 DESEMPENHO ACÚSTICO

O conforto acústico deve ser buscado cada vez mais em todas as residências, pois a ausência deste conforto pode condicionar de forma muito direta a saúde e produtividade das pessoas que ocupam esses lugares. De acordo com Luca (2012, p. 5):

O efeito incômodo e nocivo que o ruído exerce sobre o ser humano já é amplamente estudado e conhecido. Além da perda de audição, que pode ser provocada pela exposição contínua a níveis sonoros altos, outros efeitos são percebidos no organismo como: aumento da pressão arterial, aceleração da pulsação, dilatação das pupilas, aumento da produção de adrenalina, reação muscular e contração dos vasos sanguíneos, entre outros.

Com isso, é possível ter ciência de que as questões relacionadas ao conforto acústico não estão relacionadas somente ao bem-estar das pessoas, estão, na verdade, diretamente ligadas a questões relacionadas à saúde. As principais causas de desconforto acústico dentro de uma unidade, de acordo com Luca (2012, p. 5), são os ruídos externos, propagados pelas fachadas, e os ruídos internos, passantes de um ambiente para o outro. A solução para estes problemas consiste na minimização da propagação de ruídos fazendo uso de sistemas e materiais destinados à isolamento acústica.

A norma brasileira de desempenho estabelece, assim como no método de avaliação do desempenho térmico, 3 diferentes métodos de avaliação para o desempenho acústicos de unidades habitacionais. Os métodos de avaliação propostos são:

- a) Método de precisão, realizado em laboratório;
- b) Método de engenharia, realizado em campo;
- c) Método simplificado de campo.

A determinação dos níveis de isolamento acústico será realizada fazendo uso de dados obtidos através do método de precisão realizado em laboratório, sendo esse o método indicado no item 12.2.1.1 na NBR 15.575-4: 2013, e pelo método de engenharia realizado em campo, indicado no item 12.2.1.2 da mesma norma. O presente estudo não utilizará dados do método simplificado de campo para avaliar as características de desempenho das unidades estudadas. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013b, p. 29) afirma que o método de precisão determina a isolamento sonoro de componentes e elementos construtivos, fornecendo valores de

referência, enquanto o método de engenharia determina de forma rigorosa, em campo, o isolamento sonoro global entre unidades autônomas. Com isso, o método de engenharia permite caracterizar de forma direta o comportamento acústico do sistema.

Os valores de referência do índice de redução sonora ponderado, R_w , obtidos em laboratório e apresentados na tabela 3, e os valores da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, obtidos em campo e apresentados na tabela 4, serão utilizados para efetuar a análise comparativa com os dados fornecidos pela empresa responsável pelo projeto e execução das edificações objetos deste estudo. Para realização da verificação pelo método de precisão, será executada a montagem de um protótipo a ser ensaiado em laboratório. Esse protótipo fará uso dos mesmos materiais, equipamentos e mão de obra utilizados na execução das unidades habitacionais, visando a maior proximidade das condições reais. Já para o método de engenharia, será utilizada uma unidade de referência no empreendimento estudado para ser utilizada para o ensaio *in loco*.

Tabela 3 – Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes

Elemento	R_w dB ^a	Nível de Desempenho
Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥ 45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns, de permanência de pessoas, atividade de lazer e atividade esportivas, como <i>home theater</i> , salas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i>	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. 59)

Tabela 4 – Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes

Elemento	$D_{nT,w}$ dB
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja dormitório	≥ 40
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥ 45
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 30
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
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i> ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades)	≥ 40

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. 31)

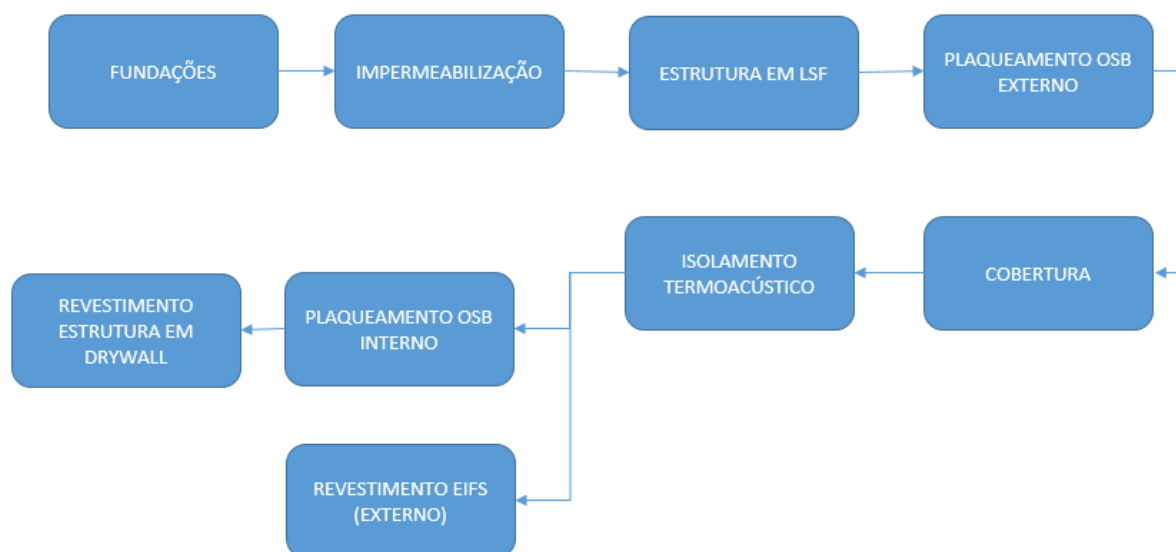
4 OBJETO DE ESTUDO

Tornando possível a utilização dos conceitos e critérios de avaliação de desempenho térmico e acústico, acima explicitados, em construções que fazem uso do sistema *Light Steel Frame*, foram adotadas, como referência e objeto de estudo, as unidades habitacionais de um empreendimento predominantemente horizontal de uso residencial na cidade de Canoas, no estado Rio Grande do Sul.

Todas as etapas construtivas do *Light Steel Frame* possuem características, especificidades e cuidados que, se bem executados, poderão trazer benefícios e acréscimos significativos de conforto. Cada uma das etapas do revestimento interno e externo possuem características importantes e devem ser analisadas, bem orientadas e garantidoras de boa qualidade na obtenção do produto final.

A seguir, serão apresentadas as características do empreendimento, assim como de cada uma das etapas construtivas, conforme fluxograma apresentado abaixo, figura 6, juntamente com os materiais utilizados em cada uma delas, figura 7, fazendo a análise dos detalhes construtivos que gerarão variações no desempenho das unidades.

Figura 6 – Fluxograma de execução



(fonte: elaborado pelo autor).

Figura 7 – Fluxograma de execução com imagens de cada etapa



(fonte: elaborado pelo autor).

4.1 EMPREENDIMENTO

O empreendimento, onde estão localizadas as unidades objeto de estudo, é composto por 178 casas construídas em *Light Steel Frame*, figura 8, e dois prédios de 10 pavimentos, com 80 apartamentos cada, construídos em alvenaria estrutural. Esse estudo irá se ater somente a avaliação do método executivo, detalhes e características de desempenho das casas, não estendendo a análise aos apartamentos, afim de avaliar especificamente o desempenho de um único sistema frente às exigências da norma de desempenho.

Figura 8 – Fachada casa em LSF



(fonte: foto do autor)

O projeto foi desenvolvido com base em duas plantas típicas para as casas. Uma delas, denominada casa grande, constituída por uma unidade habitacional com três pavimentos, possuindo como ambientes internos três dormitórios, sendo um deles uma suíte, um banheiro social, sala de estar/jantar, lavabo, cozinha com área de serviço integrada e sótão, conforme figuras 9, 10 e 11. A outra planta, apresentada na figura 12 e 13, mostra a casa pequena, que é composta por dois pavimentos, possuindo uma divisão entre duas suítes, sala de estar/jantar com cozinha e área de serviço integradas e um lavabo.

Figura 9 – Térreo da casa grande



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Figura 10 – 2º pavimento casa grande



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Figura 11 – Sótão casa grande



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Figura 12 – Térreo casa pequena



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Figura 13 – 2º pavimento casa pequena



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

As casas são dispostas no terreno em linhas compostas por 4, 6 ou 8 casas, conforme 14. Existe uma clara divisão entre as unidades de dois e três dormitórios, que pode ser vista quando, seguindo pela rua central do empreendimento, conforme figura 14, à direita estão localizadas todas as 70 casas de 2 dormitórios instaladas em 5 vagões de 6 casas e em outros 5 vagões de 8 casas. Seguindo pela linha central, à esquerda e ao fundo, ficam localizadas as 108 casas de 3 dormitórios. Assim sendo, ficam divididas em 2 maiores fases todas as 178 casas.

Figura 14 - Implantação do condomínio



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

A disposição em linha de casas geminadas gera duas tipologias de casas. As casas das extremidades da linha, denominadas no empreendimento como casas de ponta, e as casas da parte central da linha, denominadas como casas de meio. As áreas internas das unidades de ponta ou de meio não variam, tanto nas casas grandes quanto nas casas pequenas. Existem, porém, algumas diferenças entre elas. Enquanto na casa de meio não existe a possibilidade de nenhum tipo de abertura lateral - janelas, portas ou até mesmo ventilações – apenas nas fachadas de frente e fundos, a casa de ponta possui uma porta lateral para acesso direto a área de serviço sem necessitar a passagem pela circulação principal e sala de estar/jantar e, também, possui uma janela que fica localizada em frente ao tampo da cozinha, permitindo uma melhor ventilação da cozinha com área de serviço integrada. A casa de dois dormitórios possui ainda, em suas casas de ponta, uma janela extra no banheiro da suíte da frente, localizada no segundo pavimento da unidade.

4.2 MATERIAIS E TÉCNICAS EXECUTIVAS

Todas as unidades em *Light Steel Frame* deste empreendimento foram concebidas, desde a sua idealização, passando pelos projetos e definição de materiais até a execução com o intuito de gerar uma unidade habitacional com características de desempenho diferenciadas, do ponto de vista térmico e acústico. As etapas executivas com todas as suas características, materiais utilizados, dificuldades encontradas e os cuidados tomados serão descritos a seguir em cada um dos tópicos que falarão desde a execução das fundações até a execução do revestimento e externo.

4.2.1 FUNDAÇÃO

A utilização de fundações rasas do tipo “radier” se fez possível neste empreendimento com vista para o fato de que existe uma significativa redução de peso das unidades executadas em *Light Steel Frame*, de até 250kg/m² na estrutura convencional para aproximadamente 50 kg/m² no LSF. A execução de fundações do tipo radier é considerada bastante simples, considerado o fato de que o terreno necessita de boa capacidade de suporte, sendo comumente executado fazendo uso de armadura simples em telas soldadas de aço, positiva e negativa, afastadas por espaçadores, conforme projeto específico para cada obra.

Neste empreendimento, porém, foi desenvolvido um radier diferenciado com o intuito de facilitar a execução e possíveis manutenções futuras de todas as tubulações hidrossanitárias e de gás. Para isso, foram criados “rebaixos” de 30cm no radier, conforme figura 15 e 16, para comportar essas tubulações que serão instaladas sob uma base de areia e posteriormente recobertas de areia preenchendo 20 cm do rebaixo, figura 17. Após concluídas as instalações embutidas no radier, os 10 cm restantes foram preenchidos com concreto armado para que a aparência na superfície fosse a mais próxima possível da do restante do radier, de acordo com a figura 18, sendo que a menor diferença é interessante para que seja denotada a existência do rebaixo e que o mesmo comporta instalações nessa mesma faixa. A estrutura do radier e o enchimento do rebaixo ficam regularizados e prontos para a aplicação de revestimento em sua superfície.

Figura 15 - Concretagem da base do radier



(fonte: foto do autor)

Figura 16 – Detalhe dos rebaixos do radier para colocação das tubulações



(fonte: foto do autor)

Figura 17 – Vista geral do radier com as instalações hidrossanitárias já posicionadas sob camada de 20 cm de areia



(fonte: foto do autor)

Figura 18 – Vista geral do radier acabado, ressaltando a posição das instalações



(fonte: foto do autor)

4.2.2 IMPERMEABILIZAÇÃO E CAMADA SEPARADORA

Após 28 dias da concretagem do radier, foi realizada a impermeabilização das linhas onde seriam instalados os painéis estruturais e no perímetro do radier. A impermeabilização foi executada com revestimento impermeabilizante flexível bi componente à base de resinas termoplásticas, cimento, aditivos minerais e fibras sintéticas, conforme apresentado na figura 19. O intuito da impermeabilização nestes pontos foi a de evitar que ocorressem problemas com umidade ascensional em todas as paredes tanto internas quanto externas, danificando os painéis estruturais em aço e os revestimentos internos e externos que serão instalados posteriormente.

Figura 19 – Vista da superfície do radier impermeabilizado com material cimentício



(fonte: foto do autor)

Com o intuito de criar uma camada separadora entre o radier e os painéis estruturais, foi utilizada uma camada de banda acústica de 4mm de espessura e 90mm de largura, aderida à toda largura e extensão da guia inferior do painel estrutural, ilustrado na figura 20. A banda acústica é fornecida em rolos de 10 metros de comprimento e possui adesivo em um dos lados facilitando a aplicação e fixação à face inferior da guia do painel.

Figura 20 – Detalhe da banda acústica aplicada sob a guia metálica



(fonte: fotos do autor)

A aplicação da banda acústica se mostrou ainda mais importante, ocupando um papel de proteção da camada impermeabilizante. Durante a execução da estrutura do pavimento térreo, após a realização da impermeabilização, é executada a marcação e pré-fixação dos painéis metálicos da estrutura, causando muitas vezes a perfuração da camada impermeabilizante, sob estes. Além disso, também existe um trânsito intenso da equipe de estrutura, geralmente grupos de 5 a 8 pessoas, sobre o radier e a impermeabilização. Com isso, mesmo que a impermeabilização seja de excelente qualidade e corretamente executada, sem nenhum ponto frágil, essas atividades fazem com que possa ocorrer o dano e a consequente falha da impermeabilização. Como a aplicação da banda acústica é executada momentos antes da fixação do painel estrutural e não recebe quase nenhuma interferência externa depois de instalada, esta acaba servindo como uma proteção adicional da impermeabilização. Não é a função da banda, mas acaba por exercer este papel fundamental de proteção. Todas as paredes possuem camada de isolamento com banda acústica.

4.2.3 PAINÉIS ESTRUTURAIS E ANCORAGEM

Realizada a impermeabilização do radier, pode ser iniciado o processo de marcação das paredes. A mesma é imprescindível para garantir o correto alinhamento das paredes, sua correta locação no radier e já estabelecer o esquadro entre todas as paredes. Visando maior assertividade da marcação, a empresa contratou o serviço de acompanhamento topográfico para demarcação dos eixos de todas as paredes. Com isso, a equipe de topografia fazia a determinação de pontos onde ficariam os eixos de cada uma das paredes, garantindo que não houvesse nenhum erro pela equipe de mão de obra de montagem da estrutura durante a execução de suas atividades. A partir dessa demarcação, era executada uma conferência com trena dos afastamentos pré-estabelecidos e conferidas as dimensões gerais das unidades, antes da marcação pela equipe de estrutura, pela equipe técnica da empresa. Estando todas as dimensões em conformidade com o projeto, a marcação era liberada. Os painéis estruturais possuem guia inferior com largura de 90mm, com isso eram acrescidos 45mm para cada um dos lados dos pontos demarcados pela topografia e, com uso de giz de linha eram marcados os alinhamentos de todas as paredes, conforme ilustrado pela figura 21. Com a marcação destas linhas de referência é possível a conferência prévia de todos os esquadros e dimensões das unidades, tanto internas quanto externas. Como os painéis estruturais em *Light Steel Frame* possuem apenas variações dimensionais muito pequenas, da ordem de poucos milímetros, e uma grande restrição quanto a ajustes para aumentar ou diminuir dimensões de painéis, a marcação, conferência de esquadros e de dimensões dos ambientes, antes mesmo da instalação dos painéis, é imprescindível até mesmo em casas de pequenas dimensões. Neste empreendimento se mostrou ainda mais necessário devido ao fato de as casas serem geminadas, construídas em linhas que chegam a 45 metros de comprimento com panos planos de fachada, sem nenhuma reentrância apenas com aberturas para esquadrias, necessitando de um alinhamento de fachada ainda mais criterioso.

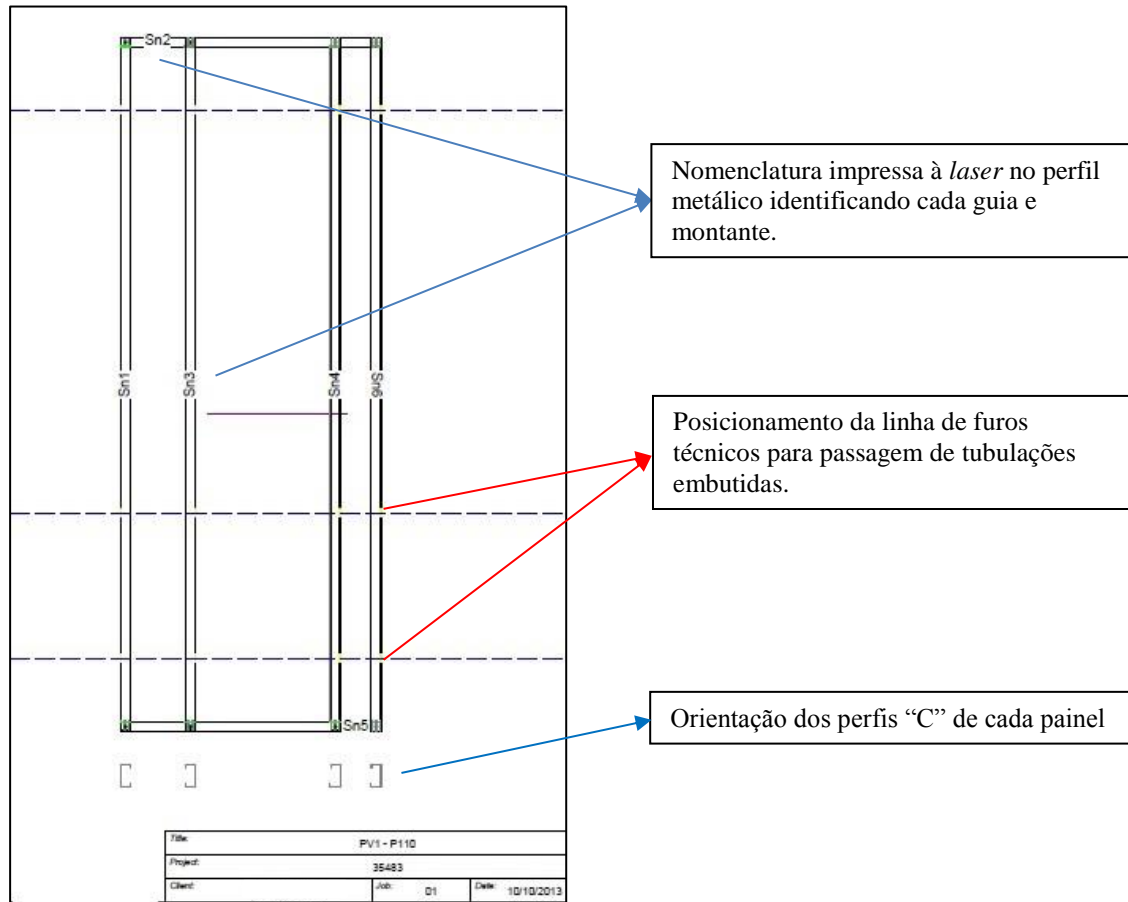
Figura 21 - Marcação utilizando giz de linha



(fonte: foto do autor)

Todos os painéis da obra foram produzidos usando guias e montantes pré-conformados e entregues já com dimensões, furações e demarcações prontos de fábrica. Com isso a montagem fica muito mais rápida e fácil do que quando esse corte e ajuste são feitos em obra a partir de perfis retos de comprimento padrão. Cada guia e montante entregues em obra já vinham prontos para montagem, separados em feixes menores, mostrado na figura 23, que continham um conjunto que formaria um painel completo, ou seja, possuía as guias inferior e superior e todos os montantes necessários para a montagem de um painel. As guias e montantes já são furadas previamente com um diâmetro um pouco menor do que o parafuso que irá fazer a ligação dos mesmos, impedindo que os montantes sejam colocados fora de posição ou desalinhados verticalmente, o que geraria graves problemas de prumo e excentricidades no descarregamento das cargas dos pavimentos superiores. A figura 22 exemplifica o grau de detalhamento e as informações fornecidas ao montador através de um caderno de montagem. Cada um dos painéis da estrutura possui uma especificação de montagem, desde a posição e orientação da abertura dos montantes até os locais de parafusagem.

Figura 22– Exemplo de identificação das guias e montantes constantes no caderno de montagem de painel



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Figura 23 - Estocagem das guias e montantes a serem utilizados nos painéis estruturais desmontados

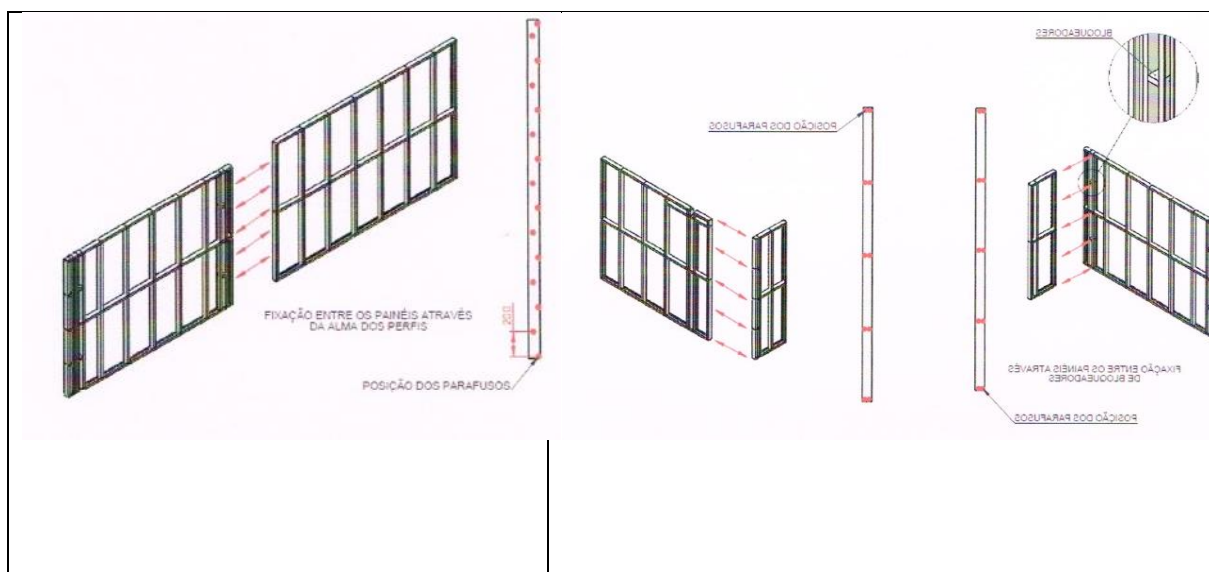


(fonte: foto do autor)

Durante a montagem dos painéis, formados por perfis estruturais de aço leve, é importante a conferência dimensional de cada um dos elementos afim de garantir que não tenham ocorrido erros na impressão, que demarca cada um dos elementos, ou até mesmo falhas no tamanho das peças durante a produção. Como mencionado anteriormente, foram construídas linhas de até 45 metros de comprimento, onde a variação de poucos milímetros em cada painel pode gerar desvios da ordem de 4 a 5 cm no vagão inteiro.

A instalação dos painéis, formados por guias e montantes, se dá de maneira bastante simples, visto que a posição dos mesmos já está previamente demarcada pelas linhas de giz, com os esquadros e dimensões já conferidos. A instalação consiste, então, na colocação de cada um dos painéis na posição correta de projeto, garantindo que as aberturas para portas e janelas estejam nas posições corretas e que o painel não esteja invertido, e na garantia de que os painéis sejam colocados no alinhamento já estabelecido dentro dos limites das demarcações. A fixação dos painéis ao radier é comumente feita fazendo uso de pinos provisório até que a locação dos painéis consiga formar quadros fechados que garantam uma maior estabilidade e seja possível a reconferência dos esquadros e dimensões da casa. Antes de realizar a fixação definitiva do painel no radier, as ligações dos painéis são aparafusadas seja por ligação alma-alma ou alma-bloqueador. A ligação alma-alma é realizada sempre que os painéis são instalados lado a lado, formando um ângulo de 180° entre si, e as duas faces planas dos montantes de borda do painel são colocadas uma contra a outra. A recomendação de ligação é que sejam afixadas, em duas linhas verticais, por parafusos autobrocantes afastado de 20 em 20 centímetros, descontraídos horizontalmente da linha que fica ao lado, como mostrado na figura 24. A fixação alma-bloqueador ocorre quando os painéis necessitam ser instalados perpendicularmente entre si, formando um ângulo de 90° . Para isso, o painel que receberá o outro painel perpendicularmente à ele possui elementos horizontais afastados verticalmente em, no máximo, 60 centímetros para que seja possível a fixação dos painéis conforme mostrado na figura 24.

Figura 24 - Fixação dos painéis através de ligação alma-alma



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

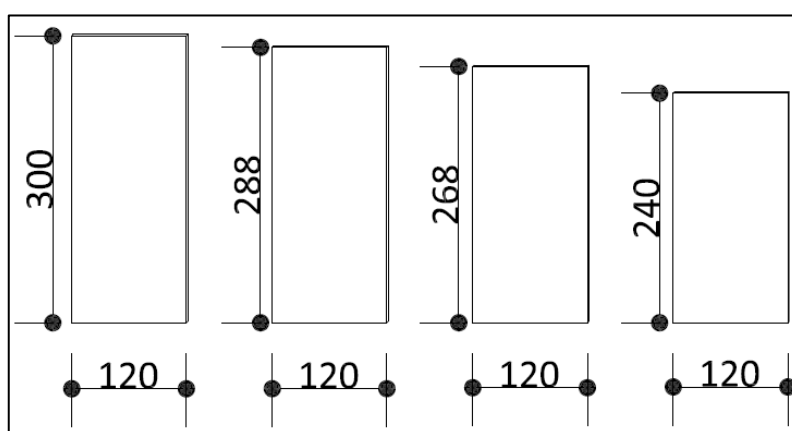
Durante a instalação de cada um dos painéis e, mesmo após instalados e completamente parafusados, é recomendável a utilização de travamentos provisórios que podem ser realizados fazendo uso de perfis C iguais aos utilizados para a montagem dos painéis. Esse travamento provisório garante que os painéis não flambem devido a sua esbelteza elevada e também para garantir que não haja movimentações dos painéis após apurados e parafusados fazendo com que alguns problemas passem despercebidos. O uso do travamento provisório aumenta a rigidez da estrutura quando ainda não contraventada definitivamente com as chapas OSB.

4.2.4 CONTRAVENTAMENTO E REFORÇO COM CHAPAS OSB

No empreendimento foram utilizadas chapas de OSB para realizar o contraventamento da estrutura das casas, fazendo com que houvesse aumento de rigidez da edificação e maior capacidade de absorver as cargas horizontais provenientes de ação dos ventos. Para realizar esse contraventamento, foram utilizadas chapas OSB com espessura nominal de 11.1mm, largura padrão para modulação de 1,20 metros e alturas que variavam de acordo com o local de utilização das mesmas, fosse em paredes externas, paredes internas, laje ou cobertura. A medida padrão encontrada junto ao fornecedor é a de 1,20 x 2,40 m, porém, visto a grande demanda que a obra geraria e também visando uma diminuição considerável nas perdas de material, o fornecedor aceitou desenvolver placas com alturas diferentes do padrão para conseguir melhor

atender a demanda da obra. Com isso, foram desenvolvidas duas novas dimensões de placas com alturas que atendessem exatamente a altura dos pés direitos da estrutura das casas. As dimensões criadas são de 2,68m e 2,88m, atendendo os pés direitos das casas pequenas e das casas grandes, respectivamente, sem ter que cortar pedaços excedentes que gerariam resíduos nem criar juntas horizontais que necessitariam de reforços metálicos. A figura 25 ilustra os módulos das placas utilizadas para fechamento e contraventamento.

Figura 25 – Representação esquemática das placas de OSB utilizadas e suas respectivas dimensões em centímetros

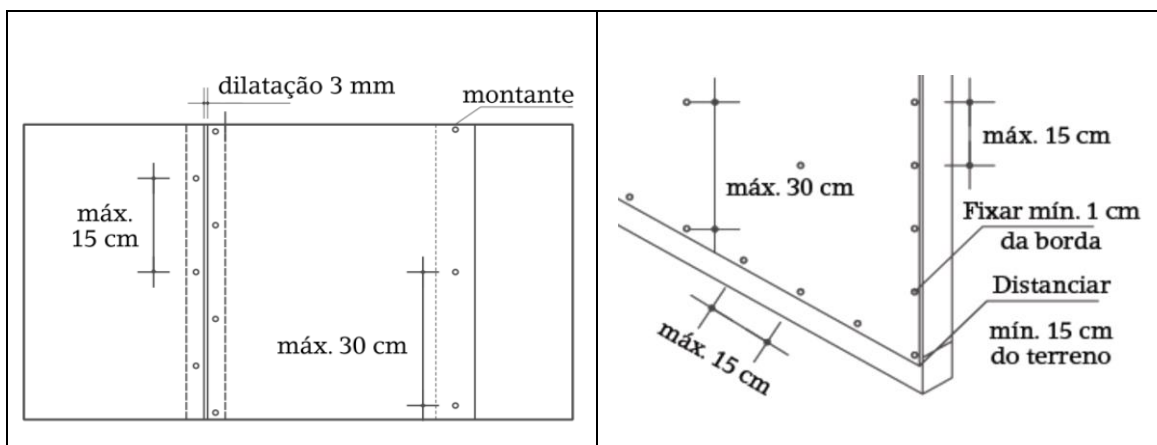


(fonte: elaborado pelo autor)

As chapas de OSB são instaladas, obrigatoriamente, em todo o perímetro da edificação para que cumpram seu papel como contraventamento, porém, também são aplicadas internamente. Em sua aplicação interna, porém, o intuito é, além de contraventar a estrutura, o de reforçar as paredes, que serão executadas em gesso acartonado, que podem receber a fixação de móveis ou quaisquer elementos suspensos. A parede de gesso acartonado tem uma capacidade de carga bastante inferior quando instalada sem reforço, podendo gerar dificuldades aos usuários durante a fixação de seus móveis ou outros elementos. Com isso, todas as paredes do perímetro da unidade, que possuem interface com a face externa ou com a unidade vizinha, e as paredes hidráulicas dos banheiros foram reforçadas com placas OSB, pois possuem uma probabilidade muito maior de receberem fixações.

A fixação das chapas de OSB é aparafusada diretamente na estrutura de aço leve da edificação, seja interna ou externamente. Porém, para que haja um correto acabamento e para que a chapa estrutural consiga atingir sua capacidade de carga e sua correta função no contraventamento da

edificação, a fixação deve seguir algumas regras básicas. As quatro bordas da placa devem necessariamente estar apoiadas, o parafusamento da borda da placa deve receber parafusos à cada 15 cm, cada linha de montantes que ficam localizados no centro das placas deve receber parafusos à cada 30 cm e todos e qualquer corte realizado na placa deve receber pintura com tinta esmalte para selar a borda da placa impedindo que ocorra a entrada de umidade danificando a placa. As placas possuem largura de 1,20 metros, compatível para que sejam realizadas paginações com afastamentos de montantes que sejam múltiplos de 40 ou 60 cm. Deve-se ter atenção ao tamanho efetivo das placas, pois a modulação dos montantes respeita exatamente os 40 ou 60 cm, fazendo com que as placas de OSB, que precisam obrigatoriamente ter junta de dilatação entre si, necessitem que sua largura seja modular, ou seja, que os 3 mm necessários como junta, conforme figura 26, já sejam considerados. Com isso, uma placa com dimensão modular de 1,20m possui, na realidade, 1,197m. Esse ajuste deve ser atentado já na primeira placa, pois, como nesse alinhamento a primeira placa recebe dilatação direta apenas de um lado, pode ocorrer de ser gerado um desvio de 2 ou 3 mm já nessa junta que, cumulativamente, farão com que a área de apoio das placas adjacentes seja afetada, chegando a perder totalmente o apoio. A fixação entre placas que ficam lado a lado deve respeitar o parafusamento desencontrado horizontalmente.



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

O uso de placas OSB deve ter alguns cuidados que se mostram muito importantes durante e após a instalação das placas. Durante seu transporte e manuseio, deve-se ter cuidado especial para que as bordas da placa não sejam danificadas pois pode ocorrer de passar despercebido e esta borda não ser selada, permitindo a entrada de água. Por relatos de funcionários da obra,

placas com problema de selagem de borda, quando expostas ao tempo, chegaram a aumentar sua espessura de 11.1mm, dimensão original, chegando à pouco mais de 25mm, mais do que duplicando sua espessura. Como o processo de fabricação da chapa consiste em fibras longas de madeira justapostas prensadas com o acréscimo de resinas, quando ocorre transporte de água para seu interior fazendo com que suas fibras se afastem ou aumentem de tamanho devido a umidade, a capacidade de resistir às cargas fica comprometida. Outro ponto importante é relativo ao parafusamento das placas, pois a prática mostrou que as mesmas devem ser parafusadas sempre de um lado para o outro da placa, ou seja, deve-se parafusar uma borda e seguir parafusando a placa até a outra borda sem acrescentar parafusos nas duas laterais de imediato ou incluir parafusos nas bordas e centro da placa. Isso ocorre, pois, as placas travadas nas duas laterais, não permitem que a mesma, quando estiver sendo parafusada por completo, fique totalmente encostada à estrutura metálica, gerando ondulações na parte central da placa que irão refletir até a última etapa do revestimento externo ou interno, prejudicando muito o acabamento das unidades. Isso se dá porque quando travadas as duas extremidades da placa, ela não tenha para onde dissipar qualquer variação de planicidade adquirida anteriormente.

4.2.5 TELHADO E COBERTURA

A estrutura da cobertura pouco difere da estrutura executada nas paredes da edificação, excetuando o fato da mesma ser inclinada. Os montantes estruturais, suas dimensões e características são exatamente as mesmas do material utilizado nas paredes, assim como as chapas de OSB que foram utilizadas na cobertura, possuem as mesmas características das chapas utilizadas nas paredes. A única variação das placas utilizadas na cobertura é de que possuem comprimento padrão, pois não se faz necessário o ajuste ao pé direito das unidades. Os montantes da cobertura também possuem modulação de 60 cm, conforme as paredes, permitindo a transferência das cargas da cobertura até a fundação. A modulação da cobertura, ao contrário da modulação das paredes, fez-se uso de placas instaladas com sua maior dimensão na direção horizontal, aumentando perceptivelmente o travamento da estrutura e o aumento da rigidez da mesma. A utilização das placas na horizontal com a utilização de juntas verticais desencontradas, criando juntas sempre na parte central da placa logo abaixo, gera uma rigidez muito maior da estrutura. A parafusagem das placas de cobertura segue as mesmas recomendações das placas de paredes.

Após instaladas as chapas de OSB, pode ser iniciada a instalação dos elementos de vedação do telhado. Inicialmente, logo acima das chapas de OSB, foi instalada uma camada de subcobertura, que consiste em um feltro asfáltico, que antecede a instalação das telhas, conforme pode ser visualizado na figura 27. Esse feltro asfáltico é comercializado em rolos de 0,9x44m e, após aberto sobre o pano do telhado, é grampeado em toda a sua extensão e em espaçamentos máximos de 40cm. Caso sua fixação fosse mais afastada, não influenciaria no desempenho, visto o processo de aplicação que será explicitado a seguir, porém, faz-se necessário devido à sua fragilidade, permitindo com que permaneça intacto após aplicado.

Figura 27 – Telhamentos executados e em execução



(fonte: foto do autor)

A aplicação do feltro antecede a aplicação de telhas, que são telhas confeccionadas a partir de material asfáltico recobertas com granilhas. Esse tipo de telhas é bastante simples de ser instalado. Tendo um substrato bem contínuo e alinhado, o que é possível com as chapas de OSB, basta apoiar as telhas e pregá-las à base. O modelo de telha utilizado no empreendimento foi a telha asfáltica, figura 28, na cor cinza grafite. Essa telha possui altura de 336 mm e largura de 1000mm, porém é colocada uma sobre a outra, galgando, a cada fiada, apenas 143 mm.

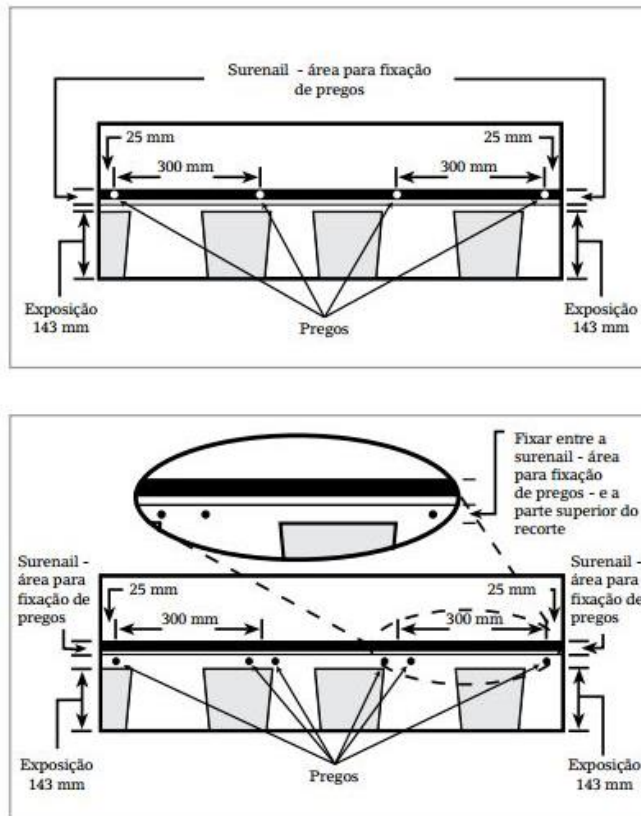
Figura 28 - Telha asfáltica utilizada no empreendimento



(fonte: foto do autor)

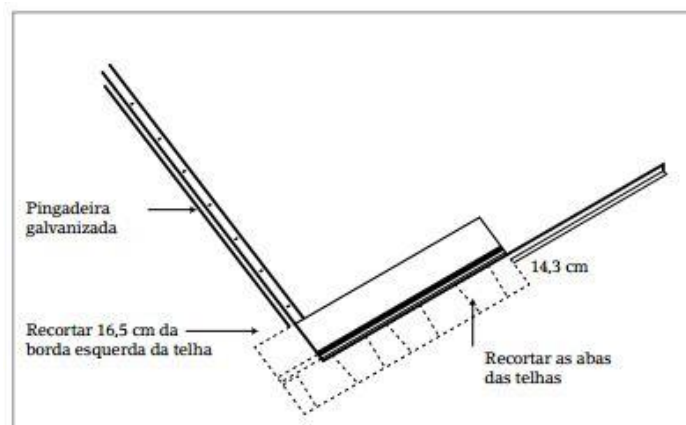
O procedimento de instalação das telhas, que vem em formato padrão, deve seguir algumas recomendações do fabricante para garantir bom acabamento estético e aumentar a garantia de vedação das mesmas por não possuir juntas preferenciais na vertical. Inicialmente deve ser instalada uma fiada inteira, da denominada “telha de início”, na parte mais baixa do telhado. Essa telha possui a função de nivelar a primeira fiada de telhas e aumentar a estanqueidade dessa mesma fiada, pois criará um reforço na face inferior das telhas que criarão juntas sobre ela, como explicado na figura 30 abaixo. Para isso, deverão ser recortadas as abas localizadas na parte inferior de todas as telhas restando apenas a parte lisa superior e, também, recortados 16,5cm da borda esquerda da primeira telha, com isso a primeira fiada de telha poderá ser instalada toda sem recorte e sem possuir juntas. Cada uma das telhas deverá receber 4 pregos para sua fixação, aplicados nas áreas delimitadas, conforme mostra a figura 29. A telha de início deverá ser instalada para que fique com uma folga de 2 cm para fora da linha da chapa de OSB, criando uma espécie de pingadeira, permitindo que a água que percolará pela telha consiga descolar antes de atingir a estrutura do telhado e/ou a chapa de OSB.

Figura 29 – Fixação da telha utilizada no empreendimento



(fonte: LP INDUSTRIA E COMERCIO S.A, [2012?])a)

Figura 30 – Fixação telha de início

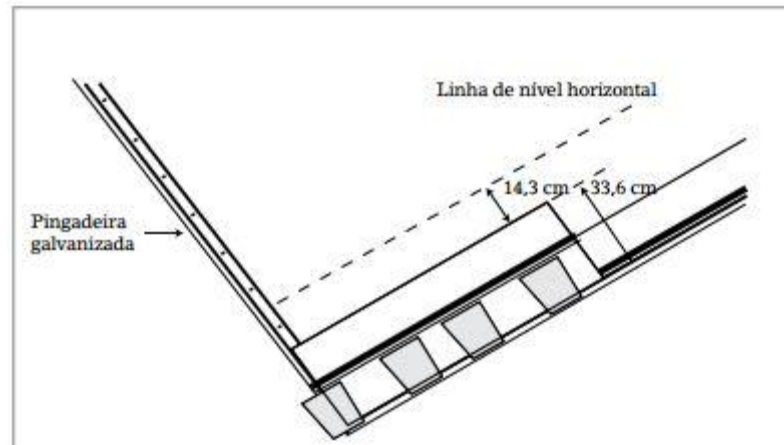


(fonte: LP INDUSTRIA E COMERCIO S.A, [2012?])a)

Executada a fixação da telha de início, parte-se para a fixação da primeira fiada que poderá ser instalada fazendo uso apenas de telhas inteiras respeitando o uso de 4 pregos por telha. A

primeira fiada irá cobrir toda a telha de início, conforme figura 29, mantendo os 2 cm de pingadeira que foram deixados anteriormente.

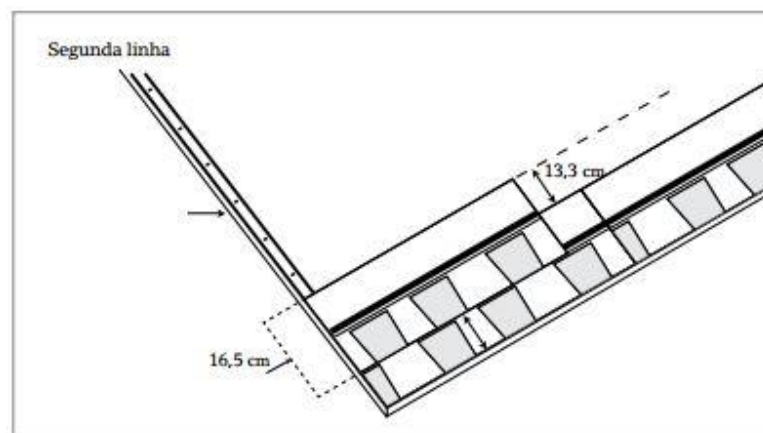
Figura 31 – Fixação da primeira fiada da telha asfática



(fonte: LP INDUSTRIA E COMERCIO S.A., [2012?]a)

Logo após aplicada a 1ª fiada, pode-se realizar a marcação da linha de nível horizontal da 2ª fiada que, conforme mencionado acima quando mencionada a altura de exposição da telha, deverá estar afastada em 143mm da telha inferior. Na 2ª fiada de telhas, de acordo com a figura 32, deverá ser instalada a primeira telha com um recorte de 165mm para possibilitar o desencontro vertical com a junta da telha da 1ª fiada. Após isso, todas as outras telhas dessa fiada poderão ser instaladas com sua dimensão original de 1,00m.

Figura 32 – Fixação da segunda fiada da telha asfática

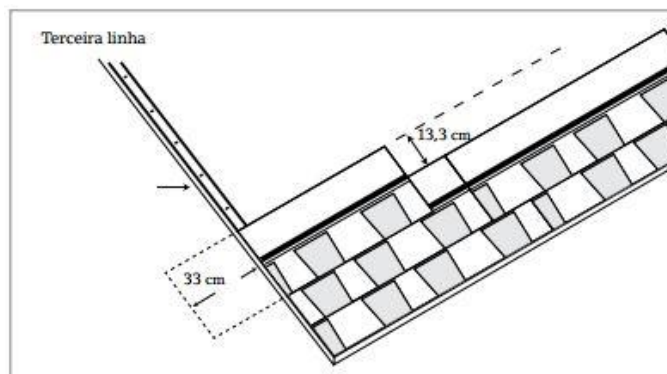


(fonte: LP INDUSTRIA E COMERCIO S.A., [2012?]a)

A primeira telha da 3ª fiada, afim de, novamente, verticais das fiadas anteriores, deverá receber um corte na lateral esquerda de 330mm, conforme figura 33, desencontrar todas as juntas dobro do corte da fiada anterior. Instalada essa telha, todas as telhas subsequentes da mesma fiada poderão ser instaladas sem recortes.

Os recortes múltiplos de 165mm em cada uma das fiadas denota a aplicação da primeira telha de cada uma das fiadas formando uma espécie de “escadinha”, até que seja instalada a telha da 7ª fiada.

Figura 33 – Fixação da terceira fiada da telha asfática



(fonte: LP INDUSTRIA E COMERCIO S.A, [2012?])a)

A partir da 8ª fiada o processo de instalação das telhas inicia como se fosse instalada, novamente, a 1ª fiada, partindo de uma telha inteira e avançando com os recortes múltiplos de 165mm para cada uma das outras fiadas, repetindo o processo até atingir a linha da cumeeira.

O alinhamento das telhas deverá ser reconferido com relativa frequência, fazendo com que não haja uma perda significativa com o alinhamento da última fiada. Durante o processo executivo, mesmo que quando a marcação das linhas de nível das fiadas seja executada, a instalação das telhas pode sofrer pequenos desvios relativos ou até mesmo a marcação das linhas de nível pode ter desvios, fazendo com que, cumulativamente, as alturas que ainda necessitem ser executadas sejam diferentes entre as duas pontas do telhado. O processo de remoção das telhas é bastante complicado, pois, uma vez que aquecidas pela radiação solar, as telhas se solidarizam através de uma linha de adesivo asfáltico que fica localizado na borda inferior de cada uma das telhas. Essa linha de adesivo asfáltico tem como função, justamente, solidarizar as telhas criando um pano único de vedação do telhado. Essa vedação faz com que não ocorra o desprendimento de

telhas individualmente, não ocorra de nenhuma delas erguer com a ação do vento e nem permitir que haja a entrada de água por baixo delas.

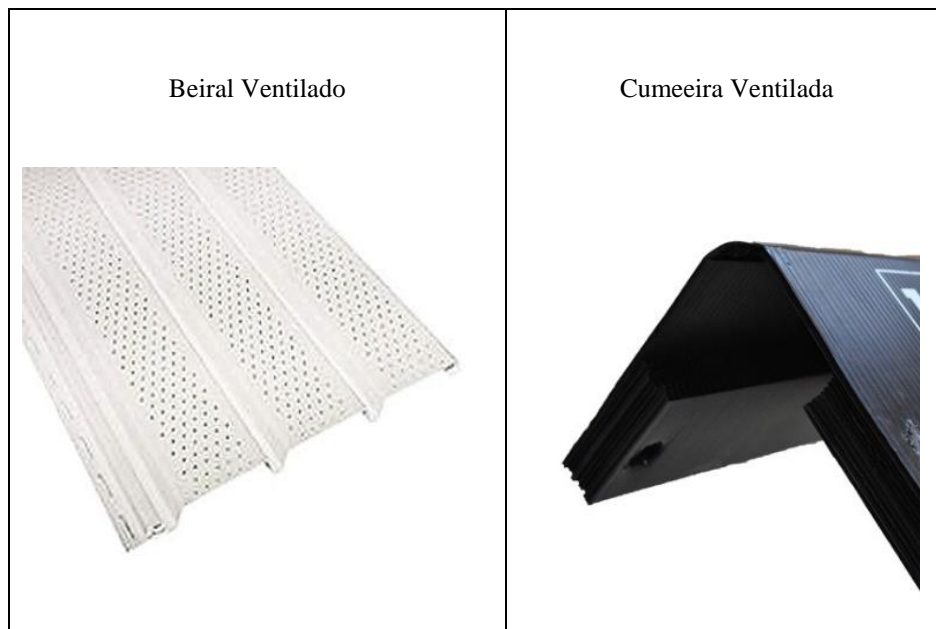
A execução necessita de poucos cuidados, sendo bastante rápida e sem maiores dificuldades à não ser o fato de serem conferidos os alinhamentos e o procedimento da “escadinha” nas primeiras telhas de cada fiada. O maior entrave, porém, é a execução deste tipo de cobertura em dias de calor. Como a telha é feita à base de material asfáltico, não é rígida como as telhas comuns. Porém, por ser feita de material asfáltico, possui grande absorção da radiação solar aumentando consideravelmente sua deformação com pequenas cargas. Como durante a instalação do telhado inicia-se pela fiada mais baixa subindo até a cumeeira, o trabalhador fica o tempo inteiro em contato com a mesma. Como ela vai amolecendo com a incidência do sol, quando uma pessoa vai aplicando seu peso sobre a mesma, ela tende a se deformar excessivamente, podendo vir a rasgar ou perder as granilhas superficiais que lhe dão acabamento estético e proteção mecânica. Como o adesivo asfáltico vai se aderindo à telha logo abaixo naturalmente, com o calor esse processo se acelera e, logo após algumas horas instalada, as telhas já estão bem aderidas, fazendo com que sua remoção e substituição, caso danificada, já se torne um trabalho bastante complicado e oneroso, podendo vir a ser necessária a substituição de boa parte do pano de telhas.

O principal ponto de ganho de desempenho da cobertura é o fato de permitir a utilização de um sistema de renovação de ar abaixo da cobertura. Neste empreendimento foi utilizado o sistema de beirais e cumeeiras ventiladas, que consiste, basicamente, em um caminho preferencial de ar que parte dos beirais, onde ocorre a entrada de ar frio, e vai até a cumeeira, onde é permitida a saída do ar quente por convecção. Esse sistema permite que o ar, que fica acima do forro das unidades e logo abaixo do telhado, fique em constante renovação, permitindo ganhos com desempenho térmico, sem nenhum custo de operação ou até mesmo de manutenção. Uma vez instalados os elementos, o sistema de ventilação, por si só, efetua a renovação do ar.

Os elementos, figura 34, que permitem esse diferencial são produzidos em PVC, altamente durável, e possuem uma enorme facilidade de instalação. A cumeeira ventilada é pregada ao substrato em OSB do telhado, sendo ajustável a qualquer inclinação do mesmo, com o uso de pregos lisos galvanizados muito similares aos pregos do telhado, tendo, porém, apenas a diferença de possuírem o dobro do comprimento, 50mm ao invés dos 25mm do prego das telhas.

A própria cumeeira já vem com marcação de fábrica indicando onde devem aplicados os pregos, evitando erros como falta de pregos ou aplicação de pregos em demasia.

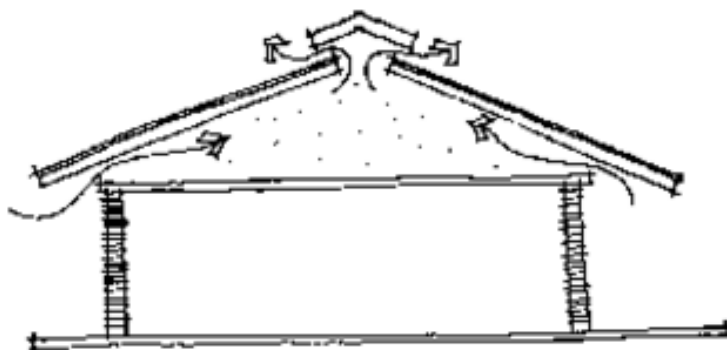
Figura 34 – Corte esquemático mostrando fluxo de ar pela cobertura



(fonte: adaptado de. LP INDUSTRIA E COMERCIO S.A, [2012?])a)

Abaixo é mostrado um corte esquemático, figura 35, que indica os locais por onde é permitida a entrada de ar frio, pelos beirais, e o caminho que o mesmo faz até sua saída pela cumeeira. O telhado por inteiro possui esses elementos, fazendo com que o fluxo de ar seja igual em todos os ambientes abaixo do telhado.

Figura 35 – Corte esquemático mostrando fluxo de ar pela cobertura



(fonte:..PEPE, 2012)

4.2.6 ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO

O uso do *Light Steel Frame* como sistema construtivo aumenta a possibilidade de soluções, com maior facilidade, para a questão do isolamento térmico e/ou acústico. O uso de materiais isolantes permite ganhos significativos de desempenho da unidade, para isso são comumente utilizados lã de vidro, lã de rocha, lã de PET ou EPS. O ganho de desempenho pode ser alterado de acordo com o uso em toda a unidade em si ou de apenas um ou outro cômodo da mesma com a simples alteração na espessura do material isolante. Quanto mais densa a aplicação do material isolante, maior o desempenho, basicamente.

O empreendimento em questão fez uso de lã de vidro em todas as paredes e forros da edificação. Todas as paredes receberam lã de vidro com 50mm de espessura aplicadas em toda sua extensão, sendo imprescindível a atenção quanto a aplicação em todos os menores nichos. A falta de atenção a estes pequenos locais pode gerar uma ponte térmica que permite, com maior facilidade, a passagem de som e calor.

Com o intuito de criar ambientes isolados em toda a extensão, o isolamento não se restringiu às paredes, sendo aplicado também em todos os forros da unidade. Com isso, os ambientes foram completamente isolados criando uma espécie de “caixa” onde todo o ambiente foi envelopado com material isolante. Nos forros foi utilizada lã de vidro com maior espessura, 89mm.

A aplicação da lã de vidro, ilustrada na figura 36, não necessita de nenhum procedimento minucioso, nem em manuseio nem em aplicação. Este material foi adquirido em embalagens que traziam faixas de lã de vidro de 0,60m de largura por 2,20m de altura. A largura desse material também é modular, respeitando a modulação dos montantes estruturais que também possui essa dimensão. A lã de vidro aplicada na parede deve ser colocada entre os vãos da estrutura. O material que vir a se tornar excedente, na altura, pode ser recortado com um estilete ou uma faca afiada.

Figura 36 – Aplicação de lã mineral em parede de LSF



(fonte: foto do autor)

Nos forros, a aplicação é muito parecida com a das paredes devido à modulação da estrutura do forro de gesso acartonado também ter sido utilizada com 0,6m de afastamento, permitindo a colocação da lã no sentido longitudinal da estrutura do forro durante a instalação das placas de gesso. Esse procedimento garante que a lã já permaneça apoiada na placa de gesso e seja possível o ajuste de todos os menores espaços que podem ficar sem material isolante.

4.2.7 REVESTIMENTO EXTERNO EIFS

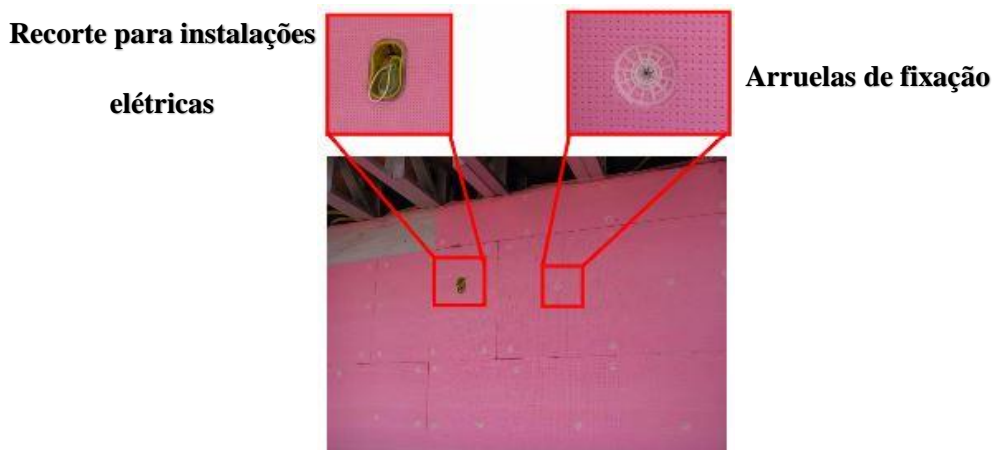
O EIFS, *Exterior Insulation and Finishing System*, conhecido também como “reboco térmico” foi, devido a todas as suas características de ganho de desempenho e elevado padrão de acabamento, como o sistema de revestimento de fachada das unidades em LSF do empreendimento. O sistema EIFS pode ser executado dentro de uma gama pequena de variação de materiais, sendo, porém, a alteração do material isolante a principal delas. O uso pode ser de EPS (Poliestireno expandido) ou de XPS (Poliestireno Extrudado).

No empreendimento, a concepção inicial do produto fazia uso de XPS e uma junção de materiais de fornecedores brasileiros que comporiam o sistema EIFS à ser aplicado. O sistema iniciava com a aplicação de uma membrana hidrófuga, que impossibilita a entrada de água

porém permite a saída de vapor de dentro das paredes da edificação. Essa membrana é afixada em toda a sua extensão por grampos afastados, no máximo, de 40 em 40 cm. Após aplicada a membrana hidrófuga em toda a extensão das paredes da edificação, pode ser iniciado o processo de fixação das placas de XPS. A junção da membrana hidrófuga e a placa de XPS faz com que seja necessária a fixação mecânica das placas através de arruelas plásticas e parafusos. O parafuso deve ser longo o suficiente para garantir a ancoragem na placa de OSB e a arruela plástica deve ser capaz de distribuir a pressão exercida pelo parafuso à placa de XPS sem danificar a mesma. Essa parafusagem precisa de um profissional que tenha uma boa prática pois é extremamente comum que as arruelas fiquem desalinhas com a face externa do XPS, ficando reentrantes ou salientes. Esse ponto é crucial pois refletirá diretamente na qualidade final do revestimento argamassado.

Aplicadas as placas de XPS, conforme figura 37, deve-se realizar nova conferência da planicidade pois as placas de OSB, por serem de madeira e extremamente delgadas, quando sujeitas à umidade podem se deformar impactando no resultado final do revestimento externo. Apresentando problema, o fornecedor afirma que pode ser efetuado um processo de lixamento com lixa para ferro até atingir a planicidade desejada dentro dos limites considerados como aceitáveis para cada uma das empresas. No empreendimento em questão foram permitidos desvios de até 4mm em uma régua de 2,00m de comprimento. O processo de lixamento, porém, não se mostrou muito eficaz e não permitia a desejada planicidade.

Figura 37 – Detalhes fixação e cortes no XPS



(fonte: foto do autor)

Quando finalizada a aplicação do XPS, deveria ser criada uma ponte de aderência para receber o revestimento argamassado subsequente. Para isso, foi utilizado um primer acrílico para permitir uma boa aderência do material cimentício à base de XPS. Este primer, após aplicado, não pode ficar exposto por mais de 6 horas, pois perde significativamente sua capacidade de gerar aderência. É necessária a verificação do vento e da existência excessiva de poeira durante a aplicação, pois pode acelerar excessivamente a secagem do material e a poeira pode impregnar a superfície fazendo com que não haja aderência suficiente. Criada a ponte de aderência, observando o tempo máximo de exposição e verificada a não impregnação por pó em excesso, faz-se início à aplicação do material cimentício que consiste em uma argamassa superflexível na cor cinza, que é aplicada em espessuras de 4 à 6mm. Esse revestimento apresenta aspecto final similar ao revestimento mais comumente utilizado em obras convencionais que é a massa única. A aplicação desta argamassa superflexível é realizada através do uso de desempenadeiras metálicas, em duas camadas. A primeira camada é utilizada para regularizar de uma maneira mais grosseira a base de XPS e permitir a fixação da tela de cobertura de fibra de vidro álcali-resistente que tem como função estruturar esse revestimento, que é extremamente fino, e evitar que se desprenda ou fissure. Essa primeira camada de argamassa também serve para fixação de outra tela, conhecida com tela de armadura, que também é produzida com fibra de vidro álcali-resistente, porém possui espessura bem maior do que a tela que estrutura o revestimento argamassado por inteiro. Essa tela é aplicada no primeiro metro do revestimento, logo acima do radier, e tem como finalidade servir de armadura para que essa área, que é muito mais sujeita a receber impactos de diversas espécies, seja danificada. A segunda camada de argamassa é aplicada para garantir um melhor acabamento superficial, tapar todos os resquícios das telas que foram aplicadas que possam ainda estar aparentes e garantir que as espessuras do revestimento estejam com praticamente a mesma espessura em toda sua extensão. A finalização do revestimento é caracterizada com a aplicação de textura acrílica e pintura acrílica específica para uso em revestimentos externos. Materiais estes utilizados em qualquer revestimento argamassado convencional.

Esse revestimento, porém, mostrou em poucos meses alguns problemas bastante graves de manifestações patológicas. Em pouco tempo se tornaram aparentes os contornos de praticamente todas as placas de XPS, “mapeando” toda a fachada, ficaram aparentes também diversos pontos de fissuras na fachada e a pintura começou a mostrar problemas como a proliferação de fungos, dando uma aparência esverdeada em quase toda extensão pintada. A composição de materiais de diversos fabricantes visando “montar” um sistema de revestimento

de fachada eficaz não demonstrou os resultados esperados. Com isso, buscou-se, dentro do mesmo sistema de revestimento, um grupo de materiais que foram desenvolvidos para ser utilizados em conjunto. Isso propiciaria a execução de um revestimento que faria uso de materiais de um mesmo fabricante onde cada um dos elementos que o compõem foram desenvolvidos para que fossem utilizados em conjunto. Esse sistema “fechado” de revestimento de fachada foi buscado para suprir as necessidades que foram evidenciadas no método anterior e faz uso de materiais bastante similares, visto ambos serem EIFS.

Com um custo direto relativamente superior ao do sistema composto por materiais de diversos fornecedores, o sistema que faz parte de um pacote completo de materiais faz uso dos seguintes materiais, em sequência desde o substrato até a superfície, que serão detalhados a seguir:

- a) Substrato em OSB;
- b) Pintura hidrófuga;
- c) Malhas de reforço para juntas em OSB e cantos de esquadrias
- d) Adesivo cimentício;
- e) EPS;
- f) Argamassa superflexível;
- g) Tela de cobertura em fibra de vidro álcali-resistente;
- h) Tela de reforço em fibra de vidro álcali-resistente;
- i) Textura acrílica pigmentada.

O processo de execução deste revestimento se inicia com o preparo do substrato em OSB, que deve estar aplicado com os cuidados acima citados visando evitar quaisquer irregularidades ou perdas de resistência. Para isso, inicia-se o processo de impermeabilização desta fachada fazendo uso de pintura hidrófuga que age como uma barreira ao vapor d'água. Esse tipo de pintura flexível foi aplicado em espessuras que variam de 3 a 4mm e visam garantir a durabilidade atuando tanto do ponto de vista da proteção contra entrada de umidade na edificação quanto de proteger o substrato OSB. Com a aplicação de até 4mm, foi obtido um

rendimento de até 22m² com um galão de 19 litros. Esse revestimento hidrófugo, porém, recebe uma etapa de reforço de juntas das placas OSB e de cantos de esquadrias que são áreas de concentração das maiores movimentações relativas das unidades em LSF. Para isso, é aplicada uma malha de reforço, aderida com a própria pintura, garantido a estanqueidade dos pontos críticos. As figuras 38 e 39 nos mostram como são realizados os detalhes de cantos de esquadrias e juntas OSB em cantos à 90°.

Figura 38 – Detalhes de reforços em janelas



(fonte: foto do autor)

Figura 39 – Detalhes de reforços em cantos 90°



(fonte: foto do autor)

Aplicados os reforços nos pontos críticos, figura 40 é possível realizar a aplicação da barreira de ar e umidade em toda a extensão da fachada. Para isso, são aplicadas duas demãos da membrana hidrófuga, denotado na figura 41. A primeira delas é aplicada um pouco mais grossa, visando cobrir as pequenas irregularidades dos OSB e preencher as diferenças entre o OSB e as malhas de reforço que já foram aplicadas. A segunda camada é aplicada para garantir a espessura correta de até 4mm e homogeneizar sua aplicação em toda a extensão da fachada.

Figura 40 – Detalhe das superfícies críticas com a camada de pintura



(fonte: foto do autor)

Figura 41– Resultado final após aplicação das 2 demãos



(fonte: foto do autor)

Após 24 horas de cura após a aplicação da membrana hidrófuga, pode ser iniciado o processo de aplicação das placas de EPS que terão a função de aumentar o isolamento térmico da unidade. Essas placas de EPS possuem espessura de 25,4 mm e uma densidade nominal de 16 kg/m³, sendo aplicadas com o uso de um adesivo cimentício muito similar à argamassa colante. A aplicação do adesivo é feita na parte posterior das placas de EPS fazendo uso de desempenadeira dentada com dentes de 13x13mm. O sentido das linhas de adesivo sempre deverá ser aplicado na vertical visando que, caso ocorra qualquer tipo de infiltração, a água possua caminho livre para percolar até sair na parte mais baixa do revestimento. O fato do adesivo ser aplicado na parte posterior das placas também é imprescindível, pois como a aplicação é feita com o uso de uma desempenadeira metálica, se fosse aplicada direto sobre a membrana hidrófuga, a desempenadeira poderia danificar essa camada. A aplicação das placas de EPS é feita a partir de uma linha de início, conforme figura 42, que é executada com o uso de linha de giz, à 60 centímetros da base do revestimento, altura essa referente à uma placa de EPS. Nessa linha as placas de 60x100cm são instaladas horizontalmente garantindo o nível de todas as fiadas. Após aplicada essa linha inicial, é dada continuidade à aplicação do restante das placas, conforme figura 43 tendo o cuidado de sempre aplicá-las com desencontro de juntas verticais, com transpasse de pelo menos 10cm, sendo que preferencialmente devem ser aplicados no centro da placa logo abaixo. Isso elimina juntas verticais preferenciais e pontos de acúmulo de tensões que poderiam fissurar o revestimento.

Figura 42 – Linha de início para fixação das placas de EPS



(fonte: foto do autor)

Figura 43 – Fixação das placas de EPS

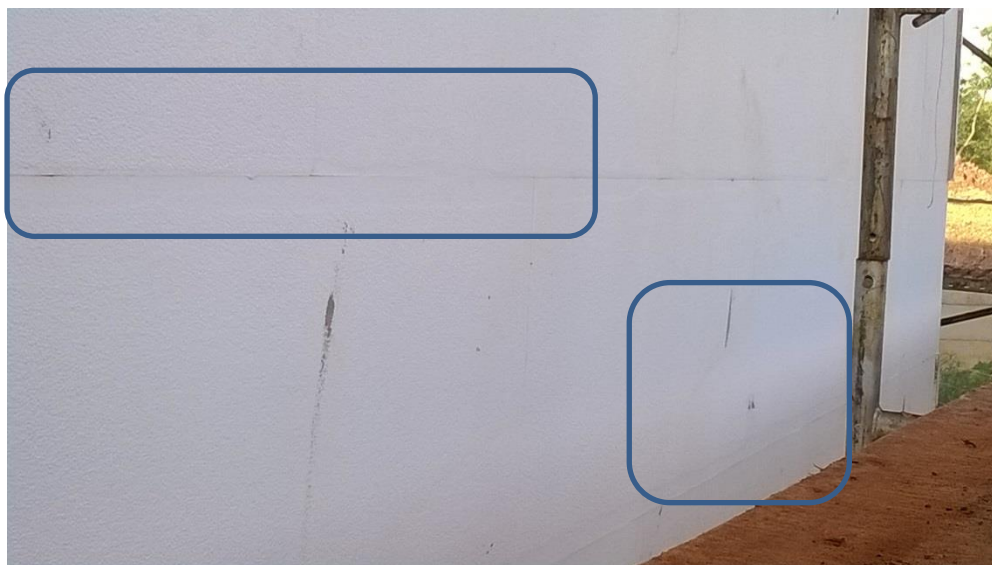


(fonte: foto do autor)

O processo de aplicação das placas de EPS é bastante rápido, visto sua aplicação não necessitar de parafusagem ou outro tipo de ancoragem por chumbadores ou parafusos. Os cortes nas placas de EPS, para conformação dentro da geometria da edificação, podem ser feitos fazendo uso de estiletes. Os cortes deverão ser precisos para evitar que as arestas fiquem abertas, assim como todas as placas quando instaladas devem ser colocadas completamente encostadas nas placas vizinhas. Caso alguma reentrância seja notada, a mesma poderá ser preenchida com o uso de filetes do próprio EPS ou espuma expansiva de poliuretano.

Aplicadas as placas de EPS em toda a extensão da fachada, inicia-se um processo misto de conferência com conformação das placas. Isso é feito fazendo uso de uma régua nível de alumínio de 2,00 metros, onde em um dos lados é totalmente serrilhado, feito em um processo artesanal. Com este equipamento é conferida a planicidade das placas de EPS e, caso possuam algum desvio, já são imediatamente lixadas, ilustrado na figura 44, fazendo com que a remoção de uma camada da placa garanta a perfeita planicidade do revestimento. O processo de lixamento deverá respeitar a espessura mínima de 75% da placa. Com isso, poderão ser corrigidos desvios de até 6,35mm em uma extensão de 2 metros de fachada

Figura 44 – Placas de EPS com irregularidades lixadas



(fonte: foto do autor)

Esse processo garante um acabamento superficial muito maior deste revestimento de fachada e, ao contrário do sistema que utiliza XPS, é realizado através de um processo bastante rápido e efetivo. O maior entrave deste processo, porém, é o fato de gerar uma quantidade muito grande de resíduos de EPS com dimensões bem pequenas que podem ser facilmente soprados pelo vento. Esse resíduo requer limpeza diária seja com coleta manual ou fazendo uso de aspiradores, para evitar que seja soprado por todo o canteiro inviabilizando sua remoção.

Quando a planicidade do revestimento foi conferida e aprovada, inicia-se a aplicação da argamassa superflexível. Como a superfície da placa de EPS possui uma rugosidade superficial muito maior do que a placa de XPS e ainda passa pelo processo de lixamento, aumentando ainda mais sua rugosidade superficial, não é necessária a aplicação de nenhum adesivo para criar a ponte de aderência entre a argamassa e as placas, sendo realizada a aplicação diretamente sobre as placas de EPS. Para isso, é utilizada uma desempenadeira metálica lisa onde a argamassa já é aplicada sobre a superfície do EPS sendo regularizada. Inicialmente, a argamassa é aplicada em uma camada mais grossa permitindo receber a aplicação da tela de reforço e da tela de armadura, figura 45, em fibra de vidro álcali-resistente. Após aplicadas as telas sobre a superfície da argamassa, ela é aderida fazendo o uso da mesma desempenadeira metálica lisa, retirando e espalhando os excessos de argamassa.

Figura 45 – Tela de reforço (branca) e tela de armadura (amarela)



(fonte: foto do autor)

Na aplicação da tela, em juntas verticais, foram utilizados transpasses de 20cm, enquanto foram utilizados transpasses de 10cm nas juntas horizontais. Nas esquadrias, foram realizadas as viradas com tela seguindo a mesma tipologia dos reforços das malhas aplicadas durante a aplicação da membrana hidrófuga.

A segunda camada de argamassa é aplicada com os mesmos equipamentos, 24 horas após a execução da primeira camada, fazendo a regularização da primeira camada, cobrindo todos os possíveis pontos de tela de cobertura que ficarem aparentes ou muito próximos à superfície e homogeneizando o revestimento, deixando com espessuras de 4 a 6 mm, pronto para receber a última camada do sistema.

A textura poderá ser aplicada 24 horas após curada a última camada de argamassa superflexível, estando curado e apto para receber esse revestimento. Foi utilizada uma cobertura texturizada de base acrílica que vem pronta para uso, não sendo necessárias misturas nem pintura, pois já é entregue na cor definida para a edificação. Essa textura pode ser aplicada em diversas granulometrias do agregado, porém, a textura utilizada no empreendimento possuía dimensão máxima de 1,0mm. Sua aplicação é idêntica à aplicação de qualquer textura desempenada de fachada, com o diferencial de, quando aplicada, já estar finalizada e não necessitar de 2 ou 3 demãos de pintura.

O ponto mais importante da textura é que ela precisa, obrigatoriamente, ser permeável à vapor, permitindo que todas as camadas deste sistema de revestimento possam permear o vapor, proveniente tanto da parte externa quanto interna do revestimento, evitando bolhas na textura, proliferação de fungos e danos às paredes estruturadas com OSB. Todas as pinturas posteriores que possam vir à ser executadas devem ser realizadas fazendo uso de tinta que também seja permeável à vapor.

4.2.8 ESQUADRIAS

No empreendimento, sempre em busca de bons resultados em desempenho, custo, agilidade e qualidade de execução, optou-se por um produto com essas características também para as esquadrias externas de todas as unidades. Com isso, foi adotada a utilização de esquadrias em PVC em todas as aberturas externas, exceto porta de entrada que, por questões de conceito, foi utilizada uma esquadria em madeira.

A instalação das esquadrias de PVC dentro dos quadros pré-estabelecidos do LSF apesar de se apresentar como uma tarefa bastante simples, merece atenção especial em diversos pontos. O primeiro deles consiste nas folgas para preenchimento com espuma expansiva e nivelamento do vão. Durante a execução do LSF, todo e qualquer desnível que vier a existir no radier, elemento de fundação, vai sendo transmitido, devido ao fato dos painéis formarem quadros pré-montados no esquadro, aos painéis de parede que o transmitem à laje que, por conseguinte vão transmitindo aos níveis superiores. Como todo desnível que ocorrer não pode ser totalmente ajustado, devido aos painéis serem formados por quadros fechados e com precisão de milímetros, o acompanhamento do nível e prumo da edificação deve ser conferido desde a fundação para que quando as esquadrias, que também são quadros perfeitos, quando forem instaladas consigam entrar no vão com as folgas adequadas. A janela é um elemento que representa muito bem as variações de prumo e nível da edificação, com isso, as medições das esquadrias devem sempre ser conferidas *in loco* antes de iniciar o processo de produção.

A esquadria afixada sem contramarco, necessita de folga de 10 a 20 mm para preenchimento total com espuma expansiva de poliuretano é imprescindível para o correto funcionamento da esquadria e também para que esse elemento não fique instalado sob pressão em um vão que pode sofrer diferentes movimentações relativas entre revestimentos internos e externos e as

esquadrias. Se esse movimento relativo for impedido, possivelmente, aparecerão fissuras internas, à 45°, no revestimento em gesso acartonado.

O preenchimento com espuma expansiva deve preencher a totalidade da extensão da esquadria que, por se tratar de um elemento que fica exposto às ações do vento, recebe cargas possivelmente altas e corre o risco de ser arrancado da fachada caso não esteja bem afixado. Assim como o preenchimento com espuma expansiva deve preencher cuidadosamente toda a extensão da esquadria, os perfis de acabamento externos e suas vedações também deverão possuir um preenchimento minucioso de absolutamente toda a extensão da esquadria. O principal ponto desta vedação, é o intuito da mesma ser um elemento completamente estanque à entrada de água na edificação, porém, a vedação executada de uma maneira eficaz auxilia também na estanqueidade sonora dos ambientes nos quais a esquadria está instalada. O preenchimento de todas as juntas deve ser feito com atenção redobrada pois qualquer orifício nessa vedação pode comprometer seu funcionamento e ser uma via de acesso da umidade para as paredes, lajes e revestimento da unidade.

Realizada a instalação adequada da esquadria, pode-se perceber que os caixilhos com perfis de 48mm, as folhas com vidro de 4mm e as persianas geram um nível de estanqueidade sonora bastante agradável. Durante as etapas de execução da obra existe o trânsito intenso de equipamentos pesados, equipamentos de corte, furadeiras e diversos outras ferramentas de trabalho que geram um nível de ruído bastante elevado dentro do canteiro, porém, quando as esquadrias eram totalmente fechadas e as persianas baixadas até o final de seu curso, era perceptível a grande variação da intensidade sonora dentro do ambiente. Os ensaios realizados, que serão apresentados logo a seguir, denotam esse nível baixo de ruído.

4.3 APRESENTAÇÃO DOS ENSAIOS E RESULTADOS

A qualidade superior que foi buscada em todas as etapas desde a concepção do produto, busca de materiais diferenciados com tecnologias inovadoras envolvidas no processo e um acompanhamento muito próximo em todas as etapas construtivas denota uma atenção especial com o produto que vai ser entregue aos futuros moradores deste empreendimento. Com isso, também, buscou-se a comprovação dos níveis de atendimento à norma de desempenho, mesmo sendo um projeto aprovado antes da obrigatoriedade da NBR 15575, a norma de desempenho. Para isso, foram realizados os testes de laboratório para os desempenhos

térmico e acústico e, ainda, um ensaio de campo para comprovação do real desempenho acústico da edificação.

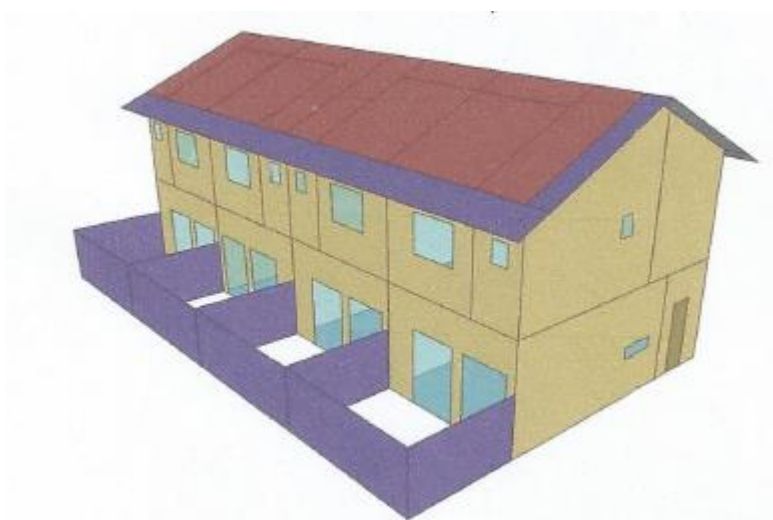
Os ensaios foram realizados por empresa terceirizada com certificação para realização dos testes, sendo apresentados à seguir de maneira resumida explicitando os resultados.

4.3.1 TESTE DE DESEMPENHO TÉRMICO

O método de análise do desempenho térmico das unidades estudadas, conforme já explicitado, se concentrou na avaliação via *software* pelo *Energy Plus*. Para isso, um laboratório habilitado foi contratado pela empresa executora do empreendimento para realizar a modelagem e ensaios das unidades.

Na figura 46 pode-se ver a imagem representativa da modelagem feita pelo *SketchUp*, das unidades estudadas, que foi utilizada para realização das simulações computacionais. A modelagem foi feita respeitando as características das unidades reais, assim como foram considerados os materiais e suas características acima explicitados.

Figura 46 – Modelo das unidades estudadas



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

A tabela 5 a seguir, apresenta as características termofísicas dos materiais, que são efetivamente utilizados em obra, que foram consideradas para a análise computacional. Todos os valores de

referência foram tomados, pelo laboratório responsável, diretamente dos catálogos técnicos dos fornecedores.

Tabela 5 – Materiais utilizados e suas propriedades térmicas

Material Construtivo	Propriedades térmicas			
	e [m]	λ [W/m.K]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg.K]
Sto Primer Adhesive	0,003	1,15	1800	1000
Drywall	0,0125	0,35	850	840
OSB Home Plus	0,011	0,17	650	2300
EPS	0,0254	0,025	16	1420
Lã de vidro (5 cm)	0,05	0,045	50	700
Lã de vidro (8,9 cm)	0,089	0,045	50	700
Laje de concreto	0,15	1,75	2400	1000
Subcobertura LP	0,003	0,1	250	1200
Telha Shingle	0,003	0,15	3000	1000
Porta de Madeira	0,03	0,15	614	2300

Obs.: espessura (e), condutividade térmica (λ), densidade de massa aparente (ρ) e calor específico (c)

(fonte: empresa responsável pelo projeto)

As propriedades dos vidros utilizados estão apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 – Propriedades dos vidros

Sistema Construtivo	Propriedades térmicas									
	Descrição	e [m]	Ts	Rs	Rs	Tv	Rv	Rv	Tir	ϵ
Vidro claro 4 mm	0,004	0,837	0,075	0,075	0,898	0,081	0,081	0	0,84	0,9
Vidro laminado 3mm	0,003	0,31	0,2	0,18	0,48	0,17	0,11	0	0,84	1

(fonte: empresa responsável pelo projeto)

O ensaio térmico foi desenvolvido para todas as oito zonas bioclimáticas brasileiras, fazendo simulações para as cidades representativas de cada uma das zonas. Sendo assim, foram consideradas as seguintes cidades:

- a) Curitiba – zona bioclimática 1;
- b) Santa Maria – zona bioclimática 2;
- c) Porto Alegre – zona bioclimática 3;
- d) Brasília – zona bioclimática 4;
- e) Niterói – zona bioclimática 5;

- f) Campo Grande – zona bioclimática 6;
- g) Cuiabá – zona bioclimática 7;
- h) Manaus – zona bioclimática 8.

Foram utilizados pelo laboratório os arquivos climáticos elaborados a partir de dados horários registrados em estações climatológicas do INMET entre os anos de 2000 e 2010.

Fazendo uso dos procedimentos de análise descritos na revisão bibliográfica deste estudo, obtendo, assim, os níveis de desempenho, tabela 7, para as situações de inverno e verão, para as zonas bioclimática 1 a 5, e os níveis de desempenho para as cidades representativas das zonas bioclimática 6 a 8.

Tabela 7 – Nível de desempenho térmico

ZB	Absortância	Situação	Temp. Externa	Ambientes			Nível de Desempenho
				Sala	Dormitório 1	Dormitório 2	
Condição Padrão ¹							
1	0,3	Verão	31,75	23,59	25,57	25,61	S
		Inverno	1,96	11,62	10,45	10,1	S
2	0,3	Verão	32,1	25,81	27,99	28,03	S
		Inverno	10,33	15,12	15,52	15,36	M
3	0,3	Verão	35,91	27,5	30,67	30,65	S
		Inverno	3,94	12,75	11,67	11,65	S
4	0,3	Verão	32,11	25,76	30,73	29,54	M
		Inverno	11,24	17,35	19,54	18,27	I
5	0,3	Verão	33,29	26,31	28,49	28,44	S
		Inverno	10,8	16,28	16,08	16,33	I
6	0,3	Verão	33,66	26,5	28,77	27,42	S
7	0,3	Verão	37,69	29,48	32,18	32,01	S
8	0,3	Verão	35,15	26,95	29,68	29,52	S

Obs.: valores em °C; M: Mínimo; I: Intermediário; S: Superior

¹: ambiente com taxa de renovação de ar de 1 ren/h

(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Com base nos níveis obtidos na condição padrão de uma renovação de ar por hora, para as condições de verão e inverno, das cidades representativas de cada zona bioclimática, foi elaborado uma tabela com a síntese da avaliação de desempenho térmico das unidades considerando como nível de desempenho a pior situação de cada um deles, conforme tabela 8.

Tabela 8 – Síntese da avaliação de desempenho térmico

Sistema Construtivo	
Parede	Steel Frame: EIFS (revestimento argamassado com tela de fibra de vidro, EPS 25,4mm e barreira impermeável), placas OSB Home Plus (11,1mm), lã de vidro (50mm) e placas de gesso acartonado (12,5mm)
Cobertura	Placas de gesso acartonado (12,5mm), lã de vidro (89mm), laje de concreto e telha shingle
Esquadria	Vidro float incolor 4 mm nos dormitórios e vidro incolor laminado 3+3 mm na sala
Nível de desempenho	
Zona Bioclimática	Condição padrão ¹
1	Atende ao nível superior
2	Atende ao nível mínimo
3	Atende ao nível superior
4	Atende ao nível mínimo
5	Atende ao nível intermediário
6	Atende ao nível superior
7	Atende ao nível superior
8	Atende ao nível superior

¹: ambiente com taxa de renovação de ar de 1 ren/h

(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Analisando a síntese acima, pode-se perceber que ainda na condição padrão, as unidades estudadas apresentaram atendimento ao nível mínimo da norma nas zonas bioclimática 2 e 4, atendimento em nível intermediário na zona bioclimática 5 e atendimento ao nível superior nas zonas bioclimática 1, 3, 6, 7 e 8. O empreendimento objeto deste estudo, localizado na cidade de Canoas – RS, fica situado à zona bioclimática 3 e é atendido em nível superior.

4.3.2 TESTE DE DESEMPENHO ACÚSTICO EM LABORATÓRIO

A realização do ensaio acústico em laboratório teve como ponto de partida a montagem de um protótipo fazendo uso dos mesmos materiais e mão de obra que foram utilizados no empreendimento. Com isso, criou-se uma parede interna, ilustrada na figura 47, com as mesmas características e materiais apresentados acima, buscando minimizar ao máximo a variabilidade entre o protótipo ensaiado e a condição real.

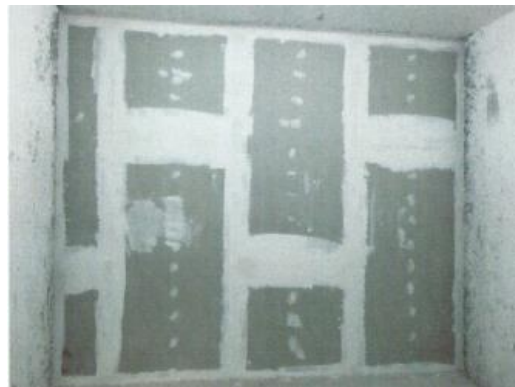
Figura 47 – Montagem de parede protótipo



Colocação de isolamento e placas de OSB



Plaqueamento em gesso acartonado



Parede protótipo concluída

(fonte: fotos do autor)

Os equipamentos utilizados para realização dos ensaios estão discriminados na figura X, a seguir.

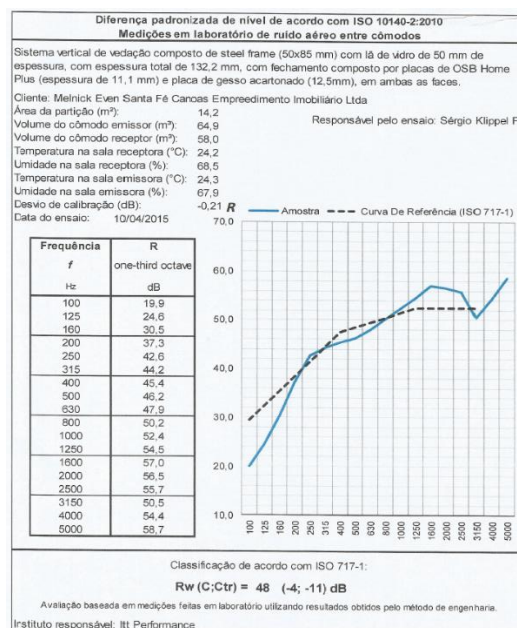
Figura 48 – Equipamentos utilizados durante os ensaios

Descrição	Fabricante	Modelo	Capacidade técnica
Microfone	Brüel&Kjaer	TYPE 4189, classe 1 (itt Performance - E034P)	14,6 dB a 6,3 Hz e 146 dB a 20Hz, com resolução de 0,1 dB - Certificado de calibração nº CBR 1400647 - 03/09/2014
Analizador sonoro	Brüel&Kjaer	TYPE 2270 (itt Performance - E030P e S001P)	Capacidade e resolução conforme Microfone TYPE 4189 - Certificado de calibração nº CBR 1500021 - 26/01/2015
Fonte sonora dodecaédrica	Brüel&Kjaer	4292-L (itt Performance - E031P)	Máximo NPS de 122 dB - Calibração Interna
Calibrador Acústico	Brüel&Kjaer	TYPE 4231, classe 1 (itt Performance - E029P)	94 e 114 dB, ambos em 1kHz, resolução de 0,2 dB - Certificado de calibração nº 05453 - 19/08/2014
Trena	Vonder	5 metros (itt Performance - E035P)	5 metros, resolução de 0,001mm Certificado de calibração nº 05453 - 19/08/2014
Amplificador de potência	Brüel&Kjaer	TYPE 2734-A (itt Performance - E028P)	20 Hz a 20 kHz, resolução de 1 dB, e 500 W - calibração interna
Termohigrômetro	Instrutemp	ITMP 600 (itt Performance - E003P)	-10 a 60°C, 20 a 80% RH, 30 a 130dB(A), 0 a 2000Lux, resolução de 0,1°C, 0,1%, 0,1 dB(A) e 1Lux Certificado de calibração nº 26308 - 09/09/2014

(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Com base nisso, objetiva-se a determinação do nível de redução sonora ponderado (R_w) desta parede de vedação. Analisadas as condições das câmaras receptora e emissora de ruído, umidade do ar e temperatura, foram realizadas as medições dos níveis de isolamento sonora para cada banda de frequência e comparadas a curva padrão e a curva gerada pelos valores obtidos.

Figura 49 – Curva Padrão vs Curva Obtida



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

A avaliação apresenta um único valor que caracteriza o sistema como um todo, explicitando a atenuação sonora de 48 dB.

Segundo a NBR 15.575-4, o nível de redução sonora (R_w) está compreendido no nível de desempenho mínimo para paredes de geminação quando não há dormitórios e para paredes cegas de dormitórios e áreas comuns de trânsito eventual, como apresentado pela tabela 9.

Tabela 9 – Nível de redução sonora ponderada R_w (dB)

Nível de redução sonora ponderada R_w (dB)	48
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	M
Parede entre unidades autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	N/A
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	M
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	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	N/A

Legenda: M: mínimo; I: Intermediário; S: Superior; N/A: não atende

(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Assim sendo, pode-se também inferir que esse sistema de vedação apresenta atendimento ao nível superior para paredes cegas de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual. Nos demais casos em que se pode avaliar, explicitados no resumo acima, o sistema não atende ao nível mínimo da norma de desempenho.

4.3.3 TESTE DE DESEMPENHO ACÚSTICO *IN LOCO*

Buscando uma avaliação mais apurada das reais condições de desempenho acústico que serão propiciadas aos usuários das unidades habitacionais, foi realizado um ensaio de campo para determinação do desempenho. Com isso, duas unidades habitacionais do empreendimento foram utilizadas para realização dos ensaios, onde um dormitório foi utilizado como câmara emissora e o dormitório da outra unidade foi utilizado como câmara emissora.

Os equipamentos utilizados para determinação da diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$) desta parede de vedação são os mesmos utilizados na realização dos ensaios em laboratório, conforme figura 50.

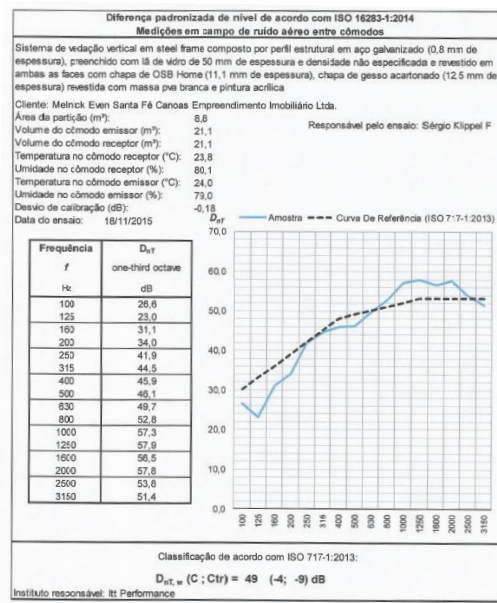
Figura 50 – Equipamentos utilizados durante os ensaios

Descrição	Fabricante	Modelo	Capacidade técnica
Microfone	Brüel&Kjaer	TYPE 4189, classe 1 (itt Performance - E034P)	14,6 dB a 6,3 Hz e 146 dB a 20Hz, com resolução de 0,1 dB - Certificado de calibração nº CBR 1400647 - 03/09/2014
Analisador sonoro	Brüel&Kjaer	TYPE 2270 (itt Performance - E030P e S001P)	Capacidade e resolução conforme Microfone TYPE 4189 - Certificado de calibração nº CBR 1500021 - 26/01/2015
Fonte sonora dodecaédrica	Brüel&Kjaer	4292-L (itt Performance - E031P)	Máximo NPS de 122 dB - Calibração Interna
Calibrador Acústico	Brüel&Kjaer	TYPE 4231, classe 1 (itt Performance - E029P)	94 e 114 dB, ambos em 1kHz, resolução de 0,2 dB - Certificado de calibração nº 05453 - 19/08/2014
Trena	Vonder	5 metros (itt Performance - E035P)	5 metros, resolução de 0,001mm Certificado de calibração nº 05453 - 19/08/2014
Amplificador de potência	Brüel&Kjaer	TYPE 2734-A (itt Performance - E028P)	20 Hz a 20 kHz, resolução de 1 dB, e 500 W - calibração interna
Termohigrômetro	Instrutemp	ITMP 600 (itt Performance - E003P)	-10 a 60°C, 20 a 80% RH, 30 a 130dB(A), 0 a 2000Lux, resolução de 0,1°C, 0,1%, 0,1 dB(A) e 1Lux Certificado de calibração nº 26308 - 09/09/2014

(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Obtidos os valores das medições para cada banda de frequência, no ensaio de campo, gera-se também uma curva, figura 51, com os dados obtidos que é comparada com a curva padrão. Com isso, é possível a determinação da diferença padronizada de nível ponderada (D_{nT,w}).

Figura 51 - Curva Padrão vs Curva Obtida



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

A diferença padronizada de 49 dB, obtida no ensaio de campo, nos mostra claramente um problema na realização do ensaio anterioro, em laboratório. O resultado obtido em laboratório deve sempre nos fornecer um valor potencial que, devido ao fato de ser realizado em condições ideais, deve ser maior do que o obtido em campo. Com essa diferença padronizada, porém, foi realizada a comparação com os valores estabelecidos pela norma de desempenho para classificação em cada um dos níveis de atendimento e abaixo é apresentado, pela tabela 10, um quadro resumo com o atendimento em cada uma das condições estabelecidas.

Tabela 10 – Quadro resumo com os níveis de atendimento para cada condição ($D_{nT,w}$)

Diferença padronizada de nível $D_{nT,w}$ (dB)	49
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	I
Parede entre unidades autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	M
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	I
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	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	M

Legenda: M: mínimo; I: Intermediário; S: Superior; N/A: não atende

(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Conforme os parâmetros estabelecidos pela norma de desempenho, o sistema atinge em nível mínimo de desempenho quando observadas paredes entre unidades autônomas no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório e para parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência prolongada. Performa nível intermediário quando avaliadas paredes entre unidade habitacionais autônomas nas situações onde não haja ambiente dormitório e parede cega de dormitório entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual. Em se tratando de parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, o sistema de vedação atinge o atendimento em nível superior.

4.4 POTENCIALIDADES E GARGALOS

A avaliação de cada uma das etapas durante todo o processo executivo das unidades do empreendimento, descritas acima, permitiu a determinação de diversos pontos sensíveis. A tabela 11, apresenta uma avaliação final e pontual, dos principais gargalos executivos encontrados durante a execução das atividades e as medidas corretivas adotadas para cada um dos problemas. Os resultados positivos apresentados nos ensaios térmico e acústico se devem

aos cuidados e medidas de mitigação das falhas executivas que podem ocorrer durante todo o processo de execução deste sistema construtivo.

Tabela 11 – Gargalos e medidas de ajuste

Gargalos e Potencialidades		
Atividade	Problema	Medida de ajuste
Fundações	Dificuldade locação das instalações	Rebaixos em locais pré-estabelecidos para comportar instalações após concretagem do elemento de fundação
	Variações dimensionais do radier	Concretagem em 3 etapas possibilitando travamento das formas do pano superior em base rígida
	Manutenção futura das instalações quebrando pontos do elemento de fundação fragilizando o conjunto	Rebaixos preenchidos com cama de areia e cobertura com concreto não estrutural
	Conferência e funcionalidade das instalações embutidas no radier	Execução posterior a concretagem do elemento de fundação permitindo testes e correções mais facilmente
Impermeabilização	Materiais da estrutura e revestimento sensíveis à ação da água	Impermeabilização de todos pontos de contato desses elementos com a fundação e utilização de camada separadora
	Danos à camada impermeabilizante por trânsito de pessoas e/ou fixação de elementos provisórios	Utilização de camada separadora entre perfis metálicos e impermeabilização
Estrutura em LSF	Assertividade dimensional da locação e das unidades	Marcação por topografia, linha de giz e conferência com trena e esquadro de todas as paredes antes de instalar a estrutura.
	Erros dimensionais cumulativos devido a execução em linhas de grande comprimento	Conferência por topografia e trena em trechos menores, ajustando as variações logo na origem
		Conferência, painel à painel, das dimensões de cada umas das guias
	Erros de montagem ou dimensão de painéis	Furações, dimensões e marcações dos elementos em máquina de precisão direto de fábrica
		Cadernos de montagem com especificações e demarcações em cada elemento metálico à ser montado
	Desperdício de material	Guias e montantes entregues à mão de obra já perfurados, cortados e demarcados, conforme caderno de montagem, separados em feixes que, cada um, compõem um painel
	Erros de instalação da estrutura	Realizada pré-fixação com pinos para permitir conferência e liberação para fixação definitiva
		Travamentos provisórios, à 45°, de cada um dos painéis até fixação definitiva
Conferência de prumo e esquadro com esquadro, régua nível e <i>laser</i> à cada pavimento		
Determinação de como deve ser realizada o parafusamento de cada tipo de elemento da estrutura		

Plaqueamento OSB Externo	Problemas de planicidade das chapas	Parafusamento seguindo a sequência de uma borda até a outra da placa, sem travar as extremidades, permitindo que a placa se ajuste à estrutura plana Conferência de cada uma das etapas de plaqueamento
	Desperdício de material	Desenvolvimento junto ao fornecedor de placas com dimensões especiais para atender, sem cortes, o pé direito de cada ambiente, limitando os cortes às aberturas
	Desperdício de material	Utilização de placas com largura modular para correto apoio das bordas das placas e minimizando os cortes
	Perda das propriedades físicas e estruturais da placa por exposição das bordas cortadas das placas	Bordas seladas, logo após cada corte efetuado, com tinta esmalte para evitar a percolação de água nas camadas internas da placa
	Perda de desempenho por problemas de fixação e apoio das placas à estrutura	Montantes espaçados modularmente na estrutura, respeitando as juntas de dilatação em cada placa, e fixação de parafusos desencontrados horizontalmente entre placas e afastados em 1 cm das bordas Fixação das placas à todos os montantes da estrutura, estejam eles localizados nas bordas ou no centro das placas e apoio das 4 bordas das placas à estrutura
Cobertura	Planicidade da cobertura	Conferência de planicidade e alinhamentos da estrutura e plaqueamento da cobertura
	Vedação da cobertura	Instalada camada de subcobertura em feltro asfáltico, antes da aplicação das telhas.
	Integridade das telhas asfálticas	Avaliação das condições de consistência das telhas devido ação da radiação solar para liberação da execução. Quando muito aquecidas, as telhas asfálticas tendem a se deformar e perder desempenho
	Utilização de telhas com grande absorvância térmica aquecendo a camada entre cobertura e forro das unidades	Aplicado sistema de renovação natural de ar, por convecção, utilizando beirais e cumeeiras ventiladas.
	Instalação de telhas apresentando juntas verticais	Utilizados cortes pré-estabelecidos na primeira telha de cada uma das fiadas para que as juntas permaneçam sempre desencontradas
Isolamento termoacústico	Utilização de elementos de pouca massa e espessura	Aplicadas camadas de isolamento térmico e acústico em lã mineral de vidro em todas as paredes e forros das unidades, com maior espessura nos elementos mais críticos como o forro, envelopando os ambientes
	Pontes de transferência de calor e som por frestas	Devem ser preenchidos todos os nichos entre as paredes e forros para evitar pontos frágeis
	Desperdício de material e perda de produtividade	Utilizados rolos de lã de vidro com largura modular igual a das paredes, gerando cortes, reaproveitáveis, apenas na altura

Revestimento externo em EIFS	Utilização de produtos combinados de diversos fornecedores para compor um sistema	Incompatibilidade e aparecimento de manifestações patológicas em curto período de tempo. Alterado sistema para utilização de sistema fechado de um único fornecedor, aumentando a compatibilidade entre materiais.
	Problema de planicidade e fixação de placas de XPS	Material não atinge bom acabamento com processo de lixamento, indicado pelo fabricante quando apresentadas irregularidades na planicidade
		Necessidade de utilização de arruelas plásticas para distribuição da tensão do parafuso de fixação que geram problemas de planicidade das chapas de XPS e irregularidades pontuais no revestimento superflexível
		Alterada a utilização de XPS para EPS pois o mesmo permite correção adequada da planicidade por processo de lixamento
	Ponte de aderência no EIFS com XPS	Revestimento com uso de XPS necessita ponte de aderência. Substituído por EPS que permite aplicação de argamassa superflexível sem ponte de aderência
	Integridade do substrato em OSB	Aplicação de pintura, em 2 demãos, que age como barreira à ação de ar e umidade, atentando para a realização de reforços em pontos críticos como cantos de janelas e juntas de placas
	Fissuras em diagonal nos cantos de portas e esquadrias	Utilizados reforços adicionais em malha de fibra de vidro nos cantos de portas e esquadrias.
Pontos frágeis nas emendas entre as telas de fibra de vidro	Respeitados transpasses de 20 cm em juntas verticais e de 10 cm em juntas horizontais	

(fonte: elaborado pelo autor)

A avaliação dos principais entraves durante o processo executivo de casas em *Light Steel Framig* é um meio extremamente eficiente de qualificar o sistema, que é sempre explicitado como completo, eficiente e simples de ser executado. A execução, porém, mostra diversos pontos falhos durante cada uma das etapas executivas que devem ser acompanhadas de perto para que as medidas corretivas sejam tomadas com tempo hábil e extremamente bem avaliadas, para que se qualifique gradativamente um sistema que, apesar de ainda ser incompleto, possui um potencial imenso.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15220-3**: desempenho térmico de edificações – parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais – desempenho – parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4**: edificações habitacionais – desempenho – parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013b.

BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. 1997. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Miriam_Jeronimo_Barbosa.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria da Habitação. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas. **Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (sistemas leves tipo “Light Steel Framing”)**. Brasília: 2012. Não paginado. Diretriz Sinat n. 003 - revisão 01. Disponível em: <<http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=8622c6d0-7d24-4995-83abd1d35b15ea22&ext=.pdf&cd=1405>> . Acesso em: 23 mar. 2015.

CIOCCHI, L. Use corretamente o gesso acartonado. **Piniweb**. 2003. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/usecorretamenteogessoacartonado801411.aspx>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO BRASIL. **Norma de desempenho da ABNT traz grandes mudanças para construção de residências**. Brasília: 2013. Disponível em: <<http://www.caubr.gov.br/?p=9134>>. Acesso em: 4 jun. 2015

FREITAS, A. M. S; CRASTO, R. C. **Steel Framing**: Arquitetura. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. Manual de Construção em Aço.

GEROLLA, G. Construções em *Light Steel Frame*. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, n. 112, jul. 2006. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo286061-3.aspx>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

GROCHOT, B. M. **Avaliação dos métodos de ensaio preconizados na NBR 15575-4/2010 quanto à estanqueidade à água aplicados em revestimentos de argamassa**. 2012. 76 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/79761/000896719.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

JARDIM, G. T. da C.; CAMPOS, A. de 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: 25 mar. 2015

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P. de; CARLO, J.C.; BATISTA, J.O.; MARINOSKI, D. L.; NARANJO, A. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis, 2011. Material da Disciplina ECV5161. 142 p. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161_Apostila-v2011_1.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2015.

LP BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO SA. **Sistema CES**. Curitiba, [2012?]a. Não paginado. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/sistemas/sistema-ces.html>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

_____. **OSB**. Curitiba, [2012?]b. Não paginado. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/osb/>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

LUCA, C. R. de. **Desempenho acústico em sistemas drywall**. São Paulo: Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas Para Drywall, 2012. Disponível em: <<http://www.drywall.org.br/biblioteca.php/1/3>>. Acesso em: 20 maio 2015.

PEPE, Caroline. **Dicas para construir verde**. 2010. Disponível em: <<http://crieverde.blogspot.com.br/2010/06/dicas-para-uma-construcao-sustentavel.html>>. Acesso em: 20 maio 2016.

POLISSENI, A. E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede**: método do cachimbo. 1986. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

PRADO FILHO, H. R. do. No envidraçamento de sacada, quando permitido, é obrigatório o cumprimento da norma técnica. **Qualidade Online**. 2014. Disponível em: <<https://qualidadeonline.wordpress.com/2014/04/06/no-envidracamento-de-sacada-quando-permitido-e-obrigatorio-o-cumprimento-da-norma-tecnica/>>. Acesso em: 07 jun. 2015.

POLYMOLDING. **What is EIFS?**. [2015?]. Disponível em: <<http://polymoldingllc.com/products/eifsstucco-board/>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

SACCO, M. de F.; STAMATO, G. C. **Light Wood Frame**: construções com estrutura leve de madeira. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, n. 140, nov. 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/140/artigo287602-3.aspx>>. Acesso em: 19 maio 2015.

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema Light Steel Framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

SILVA, M. F. A. da. **Gerenciamento de processos na construção civil:** Um estudo de caso aplicado no processo de execução de paredes em gesso acartonado. 2000. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

VAZ, D. Construção Energética Sustentável da LP na 2º Construction Expo. **Construir Sustentável**. 2013. Disponível em: <<http://construirsustentavel.com.br/materiaissustentaveis/1049/construcaoenergetermicasustentaveldalpna2constructionexpo>>. Acesso em: 04 jun. 2015.