

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

Bianca Benvenuti

**COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE
DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO
DO SISTEMA *LIGHT STEEL FRAMING***

Porto Alegre
Novembro de 2020.

Bianca Benvenuti

**COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE
DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO
DO SISTEMA *LIGHT STEEL FRAMING***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso 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: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira

Porto Alegre
Novembro de 2020.

Bianca Benvenuti

**COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE
DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO
DO SISTEMA *LIGHT STEEL FRAMING***

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, novembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Prof. Rômulo Plentz Giralt (UFRGS)
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Gabriela Sartori (UFRGS)
Me. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus avós Ercy e Odair “*In
Memorian*”, por todo apoio e incentivo durante minha
trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Clarisse e Ronald, por estarem ao meu lado durante todos esses anos, pelo suporte, cuidado, dedicação, incentivo aos meus estudos e apoio nos momentos difíceis.

Agradeço a minha orientadora Cristiane Sardin por todo auxílio prestado durante essa jornada de trabalho, por me ouvir, aconselhar e não me deixar desistir.

Agradeço a minha família por sempre estar presente, contribuindo para que esse período se tornasse mais tranquilo, apesar dos momentos difíceis. Um agradecimento especial a Neca, minha amiga de vida, que me conhece desde que nasci, por estar ao meu lado em todas etapas das quais passei, pelo seu apoio e cuidado.

Aos meus amigos, por me acompanharem, me darem suporte, apoio emocional e muito incentivo. Em especial às minhas amigas de infância Eliza e Manoela, por tantos momentos especiais, de risadas a choros, que o destino uniu nossas trajetórias no colégio e, mesmo com caminhos diferentes, seguimos presentes na vida uma da outra. Agradeço também à minha amiga Alice, que os últimos anos de faculdade nos uniram, obrigada por estar comigo, por sua paciência em me ajudar e pelos bons momentos que tivemos.

Por fim, meus agradecimentos a UFRGS, por ter me tornado quem sou, por todos ensinamentos que pude obter, não só curriculares, mas também de vida. Agradeço pela oportunidade que tive em estudar em uma universidade com ensino gratuito e de excelente qualidade.

Os sonhos não determinam o lugar onde iremos chegar,
mas produzem a força necessária para tirar-nos do lugar
em que estamos.

Augusto Cury

RESUMO

O presente trabalho versa sobre a comparação de diferentes composições de vedações externas para uma construção em *Light Steel Framing* através da avaliação do comportamento térmico de cada um dos dez modelos determinados. A partir da revisão da literatura que aborda o sistema construtivo *Light Steel Framing* com seus métodos construtivos, o concreto celular e as normas referentes ao desempenho térmico de uma edificação, escolheu-se a composição dos modelos de vedação externas e foram determinadas as propriedades dos materiais utilizados. Após isso, procedeu-se a avaliação do comportamento térmico. Para tal verificação, utilizou-se o procedimento 1 (simplificado) apresentado na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) e os cálculos dos parâmetros analisados conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). Os parâmetros analisados foram transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de cada composição de vedação. Esses resultados foram comparados aos valores mínimos e máximos para a cidade de Porto Alegre, os quais são apresentados na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) que trata dos requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Além disso, também foram feitas análises entre os modelos, como a utilização ou não do isolante térmico acústico, chapa *XPS*, e a composição de vedações com uma ou duas placas cimentícias, *OSB* e de concreto celular. Pode-se perceber uma grande influência positiva que a chapa *XPS*, camada de isolante térmico externa, fornece quanto a transmitância térmica, reduzindo este valor, mostrando a sua importância na composição do sistema. Quanto ao número de placas por conjunto de revestimento, sua influência ocorre nos valores de capacidade térmica do sistema. Em relação ao comportamento térmico, a placa cimentícia se destaca, seguida da placa de concreto celular. Porém a placa cimentícia apresenta maior peso, o que pode ser considerado na decisão de escolha do material.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho esquemático de uma residência em Light Steel Framing	19
Figura 2 - Corte esquemático de uma laje Radier	21
Figura 3 - Detalhe esquemático de ancoragem de painel estrutural a uma laje radier	22
Figura 4 - Corte detalhado de fundação sapata corrida	22
Figura 5 - Desenho esquemático de painel típico em LSF e seus componentes	24
Figura 6 - Distribuição dos esforços através da verga para ombreiras	24
Figura 7 - Desenho esquemático de painel não-estrutural com abertura.....	26
Figura 8 - Painel de OSB	27
Figura 9 - Fachada com fechamento externo em OSB	28
Figura 10 - Placa cimentícia	29
Figura 11 - Tipos de chapa de gesso.....	29
Figura 12 - Características geométricas das chapas de gesso.....	30
Figura 13 - Instalação de lã de vidro	31
Figura 14 - Chapa de XPS	32
Figura 15 - Aplicação de chapas <i>OSB</i> e <i>XPS</i>	32
Figura 16 - Membrana hidrófuga.....	33
Figura 17 - Telha Shingle	34
Figura 18 - Telha sanduíche	35
Figura 19 - Classificação geral dos concretos leves	37
Figura 20 - Revestimento externo do CCA	39
Figura 21 - Alvenaria com blocos de concreto celular	40
Figura 22 - Características painéis concreto celular	40
Figura 23 - Processo de produção do CCA	41
Figura 24 - Zoneamento bioclimático brasileiro	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composições das vedações utilizando placa cimentícia	54
Quadro 2 - Composições das vedações utilizando placa OSB	54
Quadro 3 - Composições das vedações utilizando placa de concreto celular	54
Quadro 4 - Propriedades dos materiais utilizados nas vedações	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre espessura da placa cimentícia e aplicação	28
Tabela 2 - Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos.....	45
Tabela 3 - Transmitância térmica de paredes externas.....	46
Tabela 4 - Capacidade térmica de paredes externas	46
Tabela 5 - Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 3	52
Tabela 6 - Tabela A.1 da NBR 15220-2 com valores de resistência superficial externa e resistência superficial interna	57
Tabela 7 - Resistência térmica dos componentes	57
Tabela 8 - Tabela B.1 da NBR 15220-2 com valores de resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas	58
Tabela 9 - Resistência térmica e transmitância térmica das vedações utilizando placa cimentícia.....	58
Tabela 10 - Resistência térmica e transmitância térmica das vedações utilizando placa OSB	58
Tabela 11 - Resistência térmica e transmitância térmica das vedações utilizando placa de concreto celular.....	59
Tabela 12 - Capacidade térmica dos componentes.....	59
Tabela 13 - Capacidade térmica das vedações utilizando placa cimentícia	60
Tabela 14 - Capacidade térmica das vedações utilizando placa OSB	60
Tabela 15 - Capacidade térmica das vedações utilizando placa de concreto celular	61
Tabela 16 - Atraso térmico das vedações externas utilizando placa cimentícia.....	61
Tabela 17 - Atraso térmico das vedações utilizando placa OSB.....	61
Tabela 18 - Atraso térmico das vedações utilizando placa de concreto celular	62
Tabela 19 - Comparação dos valores das propriedades térmicas das vedações	62
Tabela 20 - Peso das placas por vedação.....	66

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CCA – Concreto Celular Autoclavado

EE – Escola de Engenharia

EIFS – Exterior Insulation and Finish System

EPS – Expandable Polystyrene

LSF – Light Steel Framing

NBR – Norma Brasileira

OSB – Oriented Strand Board

SVVIE – Sistemas de vedações verticais internas e externas

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

XPS – Extruded Polystyrene

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	DIRETRIZES DA PESQUISA	15
2.1	OBJETIVO DA PESQUISA	15
2.2	DELIMITAÇÕES	15
2.3	LIMITAÇÕES.....	15
2.4	DELINEAMENTO	16
3.	<i>LIGHT STEEL FRAMING</i>	17
3.1	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA.....	18
3.3	FUNDAÇÕES	21
3.3.1	Fixação dos painéis na fundação	23
3.4	PAINÉIS.....	23
3.4.1	Painéis estruturais ou autoportantes	23
3.4.2	Painéis não estruturais	25
3.5	FECHAMENTO VERTICAL.....	26
3.5.1	Painéis de <i>OSB</i>	27
3.5.2	Placas cimentícias	28
3.5.3	Gesso acartonado.....	29
3.5.4	Isolamento termoacústico.....	30
3.5.5	Membrana hidrófuga	32
3.6	COBERTURAS	33
3.6.1	Telhas <i>Shingle</i> ou telha asfáltica	34
3.6.2	Telha sanduíche.....	34
4.	CONCRETO CELULAR.....	36
4.1	TIPOS DE CONCRETO CELULAR	36
4.2	CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO	37

4.2.1	Bloco de concreto celular autoclavado.....	39
4.3	PLACA DE CONCRETO CELULAR	40
5.	NORMAS DE DESEMPENHO	42
5.1	NBR 15575: EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS	42
5.1.1	NBR 15575-1: Requisitos gerais (ABNT, 2013a)	42
5.1.2	NBR 15575-4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE (ABNT, 2013b).....	45
5.2	NBR 15220: DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	46
5.2.1	NBR 15.220-1: definições símbolos e unidades (ABNT, 2005a).....	47
5.2.2	NBR 15.220-2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações (ABNT, 2005b).....	48
5.2.3	NBR 15220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005c).....	50
6.	COMPARAÇÃO TÉRMICA DOS PAINÉIS DE VEDAÇÃO <i>LSF</i> COMPOSTO POR DIFERENTES MATERIAIS.....	53
6.1	METODOLOGIA	53
6.2	COMPOSIÇÃO DAS PAREDES DO SISTEMA	53
6.3	ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE ACORDO COM AS RECOMENDAÇÕES DA NBR 15220-2 (ABNT, 2005b).....	56
6.3.1	Transmitância térmica	56
6.3.2	Capacidade térmica	59
6.3.3	Atraso térmico	61
6.3.4	Comparação dos valores das propriedades térmicas	62
6.4	AVALIAÇÃO DA EXEQUIBILIDADE.....	65
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
7.1	CONCLUSÕES.....	67
7.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68

REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICE A.....	72
APÊNDICE B.....	77

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, ao longo dos anos, passa por muitos avanços tecnológicos e adaptações em diversos âmbitos com a finalidade de adequar-se às exigências do consumidor, ao crescente mercado e aos diversos requisitos ambientais, que têm sido pauta de muitos debates pelo mundo. Sendo assim, ajustar-se a esses novos conceitos de vida relacionados à construção são de fundamental importância.

O consumo energético desempenha função importante financeira e ambientalmente pois cada vez mais a demanda de energia vem crescendo e, com isso, busca-se novas fontes de produção que gerem menos impactos ambientais.

O conforto térmico está diretamente relacionado a esses dados, pois grande parte dos gastos com energia em edificações residenciais e comerciais são devido à utilização de sistemas de climatização, por exemplo. Poderíamos então, ao invés de criar meios para se gerar mais energia, fazer análises térmicas para utilização de materiais mais eficientes termicamente, para que dessa forma não ocorresse um consumo energético tão elevado.

Segundo ASHRAE (2005), o Conforto Térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente Conforto Térmico (LAMBERTS, 2016).

Grande parte das construções ainda são pensadas levando-se em conta como principal fator o custo dos materiais e não o conforto e possíveis economias energéticas do usuário. Apesar de ter-se obtido grandes avanços ao longo dos anos, as propostas de edificações voltadas a sustentabilidade ainda precisam e podem ser mais desenvolvidas. Também é importante ressaltar que a construção sustentável é favorável tanto em aspectos sociais quanto em econômicos, não só ao usuário, como ao construtor.

A construção civil no Brasil ainda é predominantemente artesanal, caracterizada pela baixa produtividade e principalmente pelo grande desperdício. Apesar disso, o mercado tem

sinalizado mudanças nessa situação, mas ainda de forma lenta se comparado a outros setores (CRASTO, 2005).

A proposta a ser verificada neste trabalho é a verificação do comportamento térmico de três materiais para vedação das paredes de uma edificação em *Light Steel Framing (LSF)*, que também é conhecido por estruturas de aço leve, e por ser um sistema construtivo constituído por aço galvanizado como principal elemento estrutural. Sabe-se que a utilização desse material no Brasil para as estruturas metálicas ainda não está difundida e seu uso ainda recente se comparado a outros países, apesar de o Brasil estar entre os maiores produtores mundiais de aço.

Os materiais utilizados para este comparativo térmico foram: placa cimentícia, placa *OSB* e placa de concreto celular. Este último faz parte da linha de concretos leves, que são conhecidos pelo seu baixo peso específico. Ele possui consumo reduzido de cimento, que é um fator positivo pois este é feito a partir de matérias primas extraídas de rocha calcária ou argila, que são extraídas das minas por meio de detonações, sendo assim, o concreto celular gera menos impacto ao meio ambiente.

Segundo a Celucon (2020), devido à baixa energia necessária para a sua fabricação e a grande expansão volumétrica em relação ao volume das matérias-primas que as compõe, o concreto celular autoclavado (CCA) consome muito menos recursos naturais, tornando-se ambientalmente eficiente. Em seu Caderno técnico também é informado que todo material de quebra é moído e reutilizado na formulação.

O trabalho foi dividido em 7 capítulos. A revisão bibliográfica do *LSF*, do concreto celular e das normas de desempenho térmico foram feitas nos capítulos 3, 4 e 5, respectivamente. As composições para vedações externas com todos elementos dos revestimentos e as análises das propriedades térmicas foram feitas no capítulo 6 e no capítulo 7 a conclusão obtida deste trabalho.

2. DIRETRIZES DA PESQUISA

2.1 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo deste trabalho é fazer um comparativo do comportamento térmico de diferentes composições para os painéis de vedação para uma edificação construída em *Light Steel Framing*. Foram utilizados três diferentes materiais para a composição da vedação externa dos painéis: placa cimentícia, placa *OSB* e placa de concreto celular, com a finalidade de verificar a eficiência de cada composição.

Como objetivo secundário deste trabalho, verificou-se a possibilidade de emprego das placas de concreto celular como vedação dos painéis do *Light Steel Framing*, considerando o comportamento térmico deste material.

2.2 DELIMITAÇÕES

Neste trabalho é proposta a comparação do comportamento térmico de três materiais em uma edificação de *Light Steel Framing* localizada da região de Porto Alegre. Para esta comparação foram utilizados os cálculos presentes na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b).

2.3 LIMITAÇÕES

O trabalho limitou-se a realizar a análise do Procedimento 1 – Simplificado (normativo) que está descrito na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a). Não foi realizado o Procedimento 2 – Medição presente nessa mesma norma e nem a avaliação através de simulação computacional, pois a simulação compreende a avaliação do ambiente como um todo e, como este trabalho tem por objetivo apenas a análise do comportamento térmico dos materiais de vedação de paredes externas, esta última parte não se fez necessária.

Na definição dos materiais que compõe o painel de vedação, foi realizado o estudo estrutural para avaliar o dimensionamento dos perfis metálicos que compõe o painel do *LSF*.

2.4 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado conforme as seguintes etapas:

- a) revisão bibliográfica sobre o material concreto celular, sobre o sistema construtivo *Light Steel Framing* e sobre as definições de desempenho térmico;
- b) escolha das composições das vedações externas, definindo suas características e suas propriedades térmicas;
- c) definição dos parâmetros térmicos a serem analisados na avaliação do desempenho;
- d) cálculo dos parâmetros de desempenho
- e) análise dos resultados;
- f) considerações finais.

3. *LIGHT STEEL FRAMING*

A definição em português do nome *Light Steel Framing* é de “*Light*” = leve, “*Steel*” = aço e *Framing* que deriva da palavra *Frame* = esqueleto. Portanto é uma estrutura (esqueleto) de aço leve, por se tratar de perfis de aço formados a frio (SANTIAGO et al, 2012).

Mesmo sendo considerada uma tecnologia nova, a origem do *Light Steel Framing* remonta ao início do século XIX. Historicamente o uso de tal sistema se inicia com as habitações em madeira construídas pelos colonizadores no território americano naquela época. Devido ao grande crescimento populacional, fez-se necessário empregar métodos mais rápidos e produtivos na construção, utilizando os materiais disponíveis na região, no caso a madeira. Esse método consistia em uma estrutura composta de peças em madeira serrada de pequena seção transversal conhecido por *Balloon Framing*, segundo a ConsulSteel (2002 apud SANTIAGO et al, 2012). A partir daí, as construções em madeira, conhecidas por *Wood Framing*, tornaram-se a tipologia residencial mais comum nos Estados Unidos. Cem anos depois, em 1933, com o grande desenvolvimento da indústria do aço nos Estados Unidos, foi lançado na Feira Mundial de Chicago, o protótipo de uma residência em *Steel Framing* que utilizava perfis de aço substituindo a estrutura de madeira (FRECHETTE, 1999 apud CRASTO, 2005).

As siderúrgicas americanas começaram a disponibilizar aços com menores espessuras e maior resistência à corrosão, começando assim a tecnologia dos aços galvanizados. Esse fato possibilitou a troca lenta e gradual das estruturas de madeira por perfis de aço, segundo Jardim e Campos (2014).

Apesar do protótipo na Feira Mundial de Chicago ter sido construído no século XX, somente nas últimas décadas que o *LSF* ganhou espaço entre as construções americanas. Seu impulso ocorreu devido a grandes desastres que ocorreram naquele continente, como a passagem do furacão Andrew em agosto de 1992 pela costa leste americana e o terremoto de Northridge em janeiro de 1994, próximo a Los Angeles, conforme Campos (2014).

Após esses desastres, as Companhias Seguradoras sobretaxaram as obras em *Wood Framing* e subtaxaram o *Light Steel Framing*, dando amplo incentivo ao desenvolvimento e aplicação da tecnologia metálica (JARDIM e CAMPOS, 2014).

Apesar do *Steel Framing* ser um sistema construtivo bastante empregado em países onde a construção civil é predominantemente industrializada, no Brasil onde prevalece o método artesanal, ainda é pouco conhecido (CRASTO, 2005). Segundo a autora, no final da década de 90 no Brasil, com o setor cada vez mais favorável à introdução de novas tecnologias e alavancado pela aceitação do *Drywall* (paredes de gesso acartonado), algumas construtoras começaram a importar dos Estados Unidos kits pré-fabricados em *LSF* para a montagem de casas residenciais.

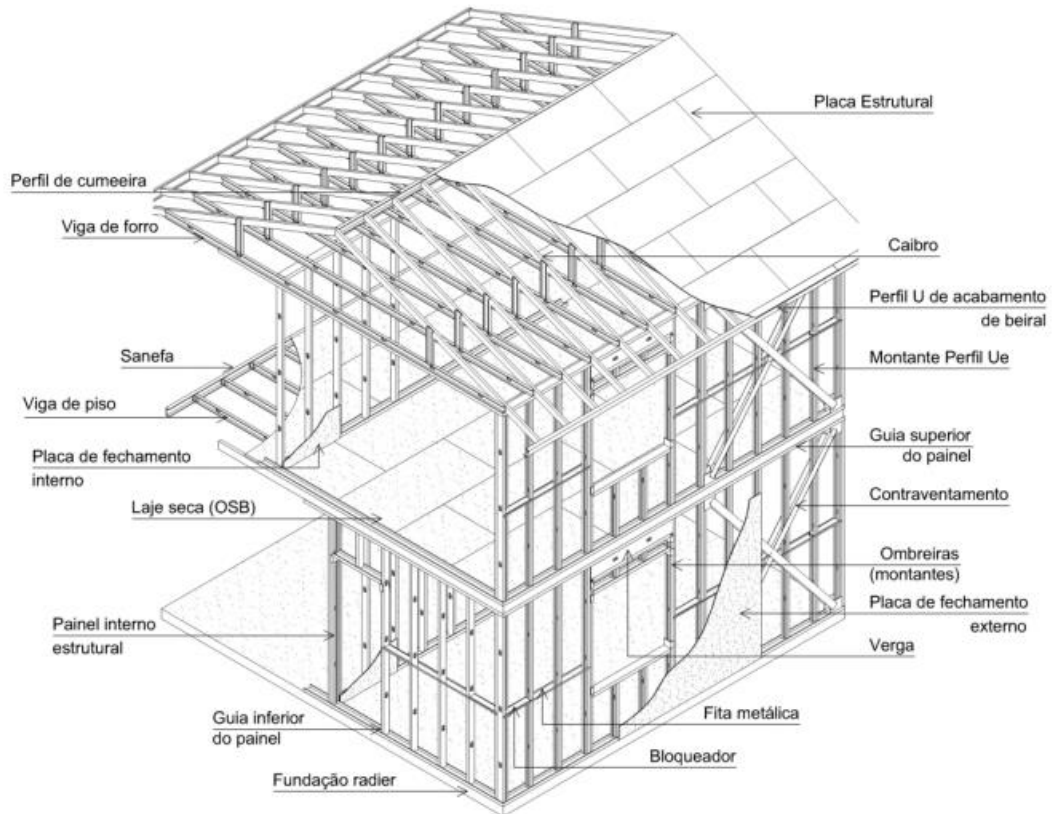
Conforme Santiago et al (2012), apesar de no Brasil a construção civil ainda ser predominantemente artesanal caracterizada pela baixa produtividade e principalmente pelo grande desperdício, o mercado tem sinalizado que esta situação deve ser alterada e que o uso de novas tecnologias é a melhor forma de permitir a industrialização e a racionalização dos processos.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Segundo Santiago et al (2012), o *Light Steel Framing* é conhecido por ser um sistema construtivo de concepção racional, que tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis de aço galvanizado. Ele também cita que por ser um sistema industrializado, possibilita ter-se uma construção do tipo seca e de rápida execução. Com isso, podemos chamar o sistema *LSF* de Sistema Autoportante de Construção a Seco. Conforme o mesmo autor, o *LSF* não se resume apenas a sua estrutura. Como um sistema destinado à construção de edificações, é composto por vários componentes e subsistemas, que são, além do estrutural, de fundação, de isolamento termoacústico, de fechamento interno e externo, e instalações elétricas e hidráulicas.

Basicamente, a estrutura em *Light Steel Framing* é composta de paredes, pisos e cobertura (Figura 1). Reunidos, eles possibilitam a integridade estrutural da edificação, resistindo aos esforços que solicitam a estrutura (CRASTO, 2005).

Figura 1 - Desenho esquemático de uma residência em *Light Steel Framing*



Fonte: (CRASTO, 2005)

As paredes que constituem a estrutura são denominadas de painéis estruturais ou autoportantes e são compostos por grande quantidade de perfis galvanizados muito leves denominados montantes, que são separados entre si de 400 ou 600 mm (SANTIAGO et al, 2012). Segundo o mesmo autor, a modulação otimiza os custos e mão-de-obra na medida que padronizam os componentes estruturais, os de fechamento e de revestimento. Ele explica que os fundamentos do sistema *LSF* são: a estrutura “painelizada”; a modulação (tanto em elementos estruturais como nos demais componentes de fechamentos e revestimentos) e a estrutura alinhada (*in-line framing*).

Santiago et al (2012) descrevem algumas das principais vantagens do *LSF*, sendo elas a facilidade na montagem, manuseio e transporte devido à leveza dos materiais; facilidade para instalações elétricas e hidráulicas; rapidez na construção devido ao canteiro se transformar em um local de montagem das edificações em *LSF*; possuir produtos padronizados pois os elementos construtivos são produzidos industrialmente e possuem controles rigorosos de

qualidade. Sendo assim, a construção em *LSF* possui baixas perdas na sua montagem e, devido a isso e aos materiais utilizados, é uma construção mais sustentável se comparado ao sistema tradicional de construção no Brasil.

3.2 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO

De acordo com Santiago et al (2012), há essencialmente três métodos de construção utilizando o *Light Steel Framing*:

a) Método *Stick*:

Os perfis são cortados no canteiro de obra e demais elementos como painéis, lajes, colunas, contraventamentos e tesouras dos telhados são montados no local. Esse tipo de construção pode ser utilizado em locais onde a pré-fabricação seria inviável, pois existe uma facilidade do transporte das peças separadamente até o canteiro. Apesar disso, há necessidade de ligar os elementos e, com isso, aumenta-se o número de atividades na obra.

b) Método por painéis:

Nesse método podem ser pré-fabricados fora do canteiro os painéis, contraventamentos, lajes e tesouras de telhados e depois montados no local. Com o intuito de ganhar velocidade de montagem, alguns materiais de fechamento podem ser aplicados na fábrica. Já os painéis e subsistemas são conectados na obra. Esse método tem por vantagem minimizar os trabalhos no local de instalação e uma maior precisão das dimensões das peças devido a montagem ser na fábrica.

c) Construção modular:

Ocorre quando as unidades são completamente pré-fabricadas, podendo até virem com todos os acabamentos internos, instalações e mobiliários.

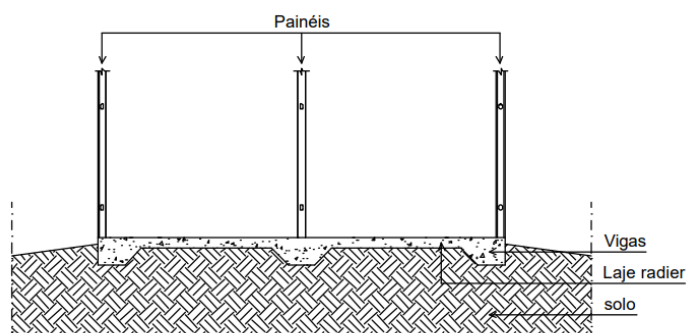
3.3 FUNDAÇÕES

Por possuírem uma estrutura leve, as construções em *Steel Framing* exigem pouco das fundações com relação às cargas. Apesar desse fator, a fundação deve ser do tipo contínua pois as cargas da estrutura são distribuídas ao longo dos painéis, logo, toda a extensão desses deve ser suportada pela fundação (SANTIAGO et al, 2012).

a) Laje Radier:

A laje Radier é um tipo de fundação rasa que funciona como laje (Figura 2), tendo suas cargas transmitidas da estrutura para o terreno. É a fundação mais utilizada para o *LSF*, sempre que o solo permitir. Os componentes estruturais fundamentais do radier são a laje contínua de concreto e as vigas no perímetro da laje e sob as paredes estruturais ou colunas e onde mais for necessário para fornecer rigidez no plano da fundação (CRASTO, 2005).

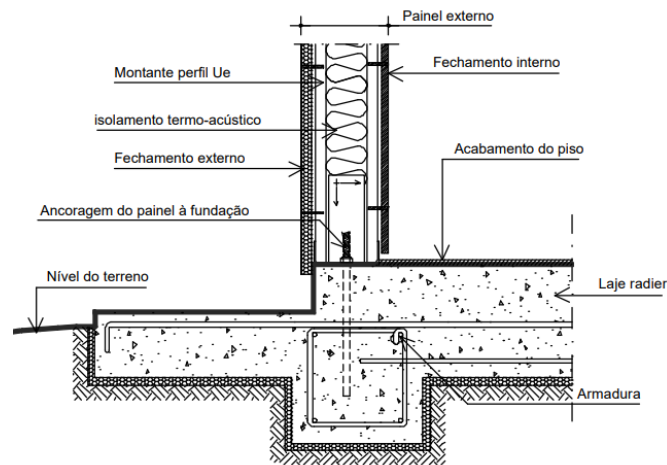
Figura 2 - Corte esquemático de uma laje Radier



Fonte: (CRASTO, 2005)

Para o dimensionamento dessa fundação, deve-se prever o nível do contrapiso a no mínimo 15 cm de altura do solo com a finalidade de evitar a umidade ou a infiltração de água na construção. Para o escoamento de água nas calçadas ao redor da construção deve-se possuir uma inclinação nesses locais de no mínimo 5% (SANTIAGO et al, 2012). Na Figura 3, está representado o detalhe da ancoragem do painel estrutural na laje radier.

Figura 3 - Detalhe esquemático de ancoragem de painel estrutural a uma laje radier

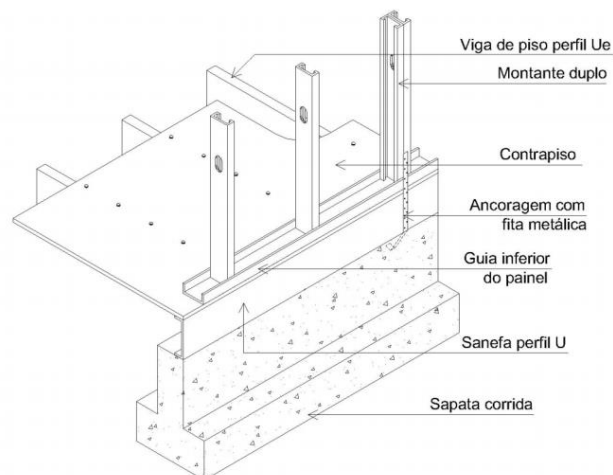


Fonte: (CRASTO, 2005)

b) Sapata Corrida:

Segundo CRASTO (2005), a sapata corrida é indicada para construções com paredes portantes, ou seja, a carga é distribuída continuamente ao longo das paredes. Os painéis estruturais são instalados sobre essas vigas que constituem a fundação e que podem ser em concreto armado, em blocos de concreto ou em alvenaria (Figura 4).

Figura 4 - Corte detalhado de fundação sapata corrida



Fonte: (CRASTO, 2005)

3.3.1 Fixação dos painéis na fundação

A fixação dos painéis na fundação serve para evitar os movimentos da edificação devido à pressão do vento, sendo eles a translação e o tombamento. Para isso, deve-se ancorar a estrutura na fundação, analisando a opção mais eficiente para cada caso, como explica Crasto (2005).

Os tipos de ancoragem mais utilizadas são:

- a) ancoragem química com barra rosca;
- b) ancoragem expansível com parabolts;
- c) ancoragem provisória.

3.4 PAINÉIS

Segundo Santiago et al (2012), os painéis podem não só compor as paredes de uma edificação, como também funcionar como o sistema estrutural da mesma. Os painéis com função de vedação exercem a mesma função que as paredes em construções convencionais. Eles podem ser estruturais ou autoportantes, sendo esse último quando eles compõem a estrutura suportando a carga da edificação. Também podem ser internos ou externos.

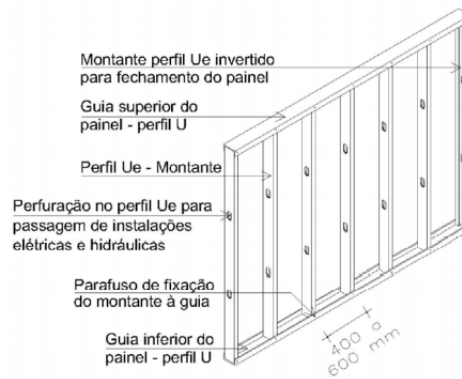
3.4.1 Painéis estruturais ou autoportantes

Segundo Crasto (2005), os painéis estruturais estão sujeitos a cargas horizontais de vento ou de abalos sísmicos, assim como a cargas verticais praticadas por pisos, telhados e outros painéis. São cargas originadas do peso próprio da estrutura e de componentes construtivos e da sobrecarga devido à utilização. Sendo assim, a função desse tipo de painéis é absorver esses esforços e transmiti-los à fundação.

Os perfis verticais de seção Ue são denominados montantes, eles são unidos na parte inferior e superior por guias (horizontais) de seção U, conforme a Figura 5, formando um quadro estrutural. Eles geralmente são ligados através de parafusos galvanizados do tipo autoperfurantes ou auto atarraxantes. A distância entre os montantes é geralmente de 400 ou

600 mm, sendo determinada pelas solicitações que cada perfil será submetido, conforme Santiago et al (2012). Segundo os mesmos autores, o conceito de estrutura alinhada que o *LSF* possui se deve ao fato de os montantes transferirem as cargas verticais pelo contato direto das almas, pois suas seções coincidem de um nível para outro.

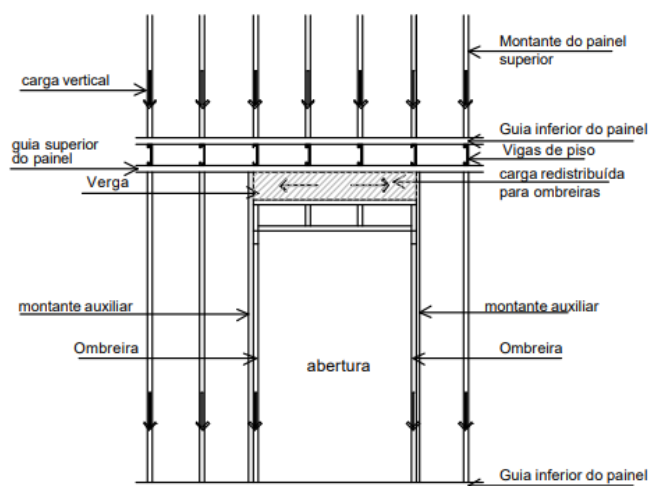
Figura 5 - Desenho esquemático de painel típico em *LSF* e seus componentes



Fonte: (CRASTO, 2005)

Conforme Crasto (2005), quando são executadas as aberturas (janelas e portas), é necessária a instalação de elementos estruturais como as vergas, para redistribuir o carregamento dos montantes interrompidos aos montantes que delimitam lateralmente o vão, denominados de ombreiras. Na Figura 6 pode-se observar essa redistribuição de cargas.

Figura 6 - Distribuição dos esforços através da verga para ombreiras



Fonte: (CRASTO, 2005)

Conforme Santiago (2008), os montantes não são capazes sozinhos de resistir aos esforços horizontais que solicitam a estrutura, como os do vento. Com o objetivo de evitar esta instabilidade da estrutura, as combinações mais utilizadas no *LSF* são:

- a) Uso de contraventamentos nos painéis, combinado ao diafragma rígido no plano de piso que atua transmitindo os esforços aos painéis contraventados:

É o método mais comum de estabilização da estrutura *LSF*. Consiste em um contraventamento em “X” que utiliza fitas de aço galvanizado fixadas na face do painel, cuja largura, espessura e localização é determinada pelo projeto estrutural.

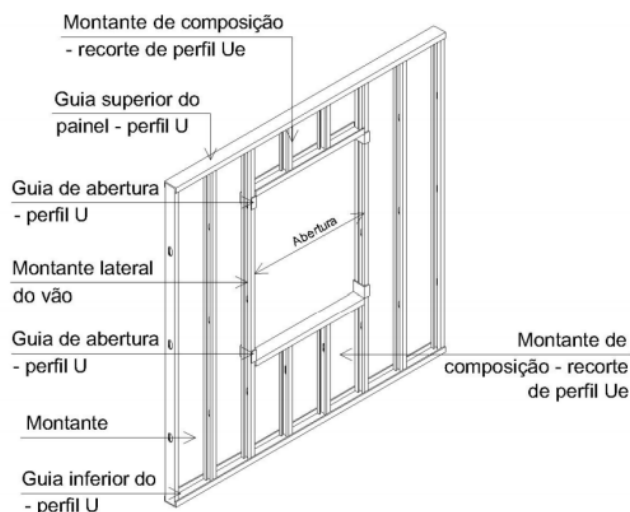
- b) Fechamento da estrutura com placas que funcionem como diafragmas rígidos no plano vertical (painéis):

É possível utilizar os materiais de fechamento externo dos painéis estruturais como parede diafragma (ou parede de cisalhamento). Esses materiais são placas estruturais capazes de fornecer um aumento da resistência ao painel, uma vez que absorvem as cargas laterais que solicitam a estrutura, que podem ser de vento ou até mesmo abalos sísmicos (Brockenbrought & Associates, 1998 apud CRASTO, 2005).

3.4.2 Painéis não estruturais

Esses painéis não irão suportar o peso da estrutura, apenas o seu próprio peso e de seus componentes. Possuem a função de fechamento externo e divisória interna nas edificações. Para este último caso, o mais utilizado é o sistema de gesso acartonado ou *Drywall*, onde as seções dos perfis de montantes e guias possuem menores espessuras e dimensões, segundo Crasto (2005). Sendo assim, quando há necessidade de aberturas na estrutura, a solução é bem mais simples do que a dos painéis estruturais devido a não necessidade desse modelo em suportar cargas da estrutura. Dessa forma, não são utilizadas vergas nem ombreiras, conforme Figura 7.

Figura 7 - Desenho esquemático de painel não-estrutural com abertura



Fonte: (CRASTO, 2005)

3.5 FECHAMENTO VERTICAL

O fechamento vertical do *LSF* deve possuir componentes constituídos por elementos leves, compatíveis com o conceito da estrutura dimensionada para suportar vedações de baixo peso próprio (SANTIAGO et al, 2012). É também importante para o sistema o emprego de vedações racionalizadas com a finalidade de promover maior grau de industrialização da construção. Segundo os autores, o *LSF* possui sua modulação estrutural já dimensionada para uma melhor otimização da utilização de chapas ou placas. Devido a isto, elas são dimensionadas com 1,2 m de largura na maioria dos casos, que é um valor múltiplo dos montantes que usualmente possuem de 400 a 600 mm, mas que visa sempre ter o menor número de juntas para minimizar custo e possíveis manifestações patológicas.

Vários materiais têm sido desenvolvidos para atender esses requisitos. Nos países que usam muito o *LSF*, pesquisas tem propiciado a evolução no uso de sistemas de maior desempenho térmico, devido ao clima e a necessidade de economizar energia.

Dentro da realidade construtiva nacional quanto à produção de materiais, mão de obra e custo, os tipos de vedação mais utilizados são o *OSB*, a placa cimentícia, gesso acartonado EIFS (*Exterior Insulation and Finish System*), *Siding Vinílico* e revestimento argamassado, sendo que este último pode ser complementado por uma camada de tinta. Alguns desses materiais

serão abordados a seguir. Também nas vedações são utilizados materiais na composição para melhorar conforto térmico, acústico e também promover estanqueidade à edificação.

3.5.1 Painéis de *OSB*

As placas de *OSB* (*Oriented Strand Board*), conforme apresentado na Figura 8, são fabricadas com tiras de madeiras orientadas, como a tradução literal já indica, que são unidas por uma resina e depois prensadas a uma temperatura bem elevada. São comercializadas nas dimensões de 1,22 m x 2,44 m, e podem possuir várias espessuras.

Figura 8 - Painel de *OSB*



Fonte: (Leroy Merlin, 2020)

Podem ser utilizadas como fechamento da face interna e externa dos painéis (Figura 9), para forros, pisos e como substrato para cobertura do telhado. Porém, devido a suas características, não deve ser exposto a intempéries, necessitando de um acabamento impermeável em áreas externas (CRASTO, 2005).

Suas propriedades de resistência mecânica, resistência a impactos e a boa estabilidade dimensional possibilitam seu uso estrutural trabalhando como diafragma rígido quando aplicado aos painéis estruturais de lajes e pisos (SANTIAGO et al, 2012). Conforme os mesmos autores, as placas devem ser protegidas externamente com uma manta ou membrana de polietileno de alta densidade. Essas mantas são grampeadas nas placas sendo sobrepostas de 15 a 30 cm. Também deve-se colocar uma fita seladora na base dos painéis para que estes não possuam contato direto com o solo.

Figura 9 - Fachada com fechamento externo em OSB



Fonte: (CRASTO, 2005)

3.5.2 Placas cimentícias

As placas cimentícias (Figura 10) podem ser utilizadas em áreas externas ou internas. São compostas por uma mistura homogênea de cimento Portland, agregados naturais e celulose, reforçada com fios sintéticos de polipropileno (BRASILIT, 2016).

Conforme o mesmo fornecedor, as placas têm baixo peso próprio quando comparadas às alvenarias tradicionais, o que facilita o transporte e manuseio. Suas dimensões comerciais possuem largura de 1,2 m, os comprimentos variam de 2 m, 2,4 m e 3 m e sua espessura pode ser 6 mm, 8 mm, 10 mm ou 12 mm. O tratamento das juntas varia com o resultado final especificado, porém elas podem ser aplicadas interna e externamente, e ser aparentes ou invisíveis. A Tabela 1 apresenta as principais aplicações das placas para cada espessura.

Tabela 1 - Relação entre espessura da placa cimentícia e aplicação

Espessura	Aplicações
6 mm	Divisórias leves, forros e dutos de ar-condicionado.
8 mm	Paredes internas em áreas secas e úmidas, revestimentos de paredes comuns ou em subsolos
10 mm	Utilizadas para áreas secas e úmidas, internas e externas. Ideais no fechamento externo em sistemas <i>steel</i> ou <i>wood framing</i> e isolamentos termoacústicos.
12 mm	Para uso interno na compatibilização com o <i>drywall</i> ou em fechamentos internos ou externos que necessitem de maior espessura por questões estéticas ou físicas específicas.

Fonte: (Adaptado Brasilit, 2016)

Figura 10 - Placa cimentícia



Fonte: (SAINT-GOBAIN, 2019)

3.5.3 Gesso acartonado

As placas de gesso acartonado são chapas fabricadas industrialmente mediante um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão, em que uma é virada sobre as bordas longitudinais e colada sobre a outra (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA *DRYWALL*, 2006). Segundo os autores, existem três tipos de chapa, conforme a Figura 11, sendo suas características geométricas as apresentadas na Figura 12.

Figura 11 - Tipos de chapa de gesso

Tipo	Código	Aplicação
Standard	ST	Para aplicação em áreas secas
Resistente à Umidade	RU	Para aplicação em áreas sujeitas à umidade por tempo limitado de forma intermitente
Resistente ao Fogo	RF	Para aplicação em áreas secas, necessitando de um maior desempenho em relação ao fogo

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA *DRYWALL*, 2006)

Figura 12 - Características geométricas das chapas de gesso

Característica geométrica			Tolerância	Limite
Espessura	9.5 mm		±0.5 mm	-
	12.5 mm			-
	15 mm			-
Largura			+0 / -4 mm	Máximo de 1200 mm
Comprimento			+0 / -5 mm	Máximo de 3600 mm
Esquadro			≤2.5 mm / m de largura	-
Rebaixo ⁽¹⁾	Largura	Mínimo	-	40 mm
		Máximo	-	80 mm
	Profundidade	Mínimo	-	0.6 mm
		Máximo	-	2.5 mm

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA *DRYWALL*, 2006)

O Sistema construtivo em chapas de gesso acartonado (*Drywall*) trata de uma tecnologia que substitui as vedações internas convencionais (paredes, forros e revestimentos) de edificações. O sistema é formado por uma estrutura de perfis de aço galvanizado, na qual são parafusadas chapas de gesso específicas para este sistema (DRYWALL, 2017).

Conforme explica Santiago et al (2012), os painéis internos quando não estruturais podem ser constituídos empregando o sistema *Drywall*, pois apenas suportam o peso dos fechamentos, revestimentos e possíveis peças a serem fixadas na sua estrutura (como armários). Sendo assim, a mesma técnica utilizada na montagem e fixação das chapas de gesso acartonado nos perfis galvanizados do sistema *Drywall* é empregada no fechamento dos painéis estruturais e não-estruturais do sistema *LSF*.

3.5.4 Isolamento termoacústico

Os princípios do isolamento termoacústico no *LSF* baseiam-se em conceitos mais atuais de isolamento multicamada, que consiste em combinar placas leves de fechamento afastadas, formando espaços entre os mesmos, preenchido por material isolante (SANTIAGO et al, 2012). Os autores também comentam que podem ser feitas diversas combinações a fim de aumentar o desempenho do sistema como, por exemplo, colocando-se mais camadas de placas (como a XPS (*Extruded Polystyrene*)) ou aumentando a espessura dos isolantes (lã mineral ou lã de vidro). Os materiais como a lã de vidro e a chapa XPS são os mais utilizados para o sistema *LSF* atualmente.

3.5.5 Lã de vidro

Segundo a SAINT-GOBAIN (2019), a lã de vidro possui um bom custo-benefício para o fornecimento de isolamento térmico e acústico e pode ser utilizada em paredes de alvenaria ou estruturas metálicas. Ela é feita de vidro, como o próprio nome já indica, que é aquecido até se fundir e tornar-se um filamento tão fino quanto uma linha. A Figura 13 mostra como fica a sua aplicação em divisórias internas.

Figura 13 - Instalação de lã de vidro



Fonte: (SAINT-GOBAIN, 2019)

3.5.6 Chapa XPS

Outro elemento utilizando como isolante é o XPS – *Extruded Polystyrene* (Figura 14). Conforme a DAKRON (2020), este material é uma espuma rígida de poliestireno extrudado com estrutura celular fechada e homogênea. O fato de ser extrudado lhe confere melhores características de isolamento térmico e acústico. Na Figura 15 pode-se observar a instalação de placas *OSB* e em seguida as chapas XPS (rosa) em uma edificação em *Light Steel Framing*.

Figura 14 - Chapa de XPS



Fonte: (DAKRON, 2020)

Figura 15 - Aplicação de chapas OSB e XPS



Fonte: (MADRUGA, 2015)

3.5.7 Membrana hidrófuga

Segundo BRASILIT (2016), a membrana feita de polietileno de alta densidade tem a função de evitar tanto a entrada de água quanto a de vento pelo lado externo, o que torna a parede estanque, porém com a capacidade de “respirar”. Na Figura 16 está representada a instalação dessa membrana em uma edificação em *LSF*.

Figura 16 - Membrana hidrófuga



Fonte: (SAINT GOBAIN, 2016)

3.6 COBERTURAS

O *LSF*, por ser um sistema muito versátil, possibilita a realização de diversos tipos de coberturas. Conforme Cardão (1964 apud Santiago et al, 2012), os telhados inclinados além de protegerem contra intempéries funcionam como reguladores térmicos devido à camada de ar entre a cobertura e o forro.

Segundo Santiago (2008), são utilizados os mesmos perfis de aço galvanizado do restante da edificação em *LSF*, podendo conformar treliças, coberturas planas ou tesouras. Dependendo do material escolhido para a cobertura, pode haver um substrato, geralmente de *OSB*, entre os perfis da estrutura e as telhas.

As coberturas do tipo planas são menos comuns. A sua inclinação é feita a partir da variação da espessura do contrapiso sobre a laje de concreto para obter-se a inclinação desejada. Já as estruturas das coberturas inclinadas são semelhantes às de um telhado convencional e para possibilitar o princípio de estrutura alinhada, a alma dos perfis que compõem tesouras ou caibros deve estar alinhada a alma dos montantes dos painéis de apoio e suas seções em coincidência de modo que a transmissão das cargas seja axial, segundo Santiago et al (2012).

Conforme a maioria das referências encontradas e pesquisas de mercado, existem dois tipos de telhas mais utilizadas para as construções em *LSF* que são: a telha *Shingle* (ou telha asfáltica)

e a telha sanduíche. Elas possuem características em comum, como a leveza, que combinam com o restante do sistema construtivo.

3.6.1 Telhas *Shingle* ou telha asfáltica

Segundo a Brasilit (2019), uma das fabricantes desse material, a telha *Shingle* é composta por uma manta asfáltica reforçada de fibra de vidro, revestidas com grãos minerais coloridos, o que gera uma estética diferenciada para as edificações. Ela pode ser utilizada em qualquer tipo de telhado e com estruturas mais leves que as convencionais, propriedade que se encaixa no sistema *LSF*. Também possui a grande durabilidade, resistência e versatilidade (Figura 17).

Figura 17 - Telha *Shingle*



Fonte: (BRASILIT, 2019)

3.6.2 Telha sanduíche

Também conhecidas por telha termoacústica, a telha sanduíche é composta por duas telhas metálicas (alumínio ou aço) e material isolante (EPS – *Expanded Polystyrene*, PU – Poliuretano ou PIR – Poliisocianurato). É possível encontrá-la em diferentes cores, modelos e tipos de acabamento, possibilitando assim versatilidade à obra (Figura 18). Possui baixo peso estrutural, ótimo desempenho térmico e acústico, são duráveis e podem ser executados rapidamente, conforme Termovale (2019).

Figura 18 - Telha sanduíche



Fonte: (TERMOVALE, 2019)

4. CONCRETO CELULAR

O concreto aerado é um material originário dos países escandinavos (Suécia e Dinamarca), tendo sido desenvolvido primeiramente na Suécia, em 1924. A principal característica deste material, que é a sua boa isolamento térmica, se adequa plenamente ao clima existente na região, justificando sua origem (MOTA, 2001).

Utiliza-se usualmente a designação de concreto celular ou concreto leve para identificar concretos com estrutura porosa, geralmente à base de ligantes hidráulicos, com massa específica inferior a dos concretos tradicionais, que podem ser obtidos mediante o emprego de agregados leves e incorporação de ar (MELO, 2009).

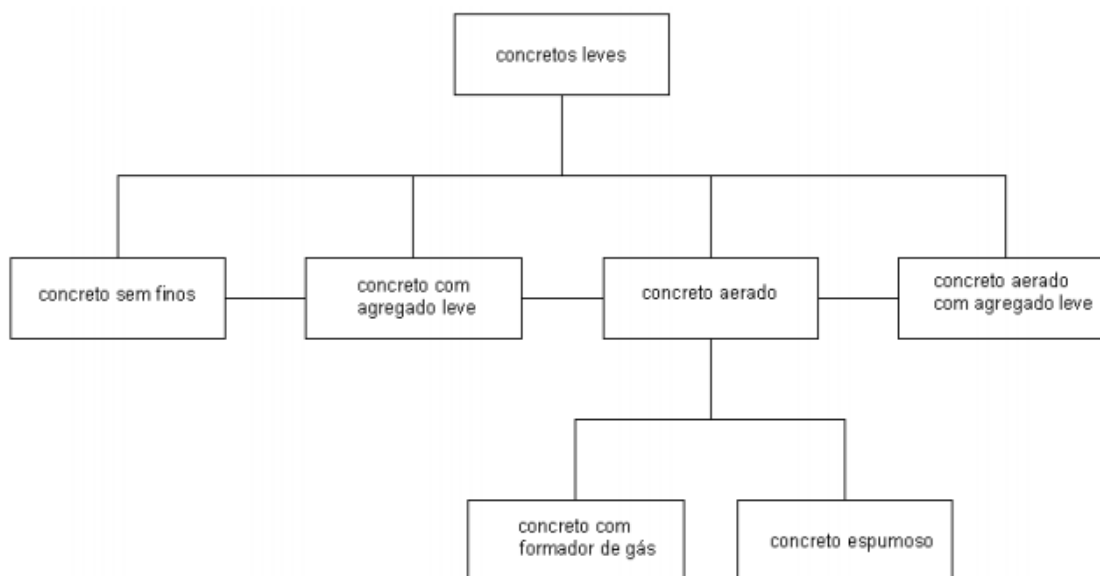
Conforme Désir (2020), os materiais base para o concreto celular são areia, cal e cimento, que são combinados em proporções específicas. A essa mistura adiciona-se água e uma pequena quantidade de pó de alumínio cuja função é levantar a mistura. Esta pasta descansa depois em moldes preenchidos parcialmente para permitir o seu crescimento. O pó de alumínio libera o hidrogênio que forma pequenas células cheias deste gás, resultando então em um material sólido, leve e termicamente muito isolante. Após a desmoldagem, a pasta endurecida é cortada de acordo com o tipo de produto desejado.

4.1 TIPOS DE CONCRETO CELULAR

MOTA (2001) apresenta definições para os tipos de concretos leves classificados pela CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION (1970). Segundo ela, o concreto sem finos é constituído por cimento, agregado graúdo e água, não possuindo o agregado miúdo e, assim, possuindo uma certa porosidade. Já o concreto com agregado leve é constituído por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo leve e água. Este possui baixa massa específica devido aos vazios existentes no agregado graúdo leve. O concreto aerado é formado por agregado miúdo, aglomerantes, água e agentes responsáveis pela inclusão de poros na argamassa e eles são diferenciados entre concreto com formador de gás (onde um produto químico é o agente formador de poros através da formação de gases) e concreto espumoso (onde uma mistura de espuma ou produto químico é inserida através de agitação mecânica). E, por último, temos o

concreto aerado com agregado leve, que tem a estrutura semelhante ao do concreto aerado, mas possui adição de agregados leves. Na Figura 19 pode-se observar essas subdivisões do concreto leve.

Figura 19 - Classificação geral dos concretos leves



Fonte: (CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION, 1970 apud MOTA, 2001)

A partir dessas definições, pode-se observar que segundo a CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION (1970) o concreto aerado com formador de gás refere-se ao concreto celular autoclavado.

4.2 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO

Segundo a NBR 13438 (ABNT, 2013) o concreto celular autoclavado (CCA) é definido como:

Concreto leve, obtido através de um processo industrial, constituído por materiais calcários (cimento, cal ou ambos) e materiais ricos em sílica, granulados finamente. Esta mistura é expandida através da utilização de produtos formadores de gases, água e aditivos, se for o caso, sendo submetidos à pressão e temperatura através de vapor saturado. O concreto celular autoclavado contém células fechadas, aeradas e uniformemente distribuídas.

Segundo a definição da Celucon (2020), o CCA (Concreto Celular Autoclavado) é um material de construção ecológica pré-moldado que é produzido através da mistura de água,

areia, cal, cimento, gesso e alumínio, formando um concreto resistente e leve. Sua resistência é proveniente da cristalização da tobermorita, uma molécula, que uma vez criada, não pode se decompor fisicamente através do calor, podridão, corrosão ou outro processo químico.

Segundo Jacóe e Rodrigues (2014), a cura do concreto celular é realizada em autoclave e sob essa condição a estrutura cristalina chamada tobermorita é formada, a qual é responsável pela resistência mecânica do CCA. A autoclavagem é o processo que utiliza vapor de alta pressão e alta temperatura, por volta de 184 °C e 1 MPa.

Conforme a Celucon (2020), a utilização do concreto celular autoclavado possui algumas vantagens, sendo algumas delas:

a) estanque: devido à sua composição de células fechadas distribuídas uniformemente na estrutura, o CCA possui alta resistência à absorção de umidade;

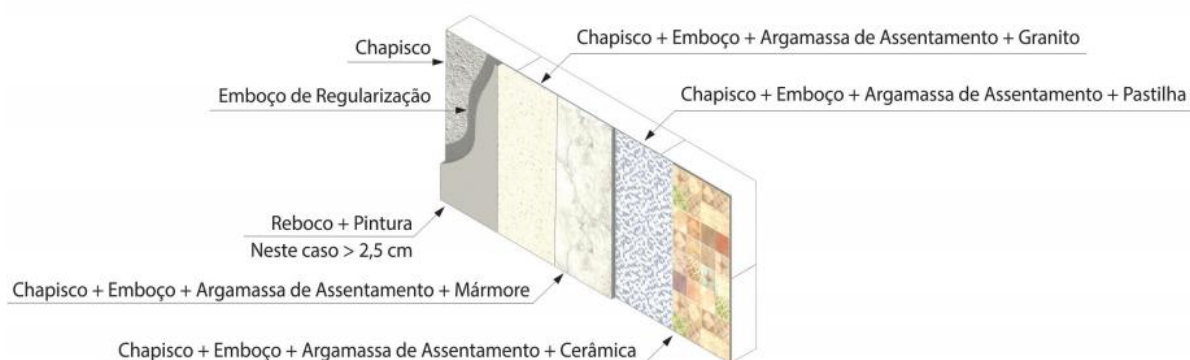
b) corta-fogo: por ser um bom isolante térmico, incombustível, não inflamável e estanque à fumaça, o CCA é uma simples e boa solução corta-fogo;

c) sustentável: devido à baixa energia necessária para a sua fabricação e a grande expansão volumétrica em relação ao volume das matérias-primas que as compõe, o CCA consome muito menos recursos naturais, tornando-se ambientalmente eficiente;

d) isolante térmico: devido à baixa condutividade térmica e às células de ar fechadas, o CCA é um bom isolante térmico, proporcionando ambientes confortáveis e equilibrados em todas as estações do ano, reduzindo custos com refrigeração e aquecimento.

A Figura 20 representa como pode ser feito o revestimento externo das paredes utilizando o CCA. De maneira semelhante à alvenaria de blocos cerâmicos, temos o chapisco, o emboço para a regularização e por cima pode ser feito reboco e pintura ou colocada a argamassa de assentamento mais o revestimento escolhido (granito, cerâmica, pastilha, entre outros).

Figura 20 - Revestimento externo do CCA



Fonte: (CELUCON, 2020)

4.2.1 Bloco de concreto celular autoclavado

Dentre os produtos de concreto celular autoclavado, o bloco é o mais utilizado na construção. Segundo a NBR 13438 (ABNT, 2013), os blocos de CCA são classificados através de seus valores de resistência à compressão e densidade aparente seca.

Segundo Mota (2001), a densidade é a principal característica dos blocos de concreto celular autoclavado, pois influencia a maior parte de suas propriedades, principalmente a resistência à compressão e a condutibilidade térmica. Essa última característica tende a aumentar com a redução da densidade.

O bloco de concreto autoclavado serve tanto para alvenaria interna ou externa, de divisão, de vedação ou estrutural. Em todos os casos oferece as mesmas características no que diz respeito a isolamento térmico, resistência ao fogo e isolamento acústico. Essas características são diretamente proporcionais ao peso específico e à espessura (DÉSIR, 2020). Segundo o mesmo autor, esse material é inovador no campo da construção civil, possuindo um bom desempenho e um leque grande de elementos que permitem simplificar o processo relativo ao projeto em si, sendo flexível para permitir a criatividade do arquiteto e proporcionar economia sem sacrificar qualidade. Na Figura 21 está apresentado uma alvenaria com blocos de concreto celular.

Figura 21 - Alvenaria com blocos de concreto celular



Fonte: (Celucon, 2020)

4.3 PLACA DE CONCRETO CELULAR

As placas de concreto celular já não são um produto tão comum no Brasil. Ainda não há norma específica para a sua determinação e especificações. Os dados encontrados foram apenas através de fábricas de concreto celular. Na Figura 22 estão representadas as dimensões disponíveis pela Celucon (2020). A empresa possui painéis nas espessuras de 75 mm, 100 mm, 125 mm e 150 mm até o momento, mas entrando em contato com eles foi informado da possibilidade da fabricação de painéis com espessuras menores.

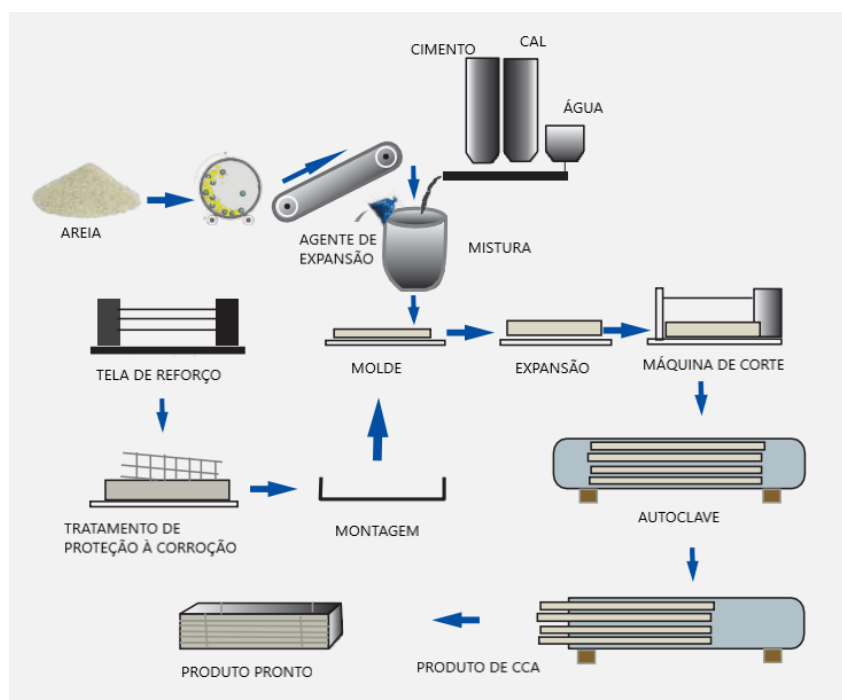
Figura 22 - Características painéis concreto celular

Dimensões AxBxC (mm)	Peças (m ²)	Peças (m ³)	m ² /m ³	Peso por peça (kg)	Peças por palete
					Palete 1,00 x 1,20 (peças em pé) Padrão
75x600x600	2,77	37,03	13,36	12,96	64
75x600x1200	1,38	18,51	13,41	25,92	32
100x600x600	2,77	27,77	10,02	17,28	48
100x600x1200	1,38	13,88	10,05	34,56	24
125x600x600	2,77	22,22	8,02	21,60	36
125x600x1200	1,38	11,11	8,05	43,20	18
150x600x600	2,77	18,52	6,69	25,92	32
150x500x1200	1,38	9,26	6,71	51,84	16

Fonte: (Celucon, 2020)

Na Figura 23 encontra-se a representação de como é feito o processo de produção de placas de CCA da empresa CHAD (2018), onde são utilizadas armaduras para reforçar as placas, que são utilizadas tanto para paredes quanto para pisos. Conforme o manual técnico, a empresa fabrica painéis de vedação nas espessuras de 50 mm, 75 mm e 100mm.

Figura 23 - Processo de produção do CCA



Fonte: (Adaptado de CHAD, 2018)

5. NORMAS DE DESEMPENHO

Para a realização deste trabalho foram utilizadas duas normas de desempenho: a NBR 15575: Edificações Habitacionais (ABNT, 2013) e a NBR 15220: Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005).

5.1 NBR 15575: EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS

Essa norma da ABNT sob o título de “Edificações habitacionais – Desempenho” foi publicada em 2008 e depois revisada em 2013. Ela estabelece os critérios de avaliação de desempenho e recomendações para as habitações e é dividida em 6 partes. Este trabalho aborda duas partes, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) que apresenta os requisitos gerais e a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) que trata sobre os requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE).

A norma de desempenho traz para o desenvolvimento dos empreendimentos residenciais preocupações com a expectativa de vida útil, o desempenho, a eficiência, a sustentabilidade e a manutenção dessas edificações, em resumo, insere o fator qualidade ao edifício entregue aos usuários (GUIA PARA ARQUITETOS NA APLICAÇÃO DA NORMA DE DESEMPENHO, 2015)

5.1.1 NBR 15575-1: Requisitos gerais (ABNT, 2013a)

Nesta parte são apresentados os requisitos dos usuários para os sistemas, que serão utilizados como referência para o estabelecimento dos requisitos e critérios de desempenho desta norma, são eles:

Segurança:

- estrutural;
- contra o fogo;
- uso e operação.

Habitabilidade:

- estanqueidade;
- desempenho térmico;
- desempenho acústico;
- desempenho lumínico;
- saúde, higiene e qualidade do ar;
- funcionalidade e acessibilidade;
- conforto tátil e antropodinâmico.

Sustentabilidade:

- durabilidade;
- manutenibilidade;
- impacto ambiental.

Esta norma também apresenta algumas definições importantes para este trabalho, sendo elas:

- a) agente de degradação: tudo aquilo que agindo sobre um sistema contribui para reduzir seu desempenho;
- b) absorvância à radiação solar: quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície conforme NBR 15220-1 (ABNT, 2005a);
- c) capacidade térmica: quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema em $\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ calculada conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005b);
- d) desempenho: comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas;
- e) transmitância térmica: transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo; neste caso, dos vidros e dos componentes opacos das paredes externas e coberturas, incluindo as resistências

superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. A transmitância térmica é calculada utilizando o método de cálculo da NBR 15220-2 (ABNT, 2005b).

Sobre os requisitos de desempenho citados anteriormente, cabe ressaltar neste trabalho dois deles: estanqueidade e desempenho térmico.

O primeiro é relacionado à estanqueidade a fontes de umidade externas à edificação. Este item é importante para a análise do trabalho pois deve-se ter cuidado na escolha das vedações externas de uma edificação e seus revestimentos, analisando suas propriedades e reações quando em contato com a água e seus possíveis métodos de impermeabilização.

A umidade acelera os mecanismos de deterioração de uma edificação, podendo acarretar perdas na edificação. Sendo assim, é importante a consideração em projeto da exposição à água que os sistemas estão sujeitos. Na norma são descritos dois requisitos que devem ser assegurados: estanqueidade a fontes de umidade externas à edificação e estanqueidade a fontes de umidade internas à edificação.

O segundo requisito, e que possui fundamental relação com o trabalho apresentado, é o de desempenho térmico. Conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a): “A edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na NBR 15220-3 (ABNT, 2005c).”

Nesta parte da NBR 15575-1 é estabelecido um procedimento normativo apresentado a seguir, com um procedimento informativo presente no anexo da norma para avaliação da adequação de habitações.

- a) Procedimento 1 – Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) e NBR 15575-5 (ABNT, 2013d).

É informado que se depois de avaliadas a transmitância térmica e a capacidade térmica conforme os métodos das normas citadas acima, se estas resultarem em desempenho térmico insatisfatório, deve-se avaliar tal desempenho como um todo através do método da simulação computacional.

- b) Procedimento 2 – Medição (informativo, Anexo A): atendimento aos requisitos da norma através de realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Método de caráter apenas informativo, não sobrepondo o Procedimento 1.

No método da simulação computacional, a habitação deve ser considerada como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica. Para a composição desses materiais deve-se utilizar os dados das propriedades térmicas obtidos em laboratório, conforme os métodos apresentados na Tabela 2 e na ausência deles, é permitido usar os dados disponibilizados pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005b).

Tabela 2 - Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos

Propriedade	Determinação
Condutividade térmica	ASTM C 518 ou ASTM C 177 ou ISO 8302
Calor específico	Medição ASTM C 351 – 92b
Densidade de massa aparente	1.1 Medição conforme método de ensaio preferencialmente normalizado, específico para o material
Emissividade	Medição JIS A 1423/ ASTM C1371 - 04a
Absortância à radiação solar	Medição ANSI/ASHRAE 74/88 ASTM E1918-06, ASTM E903-96
Resistência ou transmitância térmica de elementos	Medição conforme ABNT NBR 6488 ou cálculo conforme ABNT NBR 15220-2, tomando-se por base valores de condutividade térmica medidos ASTM E903-96
Características fotoenergética (vidros)	EN 410 – 1998/ EN 12898

Fonte: (ABNT, 2013a)

5.1.2 NBR 15575-4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE (ABNT, 2013b)

Nesta parte cabe destacar os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico dos SVVIE. São apresentados os valores para cada zona bioclimática do Brasil.

5.1.2.1 Adequação de paredes externas:

As paredes externas devem apresentar transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem pelo menos desempenho térmico mínimo estabelecido no item 11.2.1 da NBR 15575-4.

- a) transmitância térmica de paredes externas: os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Transmitância térmica de paredes externas

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

Fonte: (ABNT, 2013b)

- b) capacidade térmica de paredes externas: os valores máximos admissíveis para a capacidade térmica (C_T) das paredes externas estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Capacidade térmica de paredes externas

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

Fonte: (ABNT, 2013b)

Segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2013c), no caso de paredes que tenham na sua composição materiais isolantes térmicos de condutividade térmica menor ou igual a 0,065 W/(m.K) e resistência térmica maior que 0,5 (m².K)/W, o cálculo da capacidade térmica deve ser feito desprezando-se todos os materiais voltados para o ambiente externo, posicionados a partir do isolante ou espaço de ar.

5.2 NBR 15220: DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

A NBR 15220 sob o título geral “Desempenho térmico de edificações” foi publicada em 2005 e está dividida em 5 partes. Neste trabalho serão abordadas três delas: a Parte 1: Definições, símbolos e unidades; a Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da

capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações; e a Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

5.2.1 NBR 15.220-1: definições símbolos e unidades (ABNT, 2005a)

Essa primeira parte da norma estabelece as definições das propriedades térmicas relacionadas com o desempenho que serão abordadas nas demais partes da NBR 15220. Alguns conceitos importantes para este projeto estão listados a seguir:

- a) conforto térmico: satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente;
- b) φ : atraso térmico: tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor;
- c) FS0: fator solar de elementos opacos;
- d) c: calor específico ou capacidade térmica específica: quociente da capacidade térmica pela massa
- e) e: espessura de uma camada;
- f) λ : condutividade térmica do material: propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro quadrado;
- g) C: capacidade térmica: quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema;
- h) C_t : capacidade térmica de componentes: quociente da capacidade térmica de um componente pela sua área;
- i) ρ : densidade de massa aparente: quociente da massa pelo volume aparente de um corpo;

- j) ε : emissividade: quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura;
- k) R_t : resistência térmica total: somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.

5.2.2 NBR 15.220-2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações (ABNT, 2005b)

Esta parte da norma teve sua versão corrigida em 2008. Nela são apresentadas fórmulas básicas para algumas propriedades:

- a) resistência térmica de uma camada homogênea ($(m^2.K)/W$): esses valores são obtidos através de ensaios, porém, na ausência deles, pode-se medir através da expressão 1.

$$R = e/\lambda \quad (1)$$

Onde:

R é a resistência térmica de uma camada homogênea

e é a espessura da camada;

λ é a condutividade térmica do material.

- b) resistência térmica de um componente de ambiente a ambiente: é a soma das resistências térmicas de 'n' camadas homogêneas com as 'n' camadas de ar, mais as resistências superficiais externa e interna, conforme a expressão 2.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (2)$$

Onde:

R_T é a resistência térmica de um componente de ambiente a ambiente

R_{se} é a resistência superficial externa

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície

R_{si} é a resistência superficial interna

- c) transmitância térmica de um componente ($W/(m^2.K)$): é o inverso da resistência térmica total, sendo calculado pela expressão 3:

$$U = 1/R_T \quad (3)$$

Onde:

U é a transmitância térmica de um componente

R_T é a resistência térmica total.

- d) capacidade térmica de um componente com camadas homogêneas ($kJ/(m^2.K)$): calculada através da expressão 4.

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (4)$$

Onde:

C_T é a capacidade térmica de um componente

λ_i é a condutividade térmica do material da camada i^a ;

R_i é a resistência térmica da camada i^a ;

e_i é a espessura da camada i^a ;

c_i é o calor específico do material da camada i^a ;

ρ_i é a densidade de massa aparente do material da camada i^a .

Para componentes com câmaras de ar, como o ar apresenta uma densidade de massa aparente muito baixa ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$), a sua capacidade térmica, em componentes com câmaras de ar, pode ser desprezada.

- e) atraso térmico de um componente heterogêneo: para o cálculo de atraso térmico de um componente formado por diferentes materiais superpostos em 'n' camadas paralelas às

faces (perpendiculares ao fluxo de calor), o atraso térmico varia conforme a ordem das camadas, segundo explica a NBR 15220-2. Seu cálculo é feito através da expressão 5.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (5)$$

Onde:

φ é o atraso térmico

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície do componente;

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}}$$

Onde:

C_T é a capacidade térmica total do componente;

$C_{T_{ext}}$ é a capacidade térmica da camada externa do componente;

NOTAS:

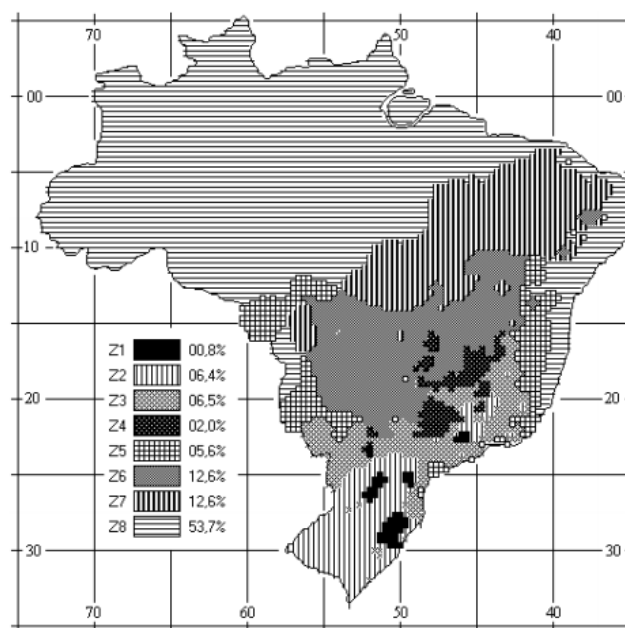
- 1) Nas equações acima, o índice “ext” se refere à última camada do componente, junto à face externa
- 2) Considerar B_2 nulo caso seja negativo

5.2.3 NBR 15220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005c)

Esta parte da NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de

projeto. Nela, é proposta a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, a partir disto, formuladas recomendações que otimizem o desempenho térmico de edificações para cada zona. Na Figura 24 está representado o zoneamento bioclimático brasileiro.

Figura 24 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: (ABNT, 2005c)

A cidade de Porto Alegre/RS, local onde as vedações deste trabalho foram analisadas, encontra-se na zona bioclimática 3 do mapa. Esse dado foi utilizado para saber os valores dos requisitos mínimos na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) dos sistemas de vedações.

Foram considerados parâmetros e condições de contorno para a formulação das diretrizes construtivas de cada zona bioclimática, são eles:

- a) Tamanho das aberturas para ventilação;
- b) Proteção das aberturas;
- c) Vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura);
- d) Estratégias de condicionamento térmico passivo.

Para as vedações externas é apresentado como diretriz construtiva a Tabela 5.

Tabela 5 - Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 3

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve isolada

Fonte: (ABNT, 2005c)

6. COMPARAÇÃO TÉRMICA DOS PAINÉIS DE VEDAÇÃO *LSF* COMPOSTO POR DIFERENTES MATERIAIS

6.1 METODOLOGIA

A avaliação do desempenho térmico consiste em verificar as condições ideais para o conforto do usuário. Para os cálculos foi utilizada como base a NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b), conforme fórmulas apresentadas anteriormente (item 5.2). Foram retiradas da tabela B3 da norma as propriedades térmicas dos materiais como densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico. Essas propriedades também foram buscadas em catálogos de fornecedores para os materiais que não constam na norma.

As propriedades avaliadas foram: transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico. Para o desenvolvimento desta avaliação foi considerado o procedimento 1 (Simplificado), que avalia o desempenho térmico, conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a). Os parâmetros mínimos para as vedações externas são apresentados na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

6.2 COMPOSIÇÃO DAS PAREDES DO SISTEMA

Para a análise térmica das vedações externas, foram comparadas 10 diferentes composições de paredes, variando entre três materiais principais para a camada externa, sendo eles a placa cimentícia, a placa *OSB* e a placa de concreto celular. Os modelos de 1 a 6 foram escolhidos com base em pesquisa de mercado para saber o que estava sendo utilizado e em revisão bibliográfica. Já os modelos de 7 a 10 foram adaptações feitas para testar uma possível solução às composições de *LSF* com o uso de placas de concreto celular.

As camadas para os 10 tipos de vedações externas utilizadas nos cálculos de desempenho estão apresentadas nos Quadros 1, 2 e 3, com os materiais que as compõem, iniciando do revestimento externo para o interno (chapa de gesso acartonado). Os detalhes representativos das camadas das vedações encontram-se no Apêndice B.

Quadro 1 - Composições das vedações utilizando placa cimentícia

Vedação externa Tipo 01	Vedação externa Tipo 02	Vedação externa Tipo 03
Argamassa flexível	Argamassa flexível	Argamassa flexível
Tela ancoragem fibra de vidro	Tela ancoragem fibra de vidro	Tela ancoragem fibra de vidro
Chapa XPS		Chapa XPS
Membrana hidrófuga	Membrana hidrófuga	Membrana hidrófuga
Placa cimentícia	Placa cimentícia	Placa cimentícia
Lã de vidro	Lã de vidro	Lã de vidro
Câmara de ar 40 mm	Câmara de ar 40 mm	Câmara de ar 40 mm
Placa cimentícia	Placa cimentícia	
Chapa Gesso acartonado	Chapa Gesso acartonado	Chapa Gesso acartonado

Fonte: (Elaborado pelo autor)

Quadro 2 - Composições das vedações utilizando placa *OSB*

Vedação externa Tipo 04	Vedação externa Tipo 05	Vedação externa Tipo 06
Argamassa flexível	Argamassa flexível	Argamassa flexível
Tela ancoragem fibra de vidro	Tela ancoragem fibra de vidro	Tela ancoragem fibra de vidro
Chapa XPS		Chapa XPS
Membrana hidrófuga	Membrana hidrófuga	Membrana hidrófuga
Placa <i>OSB</i>	Placa <i>OSB</i>	Placa <i>OSB</i>
Lã de vidro	Lã de vidro	Lã de vidro
Câmara de ar 40 mm	Câmara de ar 40 mm	Câmara de ar 40 mm
Placa <i>OSB</i>	Placa <i>OSB</i>	
Chapa Gesso acartonado	Chapa Gesso acartonado	Chapa Gesso acartonado

Fonte: (Elaborado pelo autor)

Quadro 3 - Composições das vedações utilizando placa de concreto celular

Vedação externa Tipo 07	Vedação externa Tipo 08	Vedação externa Tipo 09	Vedação externa Tipo 10
Argamassa flexível	Argamassa flexível	Argamassa flexível	Argamassa flexível
Tela ancoragem fibra de vidro		Tela ancoragem fibra de vidro	
Chapa XPS		Chapa XPS	
Placa Concreto Celular 2 cm	Placa Concreto Celular 2cm	Placa Concreto Celular 5 cm	Placa Concreto Celular 7,5cm
Lã de vidro	Lã de vidro	Lã de vidro	Lã de vidro
Câmara de ar 40 mm	Câmara de ar 40 mm	Câmara de ar 40 mm	Câmara de ar 40 mm
Placa Concreto Celular 2 cm	Placa Concreto Celular 2cm		
Chapa Gesso acartonado	Chapa Gesso acartonado	Chapa Gesso acartonado	Chapa Gesso acartonado

Fonte: (Elaborado pelo autor)

Nas vedações externas tipo 01, 02 e 03 utilizou-se a placa cimentícia como elemento de fechamento, sendo a do tipo 01 uma composição completa com chapa de gesso acartonada na

parte interna, seguida de placa cimentícia, depois a lã de vidro e a câmara de ar com 40 mm, após foi colocada outra placa cimentícia e a membrana hidrófuga, depois a chapa XPS com a tela de ancoragem para assim poder receber o acabamento em argamassa flexível. Já na vedação tipo 02 foi retirada a chapa XPS e na vedação tipo 03 retirada uma das placas cimentícias, para assim testar-se a influência desses materiais no desempenho total da vedação.

As vedações externas do tipo 04, 05 e 06 são compostas por placas OSB como elemento de fechamento. Esses modelos seguem os mesmos padrões dos demais citados anteriormente, sendo a do tipo 04 uma vedação com todas as camadas, a 05 sem a chapa XPS e a 06 com apenas uma das placas OSB.

Para as vedações do tipo 07, 08, 09 e 10 foram utilizadas placas de concreto celular para o fechamento externo. Na vedação do tipo 07 utilizou-se praticamente a mesma composição das do tipo 01 e 04 retirando-se a membrana hidrófuga, pois como ela convencionalmente é instalada após as placas OSB ou cimentícia para garantir a estanqueidade da estrutura, e o concreto celular por si só já faz essa barreira, não se fez necessário o uso da membrana. Para o tipo 08 fez-se o mesmo teste de retirar a chapa XPS. Na vedação 09 utilizou-se apenas uma placa de concreto celular, porém com espessura de 50 mm e com chapa XPS, e no tipo 10 retirou-se novamente o XPS e a placa de concreto celular testada foi a de 75 mm. As escolhas das espessuras de 50 e 75 mm para as placas foram em função destas dimensões já serem produzidas no Brasil. A espessura de 20 mm tem a possibilidade de ser produzida.

No Quadro 4 estão apresentadas as especificações de cada material utilizado para as camadas das vedações, para em seguida serem calculadas as propriedades térmicas avaliadas segundo a norma. Os valores das espessuras foram retirados dos fabricantes dos produtos, já os demais valores foram retirados da norma ou de catálogos.

Quadro 4 - Propriedades dos materiais utilizados nas vedações

Material	Propriedade			
	Espessura	Densidade de massa aparente	Condutividade térmica	calor específico
	e (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Placa cimentícia	0,0120	2200	0,950	0,84
Placa <i>OSB</i>	0,0115	550	0,120	2,30
Placa concreto Celular 20 mm	0,0200	550	0,152	1,00
Placa concreto Celular 50 mm	0,0500	480	0,152	1,00
Placa concreto Celular 75 mm	0,0750	480	0,152	1,00
Lã de vidro	0,0500	100	0,045	0,70
Chapa Gesso acartonado	0,0125	1000	0,350	0,84
Argamassa flexível	0,0100	2100	1,150	1,00
Chapa XPS	0,0250	38	0,035	1,42

Fonte: (Elaborado pelo Autor)

6.3 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE ACORDO COM AS RECOMENDAÇÕES DA NBR 15220-2 (ABNT, 2005b)

6.3.1 Transmitância térmica

O primeiro critério analisado foi a transmitância térmica das paredes externas. Para o seu cálculo, é preciso primeiro obter o valor da resistência total dos componentes, pois a transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total.

A Resistência térmica total de ambiente a ambiente é a soma da resistência térmica total de superfície a superfície (R_t) com as resistências superficiais externa (R_{se}) e interna (R_{si}), conforme a expressão 2 do item 5.2.2.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (2)$$

Os valores de resistência superficial externa e resistência superficial interna foram obtidos na tabela A.1 da NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). A direção do fluxo de calor analisada foi na horizontal, portando de R_{se} é de 0,04 e de R_{si} é de 0,13 m².K/W (Tabela 6).

Tabela 6 - Tabela A.1 da NBR 15220-2 com valores de resistência superficial externa e resistência superficial interna

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

Fonte: (ABNT, 2005b)

Foram calculados os valores de resistência térmica para cada componente, conforme a expressão 1, do item 5.2.2. Os resultados foram apresentados na Tabela 7.

$$R = e/\lambda \quad (1)$$

Tabela 7 - Resistência térmica dos componentes

Material	Propriedade		
	Espessura	Condutividade térmica	Resistência térmica de um componente
	e (m)	λ (W/(m.K))	R ((m ² .K)/W)
Placa cimentícia	0,0120	0,950	0,01
Placa OSB	0,0115	0,120	0,10
Placa concreto Celular 20mm	0,0200	0,152	0,13
Placa concreto Celular 50mm	0,0500	0,152	0,33
Placa concreto Celular 75mm	0,0750	0,152	0,49
Lã de vidro	0,0500	0,045	1,11
Chapa Gesso acartonado	0,0125	0,350	0,04
Argamassa flexível	0,0100	1,150	0,01
Chapa XPS	0,0250	0,035	0,71

Fonte: (Elaborada pelo autor)

A resistência térmica da câmara de ar não ventilada é obtida através da tabela B.1 da NBR 15220-2 (ABNT, 2005b), conforme apresentada na Tabela 8 deste trabalho. As vedações externas foram consideradas como superfícies de alta emissividade e a espessura (e) da câmara de ar é de 40mm. Sendo assim, o valor da resistência térmica do ar (R_{ar}), com a sua direção do fluxo de calor sendo na horizontal, é de 0,16 m².K/W.

Tabela 8 - Tabela B.1 da NBR 15220-2 com valores de resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇨	⇩	⇩
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Fonte: (ABNT, 2005b)

O valor da resistência térmica total de um componente, de superfície a superfície, sendo um componente com camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, é determinado pela soma das resistências de cada camada. Adicionado a isso, tem-se o valor da resistência da câmara de ar mais as resistências superficiais internas e externas, conforme expressão 2.

A transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total, sendo determinada através da expressão 3. As Tabelas 9, 10 e 11 apresentam os valores finais para resistência térmica total (R_T) e para transmitância térmica (U).

$$U = 1/R_T \quad (3)$$

Tabela 9 - Resistência térmica e transmitância térmica das vedações utilizando placa cimentícia

	Resistência térmica	Transmitância térmica
	$(m^2.K)/W$	$W/(m^2.K)$
Vedação externa Tipo 01	2,225	0,449
Vedação externa Tipo 02	1,511	0,662
Vedação externa Tipo 03	2,212	0,452

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela 10 - Resistência térmica e transmitância térmica das vedações utilizando placa OSB

	Resistência térmica	Transmitância térmica
	$(m^2.K)/W$	$W/(m^2.K)$
Vedação externa Tipo 04	2,391	0,418
Vedação externa Tipo 05	1,677	0,596
Vedação externa Tipo 06	2,296	0,436

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela 11 - Resistência térmica e transmitância térmica das vedações utilizando placa de concreto celular

	Resistência térmica	Transmitância térmica
	(m ² .K)/W	W/(m ² .K)
Vedação externa Tipo 07	2,463	0,406
Vedação externa Tipo 08	1,749	0,572
Vedação externa Tipo 09	2,529	0,395
Vedação externa Tipo 10	1,979	0,505

Fonte: (Elaborada pelo autor)

6.3.2 Capacidade térmica

O próximo critério que deve ser analisado segundo a norma é a capacidade térmica. O cálculo para cada camada é feito através da multiplicação da espessura pela densidade de massa aparente do material pelo calor específico, conforme a expressão 4 do item 5.2.2.

$$C_{ti} = e_i \times \rho_i \times c_i \quad (4)$$

Dessa forma, os valores calculados para a capacidade térmica de cada componente foram apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Capacidade térmica dos componentes

Material	Propriedade			
	Espessura	Densidade de massa aparente	calor específico	Capacidade térmica
	e (m)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/(kg.K))	C (kJ/(m ² .K))
Placa cimentícia	0,012	2200	0,84	22,18
Placa <i>OSB</i>	0,0115	550	2,3	14,55
Placa concreto Celular 20mm	0,02	550	1	11,00
Placa concreto Celular 50mm	0,05	480	1	24,00
Placa concreto Celular 75mm	0,075	480	1	36,00
Lã de vidro	0,05	100	0,7	3,50
Chapa Gesso acartonado	0,0125	1000	0,84	10,50
Argamassa flexível	0,01	2100	1	21,00
Chapa XPS	0,025	38	1,42	1,35

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Neste critério, foi desconsiderada a camada de ar nos cálculos, permitida pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) que justifica que devido ao ar apresentar uma densidade de massa aparente muito baixa, a sua capacidade térmica em componentes com câmaras de ar pode ser desprezada.

Segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), no cálculo de capacidade térmica, para as paredes que tenham na sua composição materiais isolantes térmicos de condutividade térmica menor ou igual a $0,065 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ e a resistência térmica maior que $0,5 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ deve-se desprezar os materiais posicionados a partir do isolante ou espaço de ar que estejam para o lado externo. Dessa forma, os valores encontrados considerando-se esse critério estão na Tabela A4 do APÊNDICE A.

Os valores de capacidade térmica para as vedações em *LSF* ficam bem reduzidos quando segue-se essa determinação da norma de considerar apenas os materiais da camada interna até a lâ de vidro para este cálculo. Como o objetivo da análise é fazer a comparação dos materiais da vedação como um todo, foi feito o cálculo considerando todos os componentes de vedação do painel. Dessa forma, considerando-se a soma de todos os materiais das vedações para a capacidade térmica total, temos os valores indicados nas Tabelas 13, 14 e 15.

Tabela 13 - Capacidade térmica das vedações utilizando placa cimentícia

	Capacidade térmica
	$\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Vedação externa Tipo 01	80,701
Vedação externa Tipo 02	79,352
Vedação externa Tipo 03	58,525

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela 14 - Capacidade térmica das vedações utilizando placa *OSB*

	Capacidade térmica
	$\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Vedação externa Tipo 04	65,444
Vedação externa Tipo 05	64,095
Vedação externa Tipo 06	50,897

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela 15 - Capacidade térmica das vedações utilizando placa de concreto celular

	Capacidade térmica
	kJ/(m ² .K)
Vedação externa Tipo 07	58,349
Vedação externa Tipo 08	57,000
Vedação externa Tipo 09	60,349
Vedação externa Tipo 10	71,000

Fonte: (Elaborada pelo autor)

6.3.3 Atraso térmico

Para finalizar, foram calculados os valores para o atraso térmico dos materiais. Essa avaliação não é incluída na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) para se determinar um valor de desempenho mínimo. Porém, sabendo que o atraso térmico é o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta, esse valor é importante para a análise completa das vedações, ainda mais pelo motivo de este trabalho avaliar o desempenho na cidade de Porto Alegre, na qual são observadas grandes variações térmicas em um mesmo dia.

No caso de elemento heterogêneo, onde um componente é formado por diferentes materiais superpostos em 'n' camadas paralelas às faces, utiliza-se a expressão 5, conforme item 5.2.2. Os resultados foram apresentados nas Tabelas 16, 17 e 18.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (5)$$

Tabela 16 - Atraso térmico das vedações externas utilizando placa cimentícia

	Atraso térmico
	h
Vedação externa Tipo 01	7,572
Vedação externa Tipo 02	6,169
Vedação externa Tipo 03	5,986

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela 17 - Atraso térmico das vedações utilizando placa OSB

	Atraso térmico
	h
Vedação externa Tipo 04	6,773
Vedação externa Tipo 05	5,586
Vedação externa Tipo 06	5,443

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela 18 - Atraso térmico das vedações utilizando placa de concreto celular

	Atraso térmico
	h
Vedação externa Tipo 07	6,301
Vedação externa Tipo 08	5,213
Vedação externa Tipo 09	6,554
Vedação externa Tipo 10	6,535

Fonte: (Elaborada pelo autor)

6.3.4 Comparação dos valores das propriedades térmicas

Na Tabela 19 foram apresentados todos os resultados obtidos para os cálculos de avaliação de desempenho térmico das 10 composições de vedações analisadas.

Tabela 19 - Comparação dos valores das propriedades térmicas das vedações

Vedação externa	Descrição	Resistência térmica	Transmitância térmica	Capacidade térmica	Atraso térmico
		(m ² .K)/W	W/(m ² .K)	kJ/(m ² .K)	h
Tipo 01	Placa cimentícia completa	2,225	0,449	80,701	7,572
Tipo 02	Placa cimentícia sem XPS	1,511	0,662	79,352	6,169
Tipo 03	Apenas uma placa cimentícia	2,212	0,452	58,525	5,986
Tipo 04	Placa OSB completa	2,391	0,418	65,444	6,773
Tipo 05	Placa OSB sem XPS	1,677	0,596	64,095	5,586
Tipo 06	Apenas uma placa OSB	2,296	0,436	50,897	5,443
Tipo 07	Placa de concreto celular completa 20 mm	2,463	0,406	58,349	6,301
Tipo 08	Placa de concreto celular 20 mm sem XPS	1,749	0,572	57,000	5,213
Tipo 09	Apenas uma placa de concreto celular 50 mm	2,529	0,395	60,349	6,554
Tipo 10	Apenas uma placa de concreto celular sem XPS 75 mm	1,979	0,505	71,000	6,535

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Conforme observado, o maior valor de resistência térmica e, conseqüentemente, menor valor de transmitância térmica encontrado foi para a parede do tipo 09, que é constituída por uma placa de concreto celular de 50 mm. Este resultado também se deve a maior espessura utilizada nas placas de concreto celular se comparado às placas cimentícia e OSB. O valor máximo de transmitância térmica permitido para a zona bioclimática 3 que possua superfície

com absorvância para radiação solar $<0,6$ é de $U_{m\acute{a}x} \leq 3,7$, conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013b). Dessa forma, todas as vedações atendem o requisito.

Para a capacidade térmica, a parede com melhor desempenho foi a do tipo 01, composta por placas cimentícias. O valor mínimo desse requisito para a cidade de Porto Alegre é de $C_{Tmin} \geq 130$, conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b). Nenhuma das composições atingiu o exigido pela norma na parte simplificada de cálculo, sendo assim, seria necessário a comprovação do desempenho como um todo através do método da simulação computacional. Mas como o objetivo da análise é comparar o comportamento térmico entre os conjuntos de materiais que compõe a vedação do painel, considerou-se que os resultados do Procedimento 1 – Simplificado (item 5.1.1) já contribuem para a análise.

Os valores de atraso térmico não possuem exigências mínimas na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), porém, como esse parâmetro indica o tempo transcorrido entre uma variação térmica e a sua manifestação na superfície oposta, cabe avaliar-se o atraso com o intuito de identificar qual será a resposta das vedações para a transmissão de calor. A composição que obteve melhor resultado foi a do tipo 01, composta por placas cimentícias.

Sendo assim, as vedações que obtiveram melhor desempenho térmico foram a do tipo 01 e 09 conforme avaliações feitas pelo método simplificado.

Também se realizou a análise sobre a influência da chapa XPS no desempenho térmico das edificações em *LSF*. Para isso, foram comparadas as vedações com placa cimentícia do tipo 01 com o tipo 02; as vedações com placa *OSB* do tipo 04 com a 05 e as vedações com placa de concreto celular do tipo 07 com a 08.

Na vedação do tipo 01 o valor obtido para transmitância térmica foi de $0,449 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e para a do tipo 02 foi de $0,662 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, com isso, teve-se um aumento de 47% do valor retirando-se a chapa XPS. Já para a capacidade térmica, o valor da vedação do tipo 01 foi de $80,701 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$ e para a do tipo 02 foi de $79,352 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$, ou seja, uma redução de 1,7% desta propriedade.

Na vedação do tipo 04 o valor obtido para transmitância térmica foi de $0,418 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e para a do tipo 05 foi de $0,596 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, com isso, teve-se um aumento de 43% do valor retirando-se a chapa XPS. Já para a capacidade térmica, o valor da vedação do tipo 04 foi de

65,444 kJ/(m².K) e para a do tipo 05 foi de 64,095 kJ/(m².K), ou seja, uma redução de 2,1% desta propriedade.

Na vedação do tipo 07 o valor obtido para transmitância térmica foi de 0,406 W/(m².K) e para a do tipo 08 foi de 0,572 W/(m².K), com isso, teve-se um aumento de 40,8% do valor retirando-se a chapa XPS. Já para a capacidade térmica, o valor da vedação do tipo 07 foi de 58,349 kJ/(m².K) e para a do tipo 08 foi de 57,000 kJ/(m².K), ou seja, uma redução de 2,3% desta propriedade.

A partir desses resultados, pode-se comprovar a influência positiva na utilização da chapa XPS para o parâmetro de transmitância térmica. Já para a capacidade térmica do sistema, não ocorreram grandes variações.

Outra comparação feita foi da influência de se utilizar 1 ou 2 placas compondo o sistema. Foram comparadas a vedação do tipo 01 com a 03 e a do tipo 04 com a 06. A vedação do tipo 01 possui duas placas cimentícias e a 03 possui apenas uma. O valor da transmitância térmica para a vedação 01 é de 0,449 W/(m².K) e para o tipo 03 é de 0,452 W/(m².K), representando assim um aumento de 0,57% da transmitância. Para a propriedade de capacidade térmica, o valor obtido da vedação 01 é de 80,701 kJ/(m².K) e na do tipo 03 é de 58,525 kJ/(m².K), significando que a redução foi de 27,48%.

A vedação do tipo 04 possui duas placas *OSB* e a vedação 06 apenas uma. O valor da transmitância térmica da vedação 04 é de 0,418 W/(m².K) e da 06 é de 0,436 W/(m².K), sendo assim, a transmitância térmica teve um aumento de 4,2%. Para a capacidade térmica o valor da vedação 04 é de 65,444 kJ/(m².K) e da 06 é de 50,897 kJ/(m².K) logo, a redução da capacidade térmica foi de 22,2%.

A partir dessas informações pode-se concluir que a influência de se utilizar duas placas reflete mais na capacidade térmica do que na transmitância da vedação, devido ao acréscimo do número de camadas. A decisão de se colocar duas placas na composição do painel, uma interna e outra externa, é mais efetiva na geração de um diafragma rígido, auxiliando no contraventamento da estrutura do que no comportamento térmico.

Por fim, a última comparação realizada foi entre as vedações do tipo 01, 04 e 07 as quais possuem materiais diferentes, sendo eles a placa cimentícia, a placa *OSB* e a placa de concreto celular, respectivamente. Todas possuem o restante de suas composições idêntico, apenas sendo

alteradas essas placas principais. Para a transmitância térmica os valores encontrados nas vedações 01, 04 e 07 foram respectivamente de 0,449 W/(m².K), 0,418 W/(m².K) e 0,406 W/(m².K). Sendo assim, a menor transmitância foi para a vedação 07 constituída de placas de concreto celular. No cálculo de capacidade térmica, os valores obtidos para os modelos 01, 04 e 07 foram de 80,701 kJ/(m².K), 65,444 kJ/(m².K) e 58,349 kJ/(m².K), respectivamente. O maior valor para essa propriedade foi na vedação 01 constituída de placa cimentícia. Por último, para o atraso térmico os valores para os modelos analisados são, na mesma ordem, 7,572 h, 6,773 h e 6,301 h. Dessa forma, observa-se que o maior atraso térmico é também para a vedação do tipo 01 de placa cimentícia.

6.4 AVALIAÇÃO DA EXEQUIBILIDADE

O *Light Steel Framing* é um tipo de construção que possibilita a versatilidade de combinações nas escolhas para vedações e revestimentos, por isso foi possível comparar diferentes materiais para a composição do seu fechamento externo. Neste item foi verificada a exequibilidade para os 3 tipos de placas escolhidos para o desenvolvimento deste trabalho.

Conforme o item 4.2.1 sobre concreto celular, as placas atualmente estão sendo produzidas naquelas dimensões até o atual momento, sendo assim, a maior placa da Celucon (2020) possui 600x1200 mm. Logo, teríamos mais juntas nas vedações feitas com as placas de concreto celular para compor a parede com mesmas dimensões que a dos outros materiais, sendo esse um ponto negativo com relação à velocidade e facilidade de execução e também no requisito de estanqueidade. Outra observação a ser feita é com relação às espessuras das vedações. Para as placas de concreto celular esses valores foram maiores devido à viabilidade da fabricação.

Sobre a mão de obra, os três sistemas são semelhantes pois são formados por placas pré-fabricadas que requerem apenas a instalação no local, logo não haveria tantas diferenças com relação à instalação desses materiais.

Com relação aos custos, uma breve análise feita foi a de que as placas *OSB* e cimentícia requerem o uso de manta hidrófuga para obterem a estanqueidade da edificação, já o concreto celular por si só já é suficiente para garantir que a impermeabilidade da vedação externa, pois é uma propriedade deste material. Dessa forma, o preço por m² não deve ser calculado apenas considerando cada placa, e sim somando-se os custos para obtenção de um sistema equivalente.

Comparando o concreto celular com a placa cimentícia, o primeiro material tem uma densidade de massa aparente muito menor, conferindo mais leveza à estrutura de *Ligh Steel Framing*. Mesmo quando foram utilizadas placas de espessuras bem maiores, esses valores não atingiram o mesmo peso por metro quadrado que as placas cimentícias, conforme apresentado na Tabela 20. Outro fator relevante nesta comparação é a relação da sustentabilidade pois ambos os materiais possuem o cimento na sua composição, porém o concreto celular apresenta menor percentual desse material.

Tabela 20 - Peso das placas por vedação

Material	kg/m ² de cada placa	n° placas por vedação	kg/m ² por vedação
Placa cimentícia	26,40	2	52,80
Placa <i>OSB</i>	6,33	2	12,65
Placa concreto Celular 20mm	11,00	2	22,00
Placa concreto Celular 50mm	24,00	1	24,00
Placa concreto Celular 75mm	36,00	1	36,00

Fonte: (Elaborada pelo autor)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 CONCLUSÕES

Os projetos de *Light Steel Framing* possibilitam exclusividade para cada cliente, permitindo total controle dos gastos já nessa fase, pois é um sistema de montagem e as peças já chegam na obra prontas, permitindo um melhor gerenciamento de perdas e gastos (JARDIM e CAMPOS, 2009). Essa característica do sistema de permitir versatilidade na criação de vários modelos de edificações com diferentes componentes de revestimento, isolamento, entre outras características, gerou a possibilidade da utilização de diversas composições de materiais de vedação para os painéis externos.

Este trabalho se propôs a comparar o desempenho térmico de vedações externas de uma edificação em *Light Steel Framing* compostas por três diferentes materiais para as placas e sendo elaborados dez modelos de composições. Para tal análise foram observados os requisitos fornecidos pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013b) que trata sobre os sistemas de vedações e utilizados os cálculos apresentados na NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b). Foram feitas as análises de desempenho térmico considerando o procedimento 1 (Simplificado) apresentado na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

A comparação feita entre os três diferentes materiais nas vedações externas está nos modelos 01, 04 e 07 sendo, respectivamente, placa cimentícia, placa *OSB*, e placa de concreto celular. Foi possível concluir que a melhor transmitância térmica foi para a composição 07, de placa de concreto celular, onde no seu cálculo utilizou-se os valores de espessura e condutividade térmica. Para o requisito de capacidade térmica o melhor modelo foi o tipo 01 constituído por placa cimentícia. Esse material possui densidade de massa aparente quatro vezes maior que os outros dois, o que teve fundamental importância para tais resultados. O atraso térmico, que é o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta, também foi avaliado neste trabalho. A vedação 01 também obteve o melhor resultado nesta comparação, onde conclui-se que, dos materiais avaliados, destaca-se o comportamento térmico da placa cimentícia, seguida do concreto celular. Porém o uso da placa

cimentícia implica em maiores cargas para o sistema, devido ao maior peso próprio. Já a placa OSB apresentou resultados com valores intermediários para as propriedades térmicas, mas apresenta menor peso próprio entre os materiais avaliados.

A avaliação feita das composições com e sem a chapa *XPS* revelou a importância de seu uso. Os elementos de isolamento térmico como a chapa *XPS* e a lã de vidro possuem baixíssimos valores de condutividade térmica, sendo 0,035 e 0,045 W/(m.K), respectivamente. Por essa razão, sua influência nos resultados de transmitância térmica foi bastante significativa, muito mais do que as demais placas utilizadas para compor o sistema. Essa propriedade representa a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo. Esta constatação reafirma a importância da presença de isolamento térmico na composição de painéis externos no sistema *LSF*. Com relação ao requisito de capacidade térmica, a influência da chapa não foi tão significativa pois a densidade de massa aparente do *XPS* é muito baixa se comparada aos outros materiais, logo a sua capacidade térmica não é elevada.

O trabalho também tinha por objetivo testar a utilização do concreto celular como possível vedação do sistema *LSF*, verificando seu comportamento térmico. Ele provou ser um bom isolante, porém foram testadas placas com espessuras maiores do que a dos outros materiais, devido à viabilidade construtiva. Também é preciso ressaltar o fato de que as placas de concreto celular encontradas no mercado possuem dimensões inferiores às outras placas e, dessa forma, podendo influenciar no desempenho térmico pois ocorrerão mais juntas nas vedações, sendo um ponto crítico a ser observado.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão de trabalhos futuros, poderia ser feita avaliação através do programa *Energy plus* de uma edificação em *LSF* com as composições de concreto celular. Também seria interessante a avaliação estrutural do *LSF* para utilização dessas placas, fazendo comparativo de dimensionamento dos perfis de aço para as diferentes placas que variam bastante seu peso.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15520-1**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definição, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15520-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Método de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15520-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.

_____. **NBR 13438**: Blocos de concreto celular autoclavado. Rio de Janeiro, 2013.

BRASILIT. **Telha *Shingle*: durabilidade, versatilidade e sofisticação**. 2019. Disponível em <<https://www.brasilit.com.br/blog/telha-shingle-durabilidade-versatilidade-e-sofisticacao>> Acesso em: novembro, 2020.

CADERNO TÉCNICO CELUCON – Edição 01. **Catálogo Técnico**. Disponível em <<https://celucon.com.br/downloads/>>. Acesso em novembro de 2020.

CHAD. **AAC Wall panel technical manual**. 2018. Disponível em: <<https://www.chadgroup.com.au/wp-content/uploads/2020/11/CHAD-Tech-Manual-AAC-EcoPanel-v7a.pdf>> Acesso em novembro, 2020.

CRASTO, R. C. M.. **Arquitetura e Tecnologia em Sistemas Construtivos Industrializados: *Ligh Steel Framing***. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CONSELHO de arquitetura e urbanismo do Brasil. **Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho ABNT NBR 15575**. Disponível em <https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf> Acesso em novembro, 2020.

DAKRON. **Placas de isolamento térmico XPS** Disponível em: <<https://akronrs.com.br/produto/placas-de-isolamento-termico/>> Acesso em novembro, 2020.

DÉSIR, J. M. **Blocos celulares autoclavados**. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/napead/projetos/alvenaria-estrutural/blocos_autoclavados.php> Acesso em novembro, 2020.

DRYWALL, Associação brasileira dos fabricantes de chapas para *Drywall*. **Manual de Projeto e Sistemas Drywall – paredes, forros e revestimentos**. Editora PINI, São Paulo, 2017.

GOBAIN, Saint. **Lã de vidro: o que é e como atua no isolamento acústico**. São Paulo, 2019. Disponível em <<https://www.isover.com.br/noticias/o-que-e-la-de-vidro>> Acesso em novembro, 2020.

GOBAIN, Saint. **Guia de sistemas – produtos planos**. São Paulo, 2016. Disponível em: <https://www.brasilit.com.br/sites/brasilit.com.br/files/downloads/1/Guia%20de%20Sistemas%20Produtos%20Planos_8.pdf> Acesso em novembro, 2020.

JACÓE, R.B.; RODRIGUES, C. S.. **Influência do tempo de autoclavagem nas propriedades físicas do concreto celular autoclavado (AAC)**. Cuiabá, 2014. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/204-067.pdf>> Acesso em novembro, 2020.

JARDIM, G. T. C.; CAMPOS, A. S.. **Light Steel Framing: Uma aposta do setor siderúrgico no desenvolvimento tecnológico da construção civil**. 2009. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/light-steel-framing/1192>> Acesso em novembro, 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. Ed. Rio de Janeiro, 2014.

MOTA, J. Á. R. **Influência da Junta Vertical na Resistência à Compressão de Prismas em Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto e Blocos de Concreto Celular Autoclavado**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel Framing: Arquitetura**. Instituto aço Brasil, Rio de Janeiro, 2012.

SANTIAGO, A. K.. **O Uso do Sistema Light Steel Framing Associado a outros Sistemas construtivos como Fechamento vertical externo não estrutural**. 2008. Dissertação

(Mestrado em ciências da Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

TERMOVALE. **Telhas termoacústicas (telha sanduíche) com EPS, PU ou PIR?** Santa Catarina, 2019. Disponível em <<https://www.termovale.com.br/pt-br/novidades-e-dicas/telhas-termoacusticas-telha-sanduiche-com-eps-pu-ou-pir>> Acesso em novembro, 2020.

VARISCO, M. Q. **Análise do desempenho de blocos de concreto celular autoclavado em um sistema de vedação externa.** 2014. Dissertação (Mestre em Desenvolvimento de Tecnologia) – Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2014.

APÊNDICE A – Tabelas com resultados completos dos cálculos

Tabela A1 - Valores de resistência e transmitância térmica calculados para placa cimentícia

Vedação externa	Resistência térmica ((m ² .K)/W)		
	Tipo 01	Tipo 01	Tipo 03
Argamassa flexível	0,009	0,009	0,009
Tela ancoragem fibra de vidro	-	-	-
Chapa XPS	0,714	-	0,714
Membrana hidrófuga	-	-	-
Placa cimentícia	0,013	0,013	0,013
Câmara de ar 40mm	0,160	0,160	0,160
Lã de vidro	1,111	1,111	1,111
Placa cimentícia	0,013	0,013	-
Chapa Gesso acartonado	0,036	0,036	0,036
Resistência total de superfície a superfície	2,055	1,341	2,042
Resistência superficial	0,170	0,170	0,170
Resistência total de ambiente a ambiente	2,225	1,511	2,212
Transmitância térmica	0,449	0,662	0,452

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela A2 - Valores de resistência e transmitância térmica calculados para placa OSB

Vedação externa	Resistência térmica ((m ² .K)/W)		
	Tipo 04	Tipo 05	Tipo 06
Argamassa flexível	0,009	0,009	0,009
Tela ancoragem fibra de vidro	-	-	-
Chapa XPS	0,714	-	0,714
Membrana hidrófuga	-	-	-
Placa OSB	0,096	0,096	0,096
Câmara de ar 40mm	0,160	0,160	0,160
Lã de vidro	1,111	1,111	1,111
Placa OSB	0,096	0,096	-
Chapa Gesso acartonado	0,036	0,036	0,036
Resistência total de superfície a superfície	2,221	1,507	2,126
Resistência superficial	0,170	0,170	0,170
Resistência total de ambiente a ambiente	2,391	1,677	2,296
Transmitância térmica	0,418	0,596	0,436

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela A3 – Valores de resistência e transmitância térmica calculados para placa de concreto celular

Vedação externa	Resistência térmica ((m ² .K)/W)			
	Tipo 07 (placa com 20 mm)	Tipo 08 (placa com 20 mm)	Tipo 09 (placa com 50 mm)	Tipo 10 (placa com 75 mm)
Argamassa flexível	0,009	0,009	0,009	0,009
Tela ancoragem fibra de vidro	-	-	-	-
Chapa XPS	0,714	-	0,714	-
Placa Concreto Celular 20mm	0,132	0,132	0,329	0,493
Câmara de ar 40mm	0,160	0,160	0,160	0,160
Lã de vidro	1,111	1,111	1,111	1,111
Placa Concreto Celular 20mm	0,132	0,132	-	-
Chapa Gesso acartonado	0,036	0,036	0,036	0,036
Resistência total de superfície a superfície	2,293	1,579	2,3588	1,809
Resistência superficial	0,170	0,170	0,1700	0,170
Resistência total de ambiente a ambiente	2,463	1,749	2,5288	1,979
Transmitância térmica	0,406	0,572	0,3955	0,505

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela A4 – Valores de capacidade térmica considerando critério da NBR 15575-4 (ABNT, 2013,b) onde foram desconsideradas camadas após a lã de vidro.

Vedação externa	Capacidade térmica (kJ/(m ² .K))
Tipo 01	36,176
Tipo 02	36,176
Tipo 03	14,000
Tipo 04	28,548
Tipo 05	28,548
Tipo 06	14,000
Tipo 07	25,000
Tipo 08	25,000
Tipo 09	14,000
Tipo 10	14,000

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela A3 – Valores de capacidade térmica calculados para placa cimentícia

Vedação externa	Capacidade térmica (kJ/(m ² .K))		
	Tipo 01	Tipo 02	Tipo 03
Argamassa flexível	21,000	21,000	21,000
Tela ancoragem fibra de vidro	-	-	-
Chapa XPS	1,349	-	1,349
Membrana hidrófuga	-	-	-
Placa cimentícia	22,176	22,176	22,176
Câmara de ar 40mm	-	-	-
Lã de vidro	3,500	3,500	3,500
Placa cimentícia	22,176	22,176	-
Chapa Gesso acartonado	10,500	10,500	10,500
Capacidade térmica total	80,701	79,352	58,525

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela A5 – Valores de capacidade térmica calculados para placa OSB

Vedação externa	Capacidade térmica (kJ/(m ² .K))		
	Tipo 04	Tipo 05	Tipo 06
Argamassa flexível	21,000	21,000	21,000
Tela ancoragem fibra de vidro			
Chapa XPS	1,349		1,349
Membrana hidrófuga			
Placa OSB	14,548	14,548	14,548
Câmara de ar 40mm			
Lã de vidro	3,500	3,500	3,500
Placa OSB	14,548	14,548	
Chapa Gesso acartonado	10,500	10,500	10,500
Capacidade térmica total	65,444	64,095	50,897

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela A6 – Valores de capacidade térmica calculados para placa de concreto celular

Vedação externa	Capacidade térmica (kJ/(m ² .K))			
	Tipo 07 (placa com 20 mm)	Tipo 08 (placa com 20 mm)	Tipo 09 (placa com 50 mm)	Tipo 10 (placa com 75 mm)
Argamassa flexível	21,000	21,000	21,000	21,000
Tela ancoragem fibra de vidro	-	-	-	-
Chapa XPS	1,349	-	1,349	-
Placa Concreto Celular 20mm	11,000	11,000	24,000	36,000
Câmara de ar 40mm	-	-	-	-
Lã de vidro	3,500	3,500	3,500	3,500
Placa Concreto Celular 20mm	11,000	11,000	-	-
Chapa Gesso acartonado	10,500	10,500	10,500	10,500
Capacidade térmica total	58,349	57,000	60,349	71,000

Fonte: (Elaborada pelo autor)

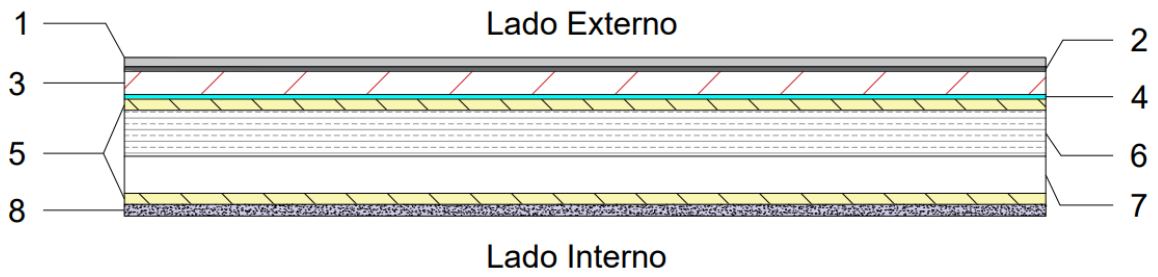
Tabela A7 – Cálculo do atraso térmico

Atraso térmico (h)											
Vedação	C _t	C _{ext}	R _t	B0	B1	λ	ρ	c	R _{ext}	B2	φ
Tipo 01	80,701	21,00	2,225	59,701	6,064	1,15	2100	1	0,009	-54,486	7,572
Tipo 02	79,352	21,00	1,511	58,352	8,729	1,15	2100	1	0,009	-53,329	6,169
Tipo 03	57,176	21,00	1,788	36,176	4,574	1,15	2100	1	0,009	-53,887	5,283
Tipo 04	65,444	21,00	2,391	44,444	4,200	1,15	2100	1	0,009	-54,656	6,773
Tipo 05	64,095	21,00	1,677	43,095	5,807	1,15	2100	1	0,009	-53,687	5,586
Tipo 06	50,897	21,00	1,871	29,897	3,612	1,15	2100	1	0,009	-54,023	4,913
Tipo 07	58,349	21,00	2,463	37,349	3,427	1,15	2100	1	0,009	-54,723	6,301
Tipo 08	57,000	21,00	1,749	36,000	4,653	1,15	2100	1	0,009	-53,819	5,213
Tipo 09	60,349	21,00	2,529	39,349	3,517	1,15	2100	1	0,009	-54,780	6,554
Tipo 10	71,000	21,00	1,979	50,000	5,710	1,15	2100	1	0,009	-54,182	6,535

Fonte: (Elaborada pelo autor)

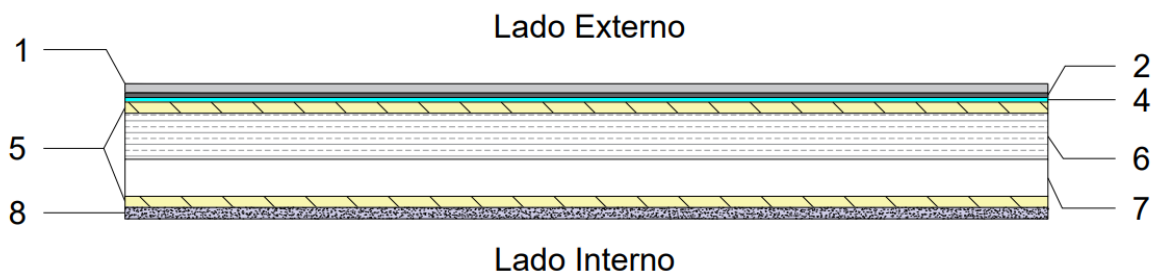
APÊNDICE B – Detalhes das vedações

Figura B1 – Detalhe vedação 01



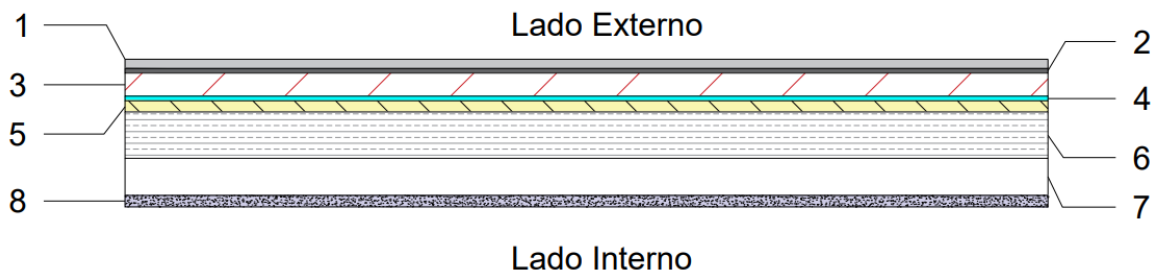
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura B2 – Detalhe vedação 02



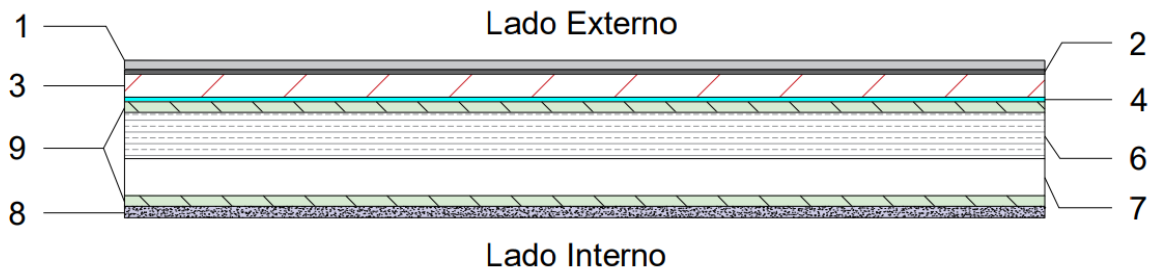
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura B3 – Detalhe vedação 03



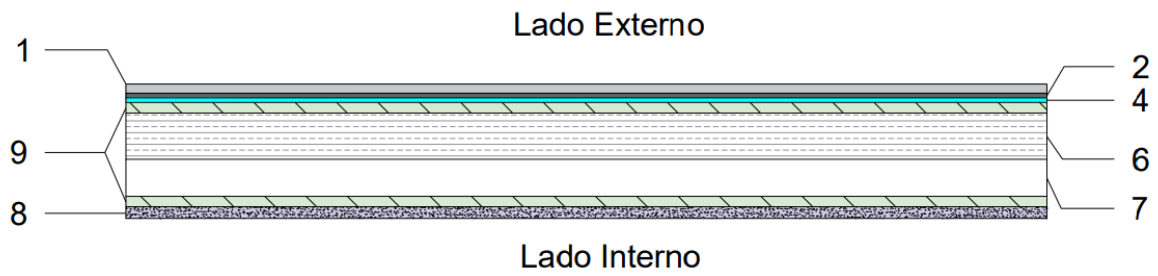
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura B4 – Detalhe vedação 04



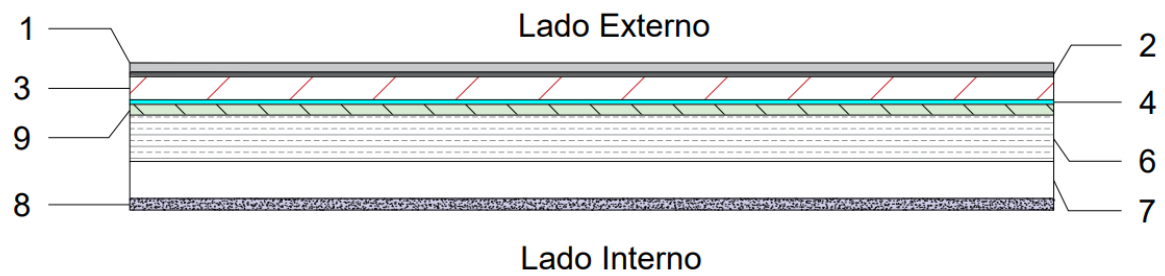
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura B5 – Detalhe vedação 05



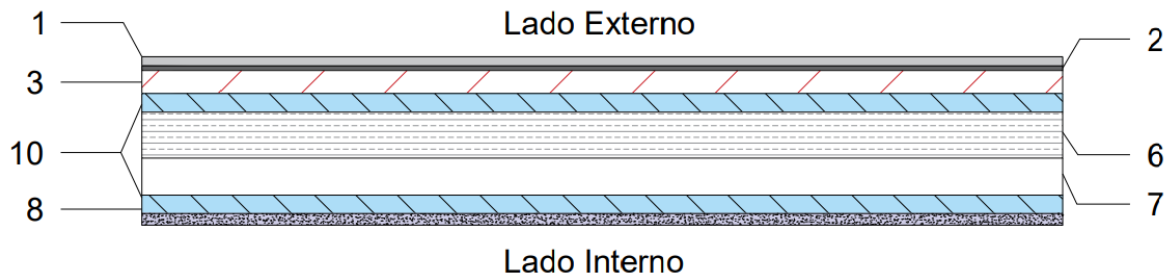
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura B6 – Detalhe vedação 06



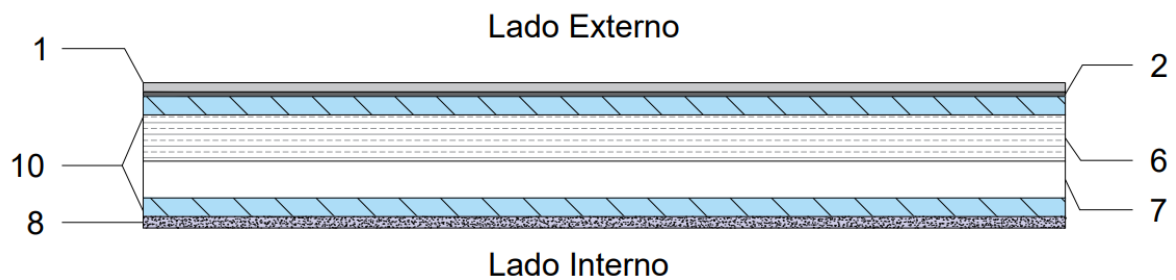
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura B7 – Detalhe vedação 07



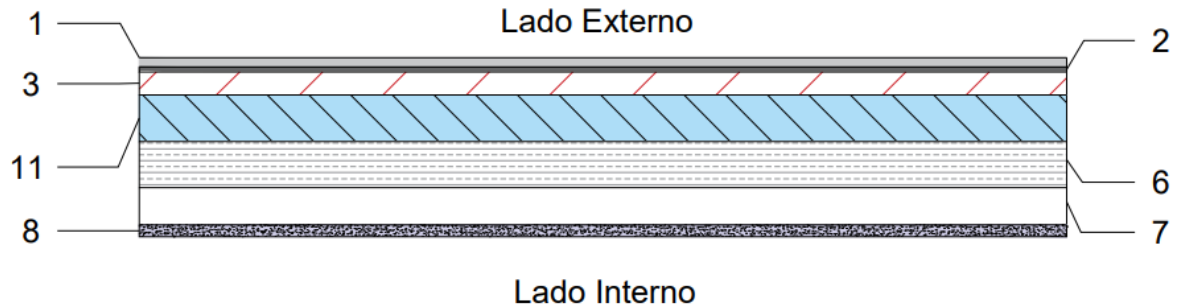
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura B8 – Detalhe vedação 08



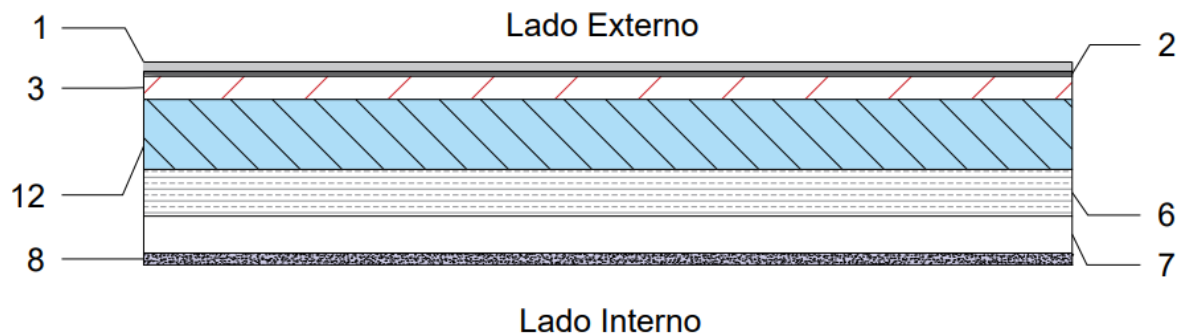
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura B9 – Detalhe vedação 09



Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura B10 – Detalhe vedação 10



Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela B1 – Legendas dos detalhes das vedações

1	Argamassa flexível
2	Tela de ancoragem em fibra de vidro
3	Chapa XPS
4	Membrana hidrófuga
5	Placa cimentícia
6	Lã de vidro
7	Câmara de ar 40 mm
8	Chapa de gesso acartonado
9	Placa OSB
10	Placa de concreto celular 20 mm
11	Placa de concreto celular 50 mm
12	Placa de concreto celular 75 mm

Fonte: (Elaborada pelo autor)