

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

Rafaela Costa Lima Ferreira

**DESEMPENHO DE VEDAÇÕES VERTICAIS EM *LIGHT STEEL*
FRAMING E ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS: ESTUDO
COMPARATIVO**

Porto Alegre
dezembro 2015

RAFAELA COSTA LIMA FERREIRA

**DESEMPENHO DE VEDAÇÕES VERTICAIS EM *LIGHT
STEEL FRAMING* E ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS:
ESTUDO COMPARATIVO**

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

Orientador: Luis Carlos Bonin

Porto Alegre
dezembro 2015

RAFAELA COSTA LIMA FERREIRA

**DESEMPENHO DE VEDAÇÕES VERTICAIS EM *LIGHT*
STEEL FRAMING E ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS:
ESTUDO COMPARATIVO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 10 de dezembro de 2015

Prof. Luis Carlos Bonin
Mestre pelo PPGEC/UFRGS
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Profa. Luciani Somensi Lorenzi (UFRGS)
Dra. em Engenharia pelo PPGEC/UFRGS

Arq. Lais Zucchetti
M. em Engenharia pelo PPGEC/UFRGS

Prof. Luis Carlos Bonin (UFRGS)
M. em Engenharia pelo PPGEC/UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Marta e João, ao meu irmão Rodrigo e ao meu namorado Rafael que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Luis Carlos Bonin, orientador deste trabalho, pela sabedoria e atenção dedicada.

Agradeço aos meus pais, Marta e João, por sempre me apoiarem nas minhas escolhas e estarem sempre ao meu lado nos meus momentos de insegurança.

Agradeço ao meu irmão Rodrigo, pelas palavras que sempre me confortam.

Agradeço ao meu namorado Rafael, que me acompanhou durante todo meu Curso de Graduação, por sempre estar ao lado, torcendo e nunca deixando de acreditar em mim.

Agradeço aos meus colegas de curso, pela amizade e companheirismo.

Obstáculos são aqueles perigos que você vê quando tira os
olhos de seu objetivo.

Henry Ford

RESUMO

FERREIRA, R. C. L. **Desempenho de vedações verticais em *Light Steel Framing***: estudo comparativo com o sistema de alvenaria de blocos cerâmicos. 2015. 74 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

As vedações verticais de uma edificação são elementos de extrema importância para os usuários, pois são elas que limitam e protegem a habitação do ambiente externo. As vedações verticais são as principais barreiras que influenciam no conforto térmico, acústico e na segurança contra incêndio. A partir de 2013, com a entrada em vigor da Norma de Desempenho NBR 15575, os requisitos e critérios para uma edificação ficaram mais exigentes. E para que os projetistas possam garantir o desempenho exigido é necessário ter conhecimento do comportamento dos componentes empregados na construção. Com sistemas construtivos inovadores ganhando espaço no mercado brasileiro, como o *Light Steel Framing* (LSF), é preciso que se tenha um entendimento que o sistema é eficiente. A partir de dados publicados pelo Sistema Nacional de Avaliações Técnicas e por um fabricante de blocos cerâmicos, este trabalho faz uma comparação com um sistema de alvenaria de blocos cerâmicos em relação ao desempenho térmico, acústico e segurança contra incêndio. A comparação é feita entre um sistema construtivo contemporâneo e industrializado, com potencial de desempenho devido à sua concepção, e outro sistema, mais tradicional, de vedação vertical, a alvenaria de blocos cerâmicos, considerando o contexto brasileiro.

Palavras-chave: *Light Steel Framing*, NBR 15575, vedações verticais, segurança contra incêndio, desempenho acústico, desempenho térmico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa	18
Figura 2 – Curva temperatura x tempo de um incêndio natural	24
Figura 3 – Curva temperatura x tempo de um incêndio-padrão	25
Figura 4 – Amplitude e frequência da onda sonora	30
Figura 5 – Zonas bioclimáticas brasileiras	34
Figura 6 – Perfil U	51
Figura 7 – Perfil Ue	51
Figura 8 – Desenho esquemático do sistema LSF	52
Figura 9 – Placas OSB	53
Figura 10 – Fixação da manta impermeável nas placas OSB	54
Figura 11 – Placas OSB tipo <i>SmartSide Panel</i>	54
Figura 12 – Aplicação da lã de vidro em paredes internas	56
Figura 13 – Desenho esquemático das configurações PF – 01, PF – 02 e PF - 03	58
Figura 14 – Desenho esquemático das configurações PG – 01 e PG – 02	59
Figura 15 – Desenho esquemático das configurações PI - 01	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos materiais de acabamento com base no método NBR 9442	27
Quadro 2 – Classificação dos materiais de acabamento com base no método EN 13823.....	29
Quadro 3 – Valores de índice de redução sonora, R_w para vedações entre ambientes	32
Quadro 4 – Valores de índice de redução sonora R_w para fachadas	32
Quadro 5 – Valores máximos admitidos para transmitância térmica	35
Quadro 6 – Valores mínimos admitidos para capacidade térmica	35
Quadro 7 – Critério de avaliação do desempenho térmico para dia típico de inverno	37
Quadro 8 – Critério de avaliação do desempenho térmico para dia típico de verão	37
Quadro 9 – Configuração de parede de alvenaria de blocos cerâmicos ensaiada para verificação da segurança contra incêndio	42
Quadro 10 – Configuração de parede de alvenaria de blocos cerâmicos ensaiada para verificação de desempenho acústico	43
Quadro 11 – Configuração de parede de alvenaria de blocos cerâmicos ensaiada para verificação de desempenho térmico	48
Quadro 12 – Paredes de Fachada em LSF	57
Quadro 13 – Paredes de Geminação (PG) em LSF	58
Quadro 14 – Paredes Internas (PI) em LSF	59
Quadro 15 – Desempenho térmico da PF - 01	63
Quadro 16 – Desempenho térmico da PF – 02 e PF - 03	65
Quadro 17 – Quadro de Comparação dos sistemas de vedação vertical analisados: Reação ao fogo	67
Quadro 18 – Quadro de Comparação dos sistemas de vedação vertical analisados: Resistência ao fogo	67
Quadro 19 – Quadro de Comparação dos sistemas de vedação vertical analisados: índice de redução sonora de fachadas	68
Quadro 20 – Quadro de Comparação dos sistemas de vedação vertical analisados: índice de redução sonora em paredes de geminação	69
Quadro 21 – Quadro de Comparação dos sistemas de vedação vertical analisados: desempenho térmico	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo	26
Tabela 2 – Resistência ao fogo das paredes de alvenaria	42
Tabela 3 – Desempenho acústico das vedações de fachada	44
Tabela 4 – Desempenho acústico das vedações entre ambientes	45
Tabela 5 – Desempenho térmico das vedações verticais de fachada	49
Tabela 6 – Resistência ao fogo das paredes de geminação em LSF	60
Tabela 7 – Desempenho acústico das vedações em LSF de fachadas	61
Tabela 8 – Desempenho acústico das vedações em LSF de fachadas	62

LISTA DE SIGLAS

LSF – *Light Steel Framing*

OSB – *Oriented Strand Board*

TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

PA – Parede de Alvenaria

NA – não atende

PF – Parede de fachada

PLC – Placa Cimentícia

PLO – Placa OSB

PLSS – Placa OSB *SmartSide Panel*

SV – *Siding* Vinílico

PLST – Placa de gesso acartonado tipo *Standart*

PLRF – Placa de gesso acartonado resistente ao fogo

LV – Lã de vidro

LR – Lã de rocha

MI – Membrana impermeável

PG – Parede de geminação

PI – Parede interna

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔT – variação de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Δm – variação de massa (%)

t_f – tempo de flamejamento (s)

I_p - índice de propagação superficial da chama

D_m – densidade específica ótica máxima de fumaça

FIGRA – índice da taxa de desenvolvimento de calor (W/s)

LSF – propagação lateral da chama

SMOGRA – taxa de desenvolvimento de fumaça (m^2/s^2)

TPS600s – liberação de calor total do corpo de prova nos primeiros 600s de exposição às chamas (MJ)

FS – tempo em que a frente da chama leva para atingir a marca de 150mm (s)

Hz – Hertz (1/s)

NPS – nível de pressão sonora (dB)

P – pressão sonora (Pa)

P_o – pressão sonora de referência (2×10^{-5} Pa)

R_w – índice de redução sonora (dB)

M – nível de desempenho mínimo

I – nível de desempenho intermediário

S – nível de desempenho superior

CT – capacidade térmica ($\text{kJ}/\text{m}^2.\text{K}$)

U – transmitância térmica ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	16
2.2.1 Objetivo Principal	16
2.2.2 Objetivos Secundários	16
2.3 PREMISSE	17
2.4 DELIMITAÇÕES	17
2.5 LIMITAÇÕES	17
2.6 DELINEAMENTO	17
3 REQUISITOS DA NORMA DE DESEMPENHO PARA VEDAÇÕES VERTICAIS	20
3.1 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	22
3.1.1 Resistência ao Fogo	23
3.1.2 Reação ao Fogo	26
3.2 DESEMPENHO ACÚSTICO	29
3.3 DESEMPENHO TÉRMICO	33
3.3.1 Método Simplificado	34
3.3.2 Método Computacional	36
4 ALVENARIAS DE BLOCOS CERÂMICOS	39
4.1 BLOCO CERÂMICO	39
4.2 DESEMPENHO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS EM ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS	40
4.2.1 Segurança Contra Incêndio	41
4.2.1.1 Reação ao Fogo	42
4.2.1.2 Resistência ao Fogo	42
4.2.2 Desempenho Acústico	43
4.2.3 Desempenho Térmico	47
5 VEDAÇÕES VERTICAIS EM LIGHT STEEL FRAMING	50
5.1 COMPONENTES DO SISTEMA	50
5.1.1 Perfis	50
5.1.2 Painéis	51
5.1.3 Componentes de Fechamento	52

5.1.3.1 Placas OSB	53
5.1.3.2 Placas Cimentícias	54
5.1.3.3 Placa OSB tipo <i>SmartSide Panel</i>	54
5.1.3.4 Gesso Acartonado	55
5.1.4 Isolantes Térmicos e Acústicos	55
5.2 DESEMPENHO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS EM LIGHT STEEL FRAMING	56
5.2.1 Segurança Contra Incêndio	60
5.2.1.1 Reação ao Fogo	60
5.2.1.2 Resistência ao Fogo.....	60
5.2.2 Desempenho Acústico	60
5.2.3 Desempenho Térmico	62
6 COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS	66
6.1 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	66
6.1.1 Reação ao Fogo	66
6.1.2 Resistência ao Fogo	67
6.2 DESEMPENHO ACÚSTICO	68
6.3 DESEMPENHO TÉRMICO	69
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de vedação vertical são os elementos da edificação que a limitam verticalmente e fazem a compartimentação interna, ou seja, têm a função de estabelecer a separação do ambiente interno do externo e entre ambientes internos. Estes, podem assumir, ou não, função estrutural. A vedação vertical de fachada atua como uma barreira aos agentes externos indesejados, além de ser o elemento principal que define a estética das construções.

Atualmente, no Brasil, a tecnologia predominantemente empregada em sistemas de vedação externa é a alvenaria de blocos cerâmicos. O amplo uso dessa técnica pode ser explicado pela facilidade de fabricação, a qual se dá a partir da queima de argilas, e também por serem facilmente encontrados em qualquer lugar do país (NASCIMENTO, 2004). Porém, a técnica de construção em alvenaria ainda é muito artesanal, com elevados índices de desperdícios, e com grandes variações de qualidade e produtividade. Com o objetivo de atender a uma demanda crescente dos últimos anos, o setor da construção civil tem buscado sistemas construtivos mais eficientes e industrializados. Soluções que já são bastante utilizadas em outros países, como os painéis metálicos, painéis pré-fabricados de concreto, sistemas de vedação com vidros e as estruturas leves de aço, finalmente, vêm encontrando espaço na construção nacional (MEDEIROS et al., 2014).

Dentre estas soluções, destaca-se o sistema *Light Steel Framing* (LSF), o qual tem despertado grande interesse no mercado nacional. Entre as vantagens da utilização deste sistema, cita-se o aumento da produtividade, a garantia do desempenho e qualidade dos produtos, a redução dos desperdícios e o aumento da velocidade na execução das obras (SANTIAGO et al., 2012). O mercado de perfis para LSF passou a ter relevância não só no setor da construção, mas também no setor do aço, com o crescimento do consumo de galvanizados na construção. O Brasil também conta com uma eficiente infraestrutura de produção instalada para atender a todos os segmentos do mercado como edifícios residenciais, comerciais e industriais.

Light Steel Framing é um termo utilizado para sistemas construtivos de estruturas esbeltas compostas de perfis leves de aço zincado formados a frio e vedadas com painéis industrializados. O LSF como sistema de vedação externa possui diversas vantagens

construtivas em relação à alvenaria tradicional, como a simples montagem, baixo peso próprio, facilidade de manuseio e transporte e menor geração de resíduos (SANTIAGO et al., 2012).

No sistema de fechamento de fachadas em LSF os elementos de vedação devem ser constituídos por materiais de baixo peso próprio, compatíveis com o conceito da estrutura dimensionada. Outro conceito fundamental é possibilitar o emprego de componentes racionalizados e industrializados, a fim de promover maior grau de industrialização da construção. Os materiais de fechamento mais adequados também devem propiciar uma obra seca, com redução de etapas de execução que utilizam argamassas. No Brasil, esses componentes de vedação são fornecidos em placas ou chapas, de espessuras variadas, e os mais utilizados para colocação externa são o OSB (*oriented strand board*) e a placa cimentícia. Essas placas e chapas são posicionadas externamente à estrutura como uma “pele” e juntamente com os perfis vão formar as vedações internas e externas da edificação (CRASTO, 2005).

A partir de 2013, com a publicação da norma NBR 15575 o desempenho das edificações em relação a alguns critérios como conforto térmico e acústico, e segurança contra incêndio, tornaram-se requisitos importantes para definição e elaboração de projetos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a). E, apesar da tecnologia em LSF apresentar inúmeras vantagens em relação ao sistema de vedação em alvenaria, ainda existe uma resistência dos profissionais da área em utilizar o LSF. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é comparar o sistema de vedação vertical de alvenaria de blocos cerâmicos com o sistema de vedação vertical em *Light Steel Framing*. Para este trabalho são considerados na comparação critérios relacionados ao desempenho desses sistemas como segurança contra incêndio, desempenho térmico e acústico.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

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

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais as diferenças entre os sistemas de vedação vertical em *Light Steel Framing* e em alvenaria de blocos cerâmicos em relação ao desempenho térmico, acústico e segurança contra incêndio?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a comparação dos sistemas de vedação vertical em alvenaria com o fechamento em *Light Steel Framing* em relação aos desempenhos térmico, acústico e segurança contra incêndio.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) descrição dos requisitos de desempenho térmico, acústico e segurança contra incêndio da NBR 15575 para sistemas de vedação vertical;
- b) caracterização do sistema de vedação vertical em alvenaria de blocos cerâmicos;
- c) caracterização do sistema de vedação vertical em *Light Steel Framing*.

2.3 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a partir da norma NBR 15575, que entrou em vigor em 2013, o desempenho das edificações é um requisito exigido para definição de projetos elaborados pelos profissionais da área da construção civil, portanto deve-se conhecer as características dos vários sistemas disponíveis.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a comparação dos sistemas de vedação vertical em *Light Steel Framing* com placas cimentícias e painéis OSB com alvenaria de blocos cerâmicos.

2.5 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se na comparação de um sistema de alvenaria de blocos cerâmicos, a partir de dados fornecidos por um fabricante de blocos cerâmicos, com três sistemas em *Light Steel Framing* publicados pelo Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT).

2.6 DELINEAMENTO

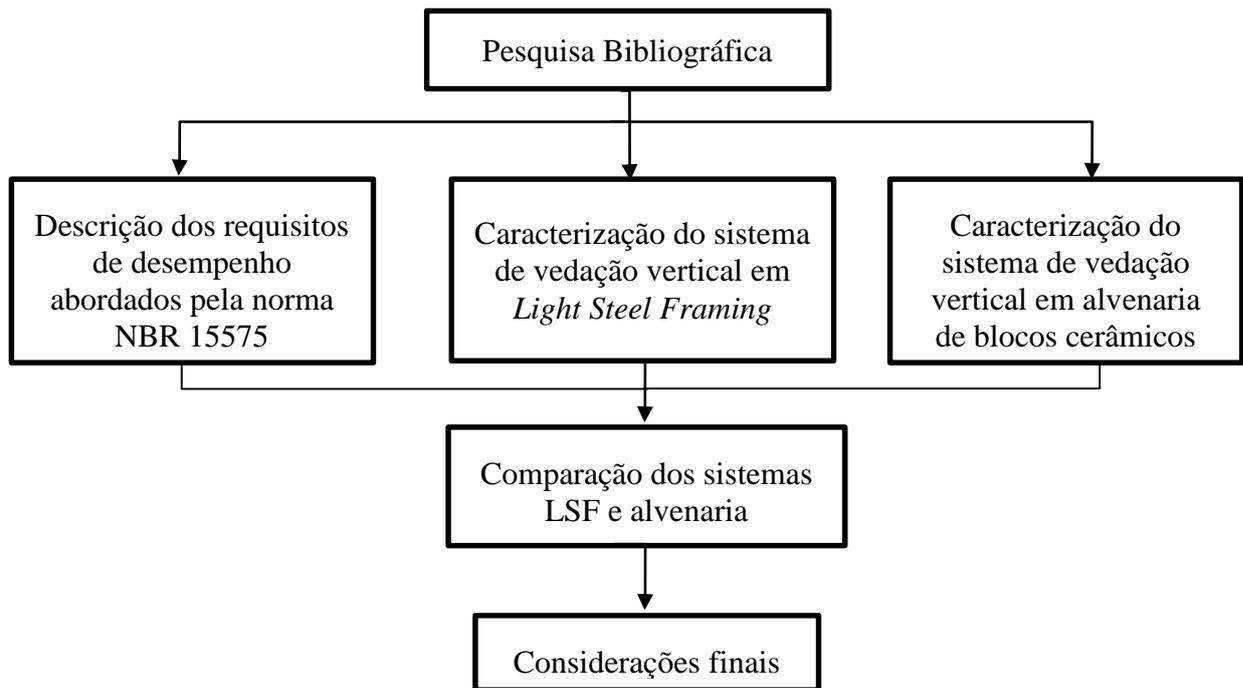
O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) apresentação dos requisitos e critérios de desempenho térmico, acústico e segurança contra incêndio abordados pela norma NBR 15575-4;
- c) caracterização do sistema de vedação vertical em alvenaria de blocos cerâmicos;
- d) caracterização do sistema de vedação vertical em *Light Steel Framing* com placas cimentícias e OSB;
- e) comparação dos sistemas de vedação vertical em alvenaria de blocos cerâmicos e LSF;
- f) considerações finais.

Primeiramente é realizada a etapa de pesquisa bibliográfica. São apresentados os requisitos e critérios de desempenho térmico, desempenho acústico e segurança contra incêndio que são exigidos na norma NBR 15575 para vedações verticais. Na etapa de caracterização do sistema

de vedação vertical em alvenaria de blocos cerâmicos e do sistema de vedação vertical em *Light Steel Framing* é apresentado um breve histórico do sistema, bem como os elementos componentes de cada sistema, o método de execução e seus desempenhos térmico, acústico e segurança contra incêndio.

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa



(fonte: elaborada pela autora)

Com as informações obtidas pelas etapas de pesquisa bibliográfica citadas anteriormente, é realizado uma comparação entre os sistemas de vedação vertical estudados. Essa comparação é feita em relação ao desempenho dos sistemas.

No capítulo 3 são apresentados os requisitos e critérios da NBR 15575 para o sistema de vedações verticais de uma edificação.

No capítulo 4 faz-se uma caracterização do sistema de vedação vertical em alvenaria de blocos cerâmicos, seus componentes, procedimento de execução, detalhes construtivos e desempenho.

No capítulo 5 faz-se uma caracterização do sistema construtivo em *Light Steel Framing*, destacando-se os elementos que constituem as vedações verticais, bem como o procedimento de execução, detalhes construtivos e desempenho.

No capítulo 6 é realizada a comparação dos dois sistemas estudados, baseada nos critérios e requisitos que a norma NBR 15575 apresenta em relação a desempenho térmico, acústico e segurança contra incêndio para as vedações verticais.

No capítulo 7 são expostos os principais pontos observados no trabalho e os resultados obtidos pela comparação dos sistemas.

3 REQUISITOS DA NORMA DE DESEMPENHO PARA AS VEDAÇÕES VERTICAIS

A Norma de Desempenho NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, 2013b) teve sua primeira versão em 2008, porém não entrou em vigor. Após passar por modificações foi, finalmente, lançada em março de 2013 e entrou em vigor em julho deste mesmo ano com o objetivo de avaliar o desempenho de edificações. Segundo Medeiros et al. (2014, p. 12) o desempenho de parte de uma edificação “[...] pode ser caracterizado como uma relação entre seu comportamento quando em uso frente às condições de exposição e o comportamento esperado por seus usuários, levando em consideração às necessidades humanas em relação ao uso da edificação.”

Adicionalmente, Lorenzi (2013) diz que o desempenho de uma edificação deve ser abordado sob um novo ponto de vista: a sustentabilidade. Segundo a autora, este novo olhar para o desempenho “[...] entra para dar uma abordagem de coerência entre os fatores que impactam no conceito de desempenho de edificações, alinhado com a atual preocupação quanto à utilização de recursos ambientais e a incorporação de novas tecnologias às edificações.” Sendo assim, os requisitos de durabilidade e manutenibilidade de uma edificação vinculam-se ao conceito de sustentabilidade.

A norma NBR 15575 é baseada em requisitos, critérios e métodos de avaliação de normas técnicas brasileiras vigentes. Aplica-se a todas as edificações habitacionais construídas a partir da sua data de entrada em vigor, independentemente do número de pavimentos, portanto não se aplica a obras já concluídas, reformas e construções provisórias (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013).

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2013) os requisitos de desempenho são as condições que representam, em termos qualitativos, as características que as edificações devem possuir. Já os critérios de desempenho são as exigências, em termos quantitativos, dos requisitos de desempenho. Esses requisitos e critérios de desempenho são estabelecidos a partir das diversas necessidades e exigências dos usuários, independentemente dos materiais que constituem a edificação.

A norma brasileira NBR 15575 é dividida em seis partes, e cada parte compreende um sistema da construção. A primeira parte do conjunto normativo estabelece os requisitos gerais de desempenho de uma edificação, as outras cinco partes são organizadas da seguinte maneira: requisitos para os sistemas estruturais, sistemas de piso, sistemas de vedações verticais, sistemas de coberturas e sistemas hidrossanitários. É a parte 4 da NBR 15575 que trata dos requisitos e critérios dos sistemas de vedações verticais, foco deste trabalho.

Baseado nas exigências do usuário, a norma estabelece os diversos requisitos e critérios de avaliação para cada sistema, como: desempenho estrutural, segurança contra incêndio, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico, desempenho térmico, acústico e lumínico, estanqueidade à água, durabilidade e manutenibilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

Dentre os sistemas que compõe uma edificação, o sistema de vedações verticais externas são os principais elementos de estética de um edifício, além de serem componentes importantes para a determinação do desempenho de uma edificação. Devido a sua importância para a construção como um sistema, detalhes de projetos e execução devem ser especificados. Por estarem expostos às intempéries, variações de temperatura, chuva e até mesmo a agentes poluidores, é de extrema importância se ter o conhecimento dos materiais empregados nesses sistemas, a fim de que possam resistir a essa demanda.

De acordo com a norma NBR 15575-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. [7]) vedações verticais são “[...] partes da edificação habitacional que limitam a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas.” Dentro desse subsistema existem dois tipos distintos de vedações verticais: as internas, relacionadas a separação dos ambientes internos, e as externas, aquelas que se situam na fachada da edificação, ou seja, separam os ambientes interno e externo.

As vedações verticais externas exercem uma série de funções em relação a proteção do interior das edificações. Entre elas, destacam-se: resistir às cargas de vento e às solicitações das tentativas de intrusão; resistir à ação do fogo, sem contribuir com a propagação da chama; isolar acusticamente os ambientes; contribuir com o conforto térmico e impedir entrada de ar e de chuva no interior dos ambientes. Como fachadas também possuem funções estéticas da edificação.

A lista de exigências do usuário que a norma apresenta estão divididas em termos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. As exigências relacionadas com a segurança abordam os fatores de segurança estrutural, contra incêndio e segurança no uso e na operação. Em relação à habitabilidade, são considerados os fatores de estanqueidade, desempenho térmico, acústico e lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, e conforto tátil e antropodinâmico. Já em relação à sustentabilidade as exigências são apresentadas pelos fatores de durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

Este trabalho aborda, o fator de segurança contra incêndio das vedações verticais, relativo ao desempenho de segurança, e o desempenho térmico e acústico, relativo à habitabilidade.

Neste capítulo são apresentados os requisitos e critérios de desempenho para as vedações verticais que são abordados na norma NBR 15575.

3.1 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

A preocupação com a segurança de uma edificação em uma situação de incêndio se dá pelo fato de que, com o aumento da temperatura ocorre a redução da resistência e do módulo de elasticidade dos elementos estruturais. Com essa variação de temperatura, também surgem esforços solicitantes adicionais pelas deformações térmicas que são observadas (SILVA, 1997). Devido a essas mudanças nas propriedades dos materiais e do aumento de solicitações, é necessário que se conheça o desempenho dos elementos da construção em altas temperaturas para garantir a segurança dos usuários.

A segurança de uma edificação contra incêndio é avaliada pela Norma de Desempenho NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, 2013b) por uma série de requisitos que visam, primeiramente, a integridade física dos usuários e, em segundo plano, a própria segurança do edifício. Dentre os sistemas que são avaliados pela norma, o sistema de vedação vertical é o que proporciona a compartimentação horizontal do fogo em uma edificação. Papel esse de extrema importância em uma situação de incêndio, pois quando constituído de elementos resistentes ao fogo, evitam a propagação do fogo, calor, fumaça e gases dentro de um mesmo pavimento (CALDAS, 2008).

O sistema de vedação vertical em uma edificação tem sua importância em uma situação de incêndio, pois tem a função de compartimentá-la horizontalmente. A compartimentação horizontal funciona como uma medida de proteção passiva contra incêndio, separando os ambientes de forma com que o incêndio fique restrito no local de origem e não se propague horizontalmente (SÃO PAULO, 2015a).

3.1.1 Resistência ao Fogo

Segundo a NBR 15575-4 os sistemas de vedação vertical devem atender ao desempenho de resistência ao fogo. Requisito da norma que prevê para os elementos estruturais e de compartimentação a função de dificultar a propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b).

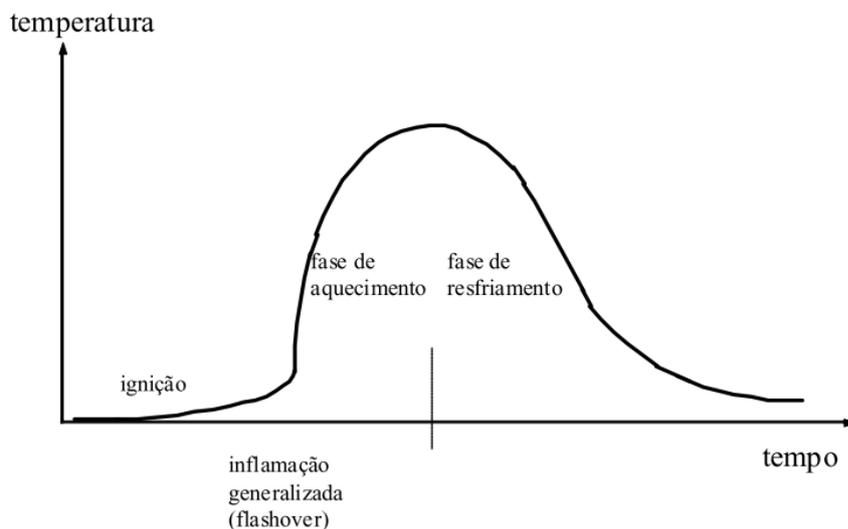
De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2013) a resistência ao fogo de uma edificação é avaliada pelo tempo que os elementos de construção asseguram três principais propriedades em uma situação de incêndio: a estabilidade, a estanqueidade e a isolamento térmica.

A estabilidade está associada à capacidade de não entrar em colapso por perda de resistência. O isolamento térmico, segundo Caldas (2008), está relacionado com a capacidade do elemento de vedação em impedir o aumento excessivo da temperatura na superfície não exposta ao incêndio. E, de acordo com a definição citada na NBR 14432 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001a), estanqueidade é a capacidade de um componente construtivo de garantir que não ocorram fissuras ou aberturas, a partir das quais pode facilitar a passagem de chamas e gases quentes suficientes para ignizar um chumaço de algodão. Pensando em uma edificação, a estanqueidade de um elemento de vedação vertical dificulta a propagação do incêndio, evitando que as chamas incidam sobre outros ambientes que, inicialmente, não estavam expostos ao incêndio.

A fim de preservar a vida humana, a norma prevê um tempo mínimo de resistência que possibilite a fuga dos usuários presentes na edificação antes de ocorrer o colapso dos elementos da construção. Esse tempo é chamado de Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) e determinado em fornos de ensaios com uma variação de temperatura que obedece a curva padronizada de acordo com a norma ISO 834 (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013).

Segundo Silva (1997), a principal característica de um incêndio que deve ser considerada em um estudo de comportamento de estrutura é a curva de temperatura dos gases em função do tempo. Essa curva, mostrada na figura 2, inicia-se com temperaturas baixas, esse intervalo de tempo é chamado de princípio de incêndio, quando ainda não é prejudicial para a integridade da estrutura, o incêndio é localizado e ainda é possível controlar as chamas sem maiores dificuldades. O ponto antes de iniciar a região de inclinação ascendente brusca da curva, denominado como ponto de *flashover*, é quando ocorre a inflamação generalizada do local e o aumento considerável da temperatura dos gases no ambiente. A redução da temperatura só irá ocorrer quando todo o material combustível se extinguir, como se pode observar na região descendente da curva.

Figura 2 – Curva temperatura x tempo de um incêndio natural



(fonte: SILVA, 1997)

A curva temperatura x tempo em um incêndio pode alterar-se em função de uma série de variáveis como dimensões do compartimento, carga de incêndio e grau de ventilação. Para fins de estudos e análises experimentais das estruturas em ensaios, adotou-se uma curva padronizada como modelo, este é denominado como modelo do incêndio-padrão, apresentada na figura 3. As curvas chamadas de incêndio-padrão têm a característica principal de possuir apenas um ramo ascendente, e são independentes das características do ambiente e dos materiais que o constituem (SILVA, 1997).

A norma NBR 5628 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001b) apresenta o método de ensaio que determina a resistência ao fogo de componentes estruturais,

para casos em que a parede possui função estrutural. Para paredes de vedação sem função estrutural é a norma NBR 10636 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989) que determina o ensaio de resistência ao fogo. Os ensaios são realizados em um forno onde o corpo de prova é submetido a uma variação de temperatura. Essa temperatura é definida pela curva padrão temperatura x tempo expressa pela fórmula 1.

$$T = T_0 + 345 \log (8t + 1) \quad (\text{fórmula 1})$$

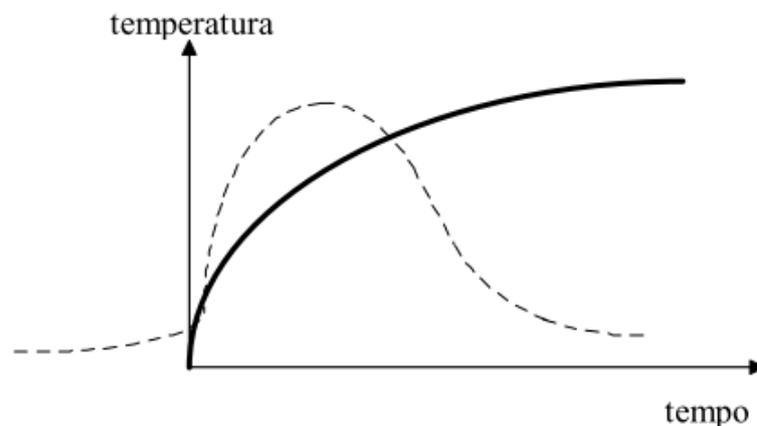
Sendo:

T = temperatura do forno no tempo t;

T₀ = temperatura inicial do forno;

t = tempo de ensaio.

Figura 3 – Curva temperatura x tempo de um incêndio-padrão



(fonte: SILVA, 1997)

A Norma de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b) estabelece os seguintes Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRF), apresentados na tabela 1, para os sistemas de vedação vertical em casos de edificações habitacionais de até cinco pavimentos.

Tabela 1 – Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo

ELEMENTOS DE VEDAÇÃO VERTICAL	TRRF (min)
Paredes estruturais	30
Paredes de geminção	30

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b)

3.1.2 Reação ao Fogo

Além da resistência ao fogo dos elementos de construção, outro critério avaliado pela Norma de Desempenho é a reação ao fogo dos materiais que constituem a edificação. A natureza das superfícies dos elementos construtivos pode ser responsável por extinguir ou propagar um foco de incêndio (SÃO PAULO, 2015b). Por esse fator, os materiais projetados para revestimento das vedações verticais, devem ser conhecidos e especificados, pois também atuam como uma medida de proteção passiva contra incêndio quando constituídos de materiais com propriedades adequadas para tal.

Para os sistemas de vedações verticais a norma prevê a avaliação de reação ao fogo dos materiais da superfície do lado interno e da face externa das vedações de fachada, bem como o material que compõe o miolo das mesmas, como isolantes térmicos e absorventes acústicos. Baseado em ensaios a norma identifica dez classes de materiais, que são apresentados nos quadros 1 e 2 seguintes.

No quadro 1 os materiais são classificados em dez classes conforme três métodos de ensaio. No método de ensaio definido na norma ISO 1182 classifica-se o material como incombustível ou combustível. Neste método verifica-se a liberação de calor, o desenvolvimento de chamas e a perda de massa de um corpo de prova colocado em um forno cerâmico e aquecido externamente, cuja temperatura é mantida em 750°C (SÃO PAULO, 2015b). Já o método do painel radiante determinado pela norma NBR 9442, classifica o material entre as classes II, III, IV, V e VI através da verificação do índice de propagação superficial de chama (Ip). Nesse ensaio os corpos de prova são colocados em frente a um a um painel radiante poroso com uma inclinação de 60° e aplica-se uma chama piloto na extremidade superior do mesmo. O índice de propagação de chama é obtido através do tempo para que a chama atinja distâncias padronizadas no suporte metálico e pelo fator de evolução de calor desenvolvido pelo material, medido por

sensores de temperatura localizados na chaminé sobre o corpo de prova (SÃO PAULO, 2015a). O terceiro ensaio, que classifica o material entre A e B dentro das classes II, III, IV e V, é o método de ensaio definido pela norma ASTM E662. Através dele obtém-se a densidade específica óptica máxima de fumaça. Nesse ensaio utiliza-se uma câmara fechada onde é medida a fumaça gerada por materiais sólidos, de acordo com São Paulo (2015a, p. [19]) “A medição é feita pela atenuação de um raio de luz em razão do acúmulo da fumaça gerada na decomposição pirolítica e na combustão com chama.”

Quadro 1 – Classificação dos materiais com base no método da NBR 9442

Método de ensaio		ISO 1182	NBR 9442	ASTM E 662
Classe				
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$; $\Delta m \leq 50\%$; $t_r \leq 10\text{ s}$	-	-
II	A	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m > 450$
III	A	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m > 450$
IV	A	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m > 450$
V	A	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m > 450$
VI		Combustível	$l_p > 400$	-

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b)

Porém, de acordo com a NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. [21]) o método de ensaio de reação ao fogo da NBR 9442 não é apropriado para as seguintes situações:

- a) quando ocorre derretimento ou o material sofre retração abrupta afastando-se da chama-piloto;
- b) quando o material é composto por miolo combustível protegido por barreira incombustível ou que pode se desagregar;
- c) materiais compostos por diversas camadas de materiais combustíveis apresentando espessura total superior a 25 mm;
- d) materiais que na instalação conformam juntas através das quais, especialmente, o fogo pode propagar ou penetrar.

Em casos em que o método de ensaio da NBR 9442 não é apropriado, a classificação dos materiais deve ser feita de acordo com os métodos e classificações do quadro 2.

No quadro 2 a classificação dos materiais tem como base o método EN 13823 e também são utilizados três métodos de avaliação. Além do método ISO 1182 já citado anteriormente, classificando o material como incombustível ou combustível, são usados os métodos de ensaios especificados na norma EN 13823 e EN ISO 11925-2. No método descrito na norma EN 13823 determina-se o desempenho quanto a reação ao fogo dos materiais, classificando-os em quatro classes: II, III, IV e V. Nesse ensaio os corpos de prova em forma de “L” são colocados em um queimador que produz uma chama padrão, e a partir da sua queima os seguintes resultados são obtidos: índice da taxa de desenvolvimento de calor (FIGRA), propagação da chama (LFS), liberação total de calor do material nos primeiros 600s (THR600s), índice da taxa de desenvolvimento de fumaça (SMOGRA), produção total de fumaça nos primeiros 600s de exposição às chamas (TSP600s) (SÃO PAULO, 2015b). O método de ensaio especificado na norma EN 11925-2 é utilizado para classificar o material na classe VI. Nesse ensaio os corpos de prova são expostos à uma chama padrão em uma câmara fechada e, é então, verificado a propagação da chama, controlando o tempo que a mesma leva para atingir a marca de 150 mm, chamada de tempo de flamejamento (FS) (SÃO PAULO, 2015b).

Para atender ao requisito da norma de dificultar a ocorrência da inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio, os materiais da face interna das vedações verticais devem classificar-se como (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. [19-20]):

- a) I, II A ou III A, quando estiverem associados a espaços de cozinha;
- b) I, II A, III A, ou IV A, quando estiverem associados a outros locais internos da habitação;
- c) I ou II A, quando estiverem associados a locais de uso comum da edificação;
- d) I ou II A, quando estiverem associadas ao interior de escadas, porém com Dm inferior a 100.

Assim como as superfícies internas dos sistemas de vedação vertical, os materiais que constituem o miolo das paredes, tanto externas como internas, devem classificar-se como I, II A ou III A (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b).

Quadro 2 – Classificação dos materiais com base no método EN 13823

Método de ensaio		ISO 1182	EN 13823 (SBI)	EN ISO 11925-2 (exp. = 30 s)
Classe				
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$; $\Delta m \leq 50\%$; $t_e \leq 10 \text{ s}$	-	-
II	A	Combustível	FIGRA $\leq 120 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 120 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
III	A	Combustível	FIGRA $\leq 250 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 250 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
IV	A	Combustível	FIGRA $\leq 750 \text{ W/s}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	A	Combustível	FIGRA $\leq 750 \text{ W/s}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
V	A	Combustível	FIGRA $> 750 \text{ W/s}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s
	B	Combustível	FIGRA $> 750 \text{ W/s}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s
VI		-	-	FS $> 150 \text{ mm}$ em 20 s

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b)

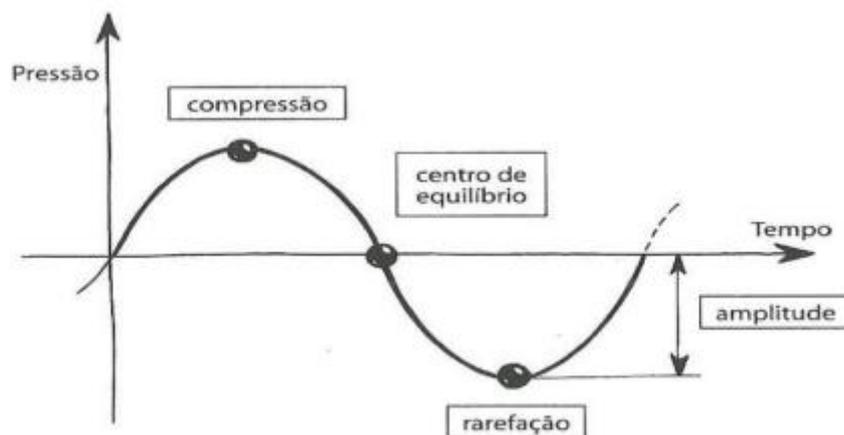
3.2 DESEMPENHO ACÚSTICO

Devido ao crescimento das cidades e aumento do número de veículos que circulam pelas ruas, a poluição sonora das grandes cidades vem sendo um motivo de preocupação. Além do desconforto acústico, muitas vezes esses ruídos podem causar prejuízos para a saúde do ser humano quando são expostos por um período prologado, como a perda de audição (GERGES 2000). Ao mesmo tempo que aumentam os ruídos provenientes de fontes externas das edificações, as paredes estão sendo construídas cada vez menos espessas, por questões de economia de material e aumento de área útil das construções, o que prejudica ainda mais o isolamento acústico de uma edificação. As paredes de fachada possuem a função de proteger acusticamente as unidades habitacionais de sons externos. Já as paredes internas de geminação devem garantir que ruídos provenientes de vizinhos não prejudiquem o bem-estar dos usuários, que muitas vezes geram conflitos na vizinhança. Em razão desses fatores, a norma NBR 15575 estabelece requisitos mínimos de desempenho acústico para as vedações verticais externas e internas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b).

De acordo com Radavelli (2014) o som ou ruído aéreo é causado pela excitação do ar gerado por alguma fonte sonora. As partículas de ar, quando estimuladas, sofrem sucessivas compressões e rarefação, de modo que esse movimento provoque a vibração da partícula vizinha, o que resulta na propagação sonora (SOUZA et al., 2012). Gerges (2000) diferencia os conceitos de som e ruído, definindo som como todo barulho que faz parte do cotidiano de uma pessoa como uma música tocando, o canto de pássaros, o barulho do vento, da chuva, já o ruído são todos esses sons que são desagradáveis e indesejados. Portanto o ruído não possui uma característica própria como amplitude e frequência, pois o que para um usuário é som, para outro pode ser um ruído. Neste trabalho, como tratamos do conforto do usuário, será utilizado o termo ruído, pois será considerado como indesejado tipo de som.

O ruído tem origem pela variação da pressão ou da velocidade das moléculas do meio, e é representado por seguidas compressões e rarefações do meio a partir de uma fonte geradora de som (GERGES, 2000). É conhecida como frequência o número de vezes que uma partícula completa esse ciclo de compressão e rarefação em um determinado intervalo de tempo, medida em Hertz (Hz). Souza et al. (2012) também destacam os conceitos de altura e intensidade do som, a primeira refere-se à frequência, enquanto a segunda á amplitude de pressão, esses conceitos estão esquematizados na figura 4. Para que o ouvido humano seja capaz de escutar um ruído, essas duas propriedades do som devem consideradas, a faixa de frequência deve estar entre 20 Hz e 15000 Hz e a amplitude mínima de pressão é de 2×10^{-5} Pa (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013).

Figura 4 – Amplitude e frequência da onda sonora



(fonte: SOUZA et al., 2012)

A fim de desprezar as frações decimais e quantificar os sons por valores inteiros, desenvolveu-se o Decibel (dB), representado pela expressão logarítmica apresentada na fórmula 1.

$$\text{NPS} = 20 * \log (P/P_0) \quad (\text{fórmula 2})$$

Sendo:

NPS = nível de pressão sonora;

P = pressão sonora;

P₀ = pressão sonora de referência.

A norma NBR 15575 aborda os critérios de desempenho acústico de uma edificação baseada na isolamento do som, ou seja, na perda de energia sonora, e não apresenta critérios de conforto acústico (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013). Para a determinação da perda de transmissão sonora a norma apresenta um método realizado em laboratório, e outros dois que são realizados em campo. Para este trabalho, será considerado apenas o método de precisão, realizado em laboratório, que determina a isolamento sonora dos elementos construtivos isoladamente, como uma parede, uma porta, uma janela (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b). Com o ensaio de cada elemento, pode-se obter um valor de isolamento global, por exemplo, de uma parede com janela, calculado por meio de fórmulas, esse valor é expressão em dB e adota-se o símbolo R_w, chamado de índice de redução sonora ponderado (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013).

O ensaio pelo método de precisão, descrito na norma ISO 10140-2, é realizado através de duas câmaras reverberantes adjacentes com o elemento de teste instalado entre elas. Assim, a perda de transmissão sonora é obtida a partir da diferença dos valores medidos de pressão sonora em cada ambiente (RADAVELLI, 2014).

A NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b) estabelece valores de referência para isolamento sonora de componentes, elementos e sistemas construtivos utilizados nas paredes de vedação entre ambientes, de acordo com o quadro 3. Para os componentes e elementos utilizados nas paredes de vedação de fachada, os valores estão apresentados no quadro 4. Os valores do quadro 4 são referentes ao desempenho de uma parede de fachada, constituída de parede, porta e janelas. Esses valores de índice de redução sonora

por elemento, são sugeridos pela norma para que, em um ensaio de campo, um conjunto de parede, janelas e porta atendam ao requisito de desempenho acústico pelo método de engenharia. Nos quadros 3 e 4 são apresentados os valores de nível de desempenho mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) para o índice de redução sonora de vedações, como proposto na NBR 15575.

Quadro 3 – Valores de índice de redução sonora ponderado, R_w para vedações entre ambientes

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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b)

Quadro 4 – Valores de índice de redução sonora ponderado R_w para fachadas

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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b)

3.3 DESEMPENHO TÉRMICO

Para o ser humano as condições térmicas ideais são aquelas nas quais a troca de calor entre o corpo humano e o ambiente não necessitam de grande liberação de calor para manter a temperatura interna do corpo na faixa dos 37°C. A sensação de conforto térmico também pode ser um fator importante para melhores condições de vida e de saúde, já que o organismo pode funcionar sem que ocorra fadiga ou estresse. Desse modo, o desempenho térmico adequado de uma edificação é a capacidade dos elementos de construção de proporcionar aos usuários esse conforto. Independentemente das condições externas, as edificações devem ser capazes de oferecer, no seu interior, as condições térmicas ideais e compatíveis ao conforto humano (FROTA; SCHIFFER, 2001).

O desempenho térmico de uma edificação depende de diversas características, tanto do local de onde está localizada, quanto da própria edificação, como os materiais que a constituem, orientação solar, dimensões dos cômodos, entre outras (RIBAS et al., 2013). Dentre os componentes que fazem parte de uma edificação, destaca-se a importância dos sistemas de fechamentos verticais de fachada, pois são os principais elementos que determinam os níveis de desempenho térmico no ambiente construído (RIBAS et al., 2013).

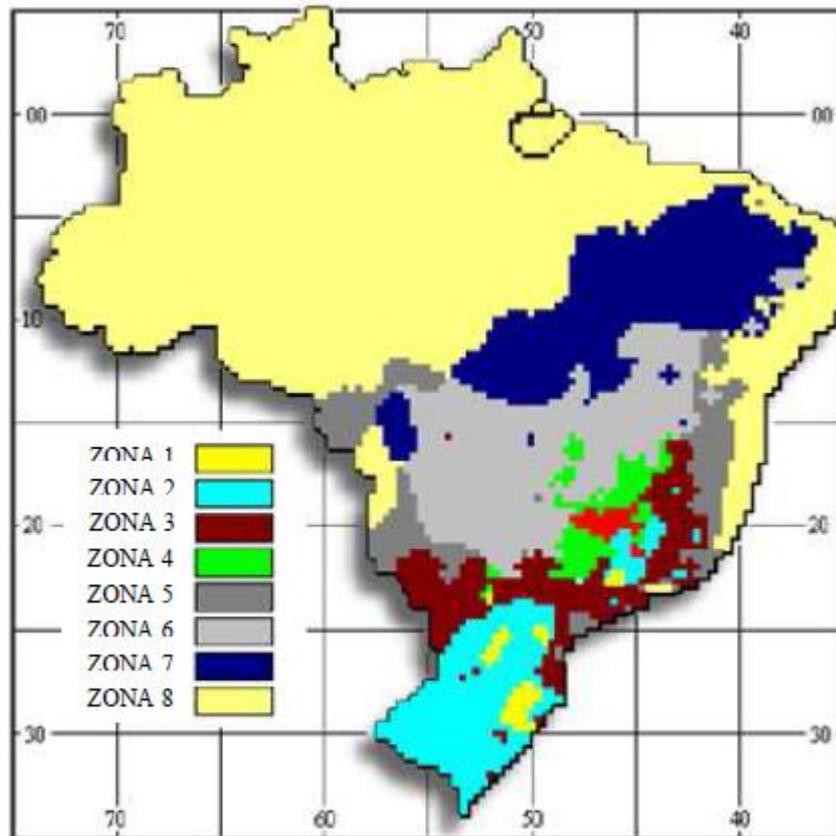
As características do local onde a edificação está situada, como topografia, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento, entre outros fatores climáticos, são tratadas na norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b) pela divisão do território brasileiro em oito regiões bioclimáticas, conforme ilustrado na figura 5. Essas oito zonas são caracterizadas e classificadas na norma NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a) em relação às médias mensais das temperaturas máximas e mínimas, e das umidades relativas do ar.

O desempenho térmico é avaliado conforme o dia típico de inverno e de verão para cada uma das zonas climáticas, esses são estabelecidos pela temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar para o dia mais frio e mais quente do ano (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013).

Para que o conforto térmico das edificações seja atendido, a Norma de Desempenho apresenta os requisitos e critérios para avaliar o desempenho térmico das vedações verticais de fachada de uma edificação. Segundo a NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

TÉCNICAS, 2013b), a avaliação pode ser feita, primeiramente, pelo procedimento simplificado de análise, e, caso o sistema não atenda aos critérios exigidos, deve-se aplicar o método de análise por simulação computacional.

Figura 5 – Zonas bioclimáticas brasileiras



(fonte: LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES, 2004¹ apud LORENZI, 2013)

3.3.1 Método Simplificado

Para o procedimento de análise com o método simplificado, a norma apresenta dois critérios que devem ser atendidos pelas paredes externas: valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U), e a capacidade térmica das mesmas (CT). A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2013, p. 37) define a transmitância térmica como a “Transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de elemento ou componente

¹ LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES – LABESEE/UFSC. **Desempenho Térmico de Edificações. Aula 12: Diretrizes Construtivas para Habitações no Brasil – NBR 15575. 2004.**

construtivo [...]”. Já a capacidade térmica, segundo mesmo autor é a “Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema [...]”.

Os valores admissíveis para a transmitância térmica dos sistemas de vedações verticais de fachadas considerados pela NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b) estão apresentados no quadro 5.

Quadro 5 – Valores máximos admitidos para transmitância térmica

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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b)

O quadro 6 apresenta os valores mínimos que a Norma de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b) admite para a capacidade térmica (CT) das paredes externas.

Quadro 6 – Valores mínimos admitidos para capacidade térmica

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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b)

Quando comparados os valores obtidos de U e CT de ensaios com os valores apresentados no quadro 5 e 6, e ocorra simultaneamente $U \leq U_{\text{limite}}$ e $CT \geq CT_{\text{limite}}$, considera-se que a parede atende ao nível Mínimo (M) de desempenho. Quando o desempenho mínimo não é atingido ou se deseja classificar a parede como nível Intermediário (I), ou superior (S), a norma prevê uma análise mais detalhada pelo método de simulação computacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b).

Apesar da norma não exigir a avaliação pelo método de simulação, caso os elementos de vedação externa atinjam os requisitos estabelecidos pelo método simplificado, Sorgato et al. (2014) consideram que essa ferramenta de avaliação não é eficiente e pode gerar incertezas nos resultados.

3.3.2 Método Computacional

Conforme estabelecido na norma, quando o componente de vedação externa não atinge os valores mínimos de transmitância térmica e capacidade térmica é necessário fazer a análise do desempenho térmico pelo método de simulação computacional.

O procedimento de análise por método computacional, recomendado pela NBR 15575, é realizado através do programa de simulação do comportamento térmico das edificações *EnergyPlus*. Para isso, *software* deve reproduzir diversas características do projeto, como localização geográfica, dados climáticos, dimensões dos cômodos, tamanho das aberturas e materiais que constituem as paredes e cobertura (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013).

O programa deve ser alimentado com informações sobre a localização geográfica e os dados climáticos da região que se deseja estudar. Para as condições climáticas, são considerados os dias típicos de inverno e verão, que inclui temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, para o dia mais frio e mais quente do ano, respectivamente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a). Para cada uma das oito zonas bioclimáticas existe um conjunto dessas características climáticas variáveis. Além dos dados climáticos e geometria do modelo, as propriedades térmicas dos materiais como: condutividade térmica, calor específico, densidade de massa aparente, emissividade, absorvância à radiação solar e resistência térmica também devem ser fornecidas ao programa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

Os quadros 7 e 8 apresentam os critérios de avaliação de desempenho mínimo (M), intermediários (I) e superior (S) para as condições de inverno e verão, respectivamente, de acordo com o método de simulação.

Na avaliação do desempenho térmico da edificação para um dia típico de inverno os critérios são separados em dois grupos de zonas bioclimáticas. Nas zonas 1, 2, 3, 4 e 5 para a edificação

atingir ao nível mínimo de desempenho a temperatura interna mínima diária deve ser maior ou igual a temperatura externa mínima diária mais 3°C. O desempenho intermediário é atendido quando a temperatura interna mínima diária é maior ou igual a temperatura externa mínima diária mais 5°C e o superior mais 7°C. Já para as zonas 6, 7 e 8 este critério não precisa ser verificado.

Quadro 7 – Critério de avaliação do desempenho térmico para dia típico de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^\circ \text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^\circ \text{C})$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^\circ \text{C})$	
<p>$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p>NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a)

Quadro 8 – Critério de avaliação do desempenho térmico para dia típico de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1\text{o C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{o C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1\text{o C})$
<p>$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p>NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a)

Para os dias típicos de verão os critérios são divididos em um grupo das zonas bioclimáticas 1 a 7 e outro para a zona 8. Para os dois grupos, o nível mínimo de desempenho é atendido quando a temperatura interna máxima diária for menor ou igual a temperatura externa máxima diária. Nas zonas 1 a 7 o desempenho intermediário é atingido quando a temperatura interna máxima não for maior que a temperatura externa máxima diária diminuída de 2°C e o desempenho superior de 4°C. Para a zona 8 o nível de desempenho considerado intermediário pela NBR 15575 é quando a temperatura interna máxima for menor ou igual a temperatura externa máxima diária menos 1°C. Já o nível de desempenho superior é atingido na zona 8 quando a temperatura interna máxima diária for menor ou igual a temperatura máxima externa diminuída de 2°C e a temperatura interna mínima menor ou igual a temperatura externa mínima acrescida de 1°C.

Esses critérios são comparados com valores máximos e mínimos de temperatura apenas no interior dos ambientes destinados a salas e dormitórios, pois são os ambientes considerados de permanência prolongada (SORGATO et al. 2014). A norma também adota a taxa de ventilação de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora e janelas sem nenhuma proteção contra a radiação solar (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013). Em relação a cor das paredes expostas, na Norma de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a) recomenda-se simular três situações para fachada, cor clara, cor média e cor escura, modificando o valor da absorvância à radiação solar das paredes externas, 0,3, 0,5 e 0,7 respectivamente.

Quando a edificação não atende aos critérios estabelecidos pelo quadro 8, a norma prevê algumas alterações nas condições citadas acima através de duas estratégias: aumentando a taxa de ventilação para cinco renovações do volume de ar no ambiente; inserindo uma proteção solar que reduza a radiação solar em no mínimo 50%; ou combinando as duas estratégias simultaneamente (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013).

Apesar do método por simulação computacional agregar quase todas as características da edificação em análise, Sorgato et al. (2014) avaliam que o método não se enquadra com a realidade de uso, pois não considera as cargas internas de ocupação, iluminação e equipamentos. Sorgato et al. (2014) consideram essas condições grandes influentes para o desempenho térmico, podendo, se considerados, gerarem resultados completamente diferentes dos estimados pelo método de simulação da norma.

4 ALVENARIAS DE BLOCOS CERÂMICOS

As alvenarias de vedação são paredes constituídas por unidades de tijolos maciços ou blocos vazados assentados com argamassa. Elas possuem a função de fechamento de uma edificação e de dividir internamente os ambientes.

Segundo Nascimento (2004) pode-se dividir as alvenarias quanto à utilização e função em dois grupos: alvenarias autoportantes e alvenarias de vedação. As alvenarias autoportantes têm função estrutural, ou seja, são destinadas a absorver as cargas das lajes e sobrecargas. Já as alvenarias de vedação são os elementos destinados à separação de ambientes e ao fechamento de áreas sob estruturas.

A Associação Brasileira da Construção Industrializada (1990, p. 17) apresenta diferentes definições para alvenaria. Primeiramente, um conceito clássico de alvenaria, onde “as alvenarias são maciços constituídos de pedras naturais ou artificiais, ligadas entre si de modo estável pela combinação das juntas e interposição de argamassa ou somente por um desses meios.” Também define a alvenaria moderna de blocos industrializados da seguinte maneira:

São construções formadas por blocos industrializados de diversos materiais, suscetíveis de serem projetadas para resistirem a esforços de compressão única ou ainda a uma combinação de esforços, ligados entre si pela interposição de argamassa e podendo ainda conter armadura envolta em concreto ou argamassa no plano horizontal e/ou vertical.

A alvenaria, além de exercer diversas funções em uma edificação, do ponto de vista arquitetônico também tem a vantagem de ter flexibilidade de forma. Pode-se ter arranjos complexos de parede, incluindo paredes curvas, facilmente construídas sem grandes custos com formas (HENDRY, 2001, tradução nossa).

4.1 BLOCO CERÂMICO

Chama-se de blocos os componentes industrializados utilizados na execução de alvenarias. Esses blocos são encontrados em diversos modelos, dimensões e materiais. Os principais tipos de blocos que podem ser utilizados em alvenarias de vedação são de: cerâmica, concreto, sílico-calcário e concreto celular autoclavado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO

INDUSTRIALIZADA, 1990). Todos esses blocos têm usos semelhantes, porém suas propriedades se diferem em aspectos importantes, devido às matérias prima e processo utilizado na fabricação (HENDRY, 2001).

Os principais constituintes da argila para fabricação de blocos cerâmicos são a sílica e a alumina, em variadas quantidades também possui carbonato de cálcio, cal, óxido de ferro, entre outros componentes em menores proporções (LYONS, 2006, tradução nossa).

Os blocos podem ser classificados em relação a sua área útil, vazados, perfurados e maciços. Eles são considerados vazados quando possuem a sua seção transversal útil inferior a 70% da seção transversal bruta. Quando a porcentagem estiver entre 70% e 100%, os blocos ou tijolos possuem pequenos furos perpendiculares à face de assentamento e são classificados como perfurados. Já os maciços têm essa porcentagem igual a 100% (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA, 1990).

A norma NBR 15270-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 1-2) define bloco cerâmico de vedação como o “componente da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm”. São aqueles que “constituem as alvenarias internas ou externas que não tem função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte”.

Os blocos cerâmicos vazados são facilmente fabricados a partir da queima de argilas, podendo ser encontrados em qualquer lugar do país. São de emprego comum na construção civil, pela conhecida técnica de execução e facilidade de manuseio, esta devido à baixa densidade do material, na média de 1300 kg/m³ (NASCIMENTO, 2004).

4.2 DESEMPENHO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS EM ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS

A execução e os detalhes construtivos do sistema de vedação vertical têm grande influência no desempenho acústico, térmico e segurança contra incêndio de uma edificação. Pois, locais de interface entre diferentes materiais, apresentam-se como pontos mais frágeis da alvenaria (Thomaz, 2009). Uma fissura na alvenaria, por exemplo, pode ser um ponto de passagem de fumaça em uma situação de incêndio, não assegurando a estanqueidade necessária. As fissuras

nas alvenarias de vedação também interferem diretamente seu desempenho acústico. Por isso, Silva (2015, p. 5) destaca:

As atividades de instalação ou execução da obra poderão afetar o desempenho de um subsistema ou componente construtivo, cabendo à gestão da obra identificar quais são estas possíveis influências e ter planejamento da qualidade e do controle tecnológico, para assegurar que o desempenho projetado seja efetivamente atingido.

Para os dados apresentados neste capítulo foi considerado que as construções dos modelos de ensaios foram baseadas na boa prática e não apresentam falhas de execução.

As vedações verticais em alvenaria devem atender aos requisitos e critérios apresentados no capítulo 3. De acordo com Silva (2015), a espessura do revestimento é uma das condições de execução que influencia no desempenho térmico, acústico e segurança contra incêndio. O adequado preenchimento das juntas também é citado pelo autor como um procedimento que pode melhorar o desempenho acústico e segurança contra incêndio das paredes de alvenaria de blocos cerâmicos.

Os resultados de ensaios de desempenho apresentados são obtidos através de um estudo de desempenho de sistemas de alvenaria com blocos cerâmicos baseado na NBR 15575 realizados pelo fabricante de blocos cerâmicos Pauluzzi. Esse estudo é apresentado em forma de um manual, e tem como objetivo de orientar projetistas e empreendedores sobre o desempenho que estão adquirindo em seus produtos. Porém, os resultados de ensaios e avaliações ficam limitados às configurações (como tipo de bloco, revestimento e juntas) analisadas pelo fabricante. Lembrando que as condições de execução também podem modificar os resultados de desempenho.

4.2.1 Segurança contra Incêndio

O manual da Pauluzzi (SILVA, 2015) avaliou a segurança contra incêndio de vedações verticais em alvenaria de blocos cerâmicos segundo os critérios e requisitos da NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b). As configurações de paredes analisadas por Silva (2015) para o critério de segurança contra incêndio estão apresentadas no quadro 9. Para a obtenção do TRRF, as amostras foram confeccionadas sem aberturas, com dimensões 3150mm x 3000mm, com apenas 2500mm x 2500mm de superfície exposta diretamente ao fogo, também foi considerado um carregamento de 24 tf (SILVA, 2015).

Quadro 9 – Configuração de parede de alvenaria de blocos cerâmicos ensaiada para verificação da segurança contra incêndio

CONFIGURAÇÃO	REVESTIMENTO
PA - 01	CHAPISCO 1:3 REBOCO 1,5 cm (em ambos os lados)

(fonte: elaborado pela autora)

4.2.1.1 Reação ao fogo

De acordo com São Paulo (2015b) as configurações de paredes de alvenaria são compostas por materiais incombustíveis, tanto os blocos cerâmicos quanto a argamassa de revestimento, e de acordo com os quadros 1 e 2 são considerados materiais de Classe I, não propagadoras de chamas e fumaças.

4.2.1.2 Resistência ao fogo

Segundo Silva (2015), a PA – 01 apresentou um TRRF de 240 minutos, com os dois blocos ensaiados. Durante o período de ensaio os corpos de prova atenderam as exigências de estabilidade, isolamento térmico e estanqueidade. A tabela 2 apresenta o resultado de atendimento à norma de acordo com a tabela 1. Os marcadores na cor verde indicam o atendimento à NBR 15575.

Tabela 2 – Resistência ao fogo das paredes de alvenaria de blocos cerâmicos

CONFIGURAÇÃO	BLOCO	TRRF (min)	CONFORMIDADE COM A NBR 15575
PA - 01	14x19x29cm	240	●
	19x19x29cm	240	●

(fonte: elaborado pela autora com dados obtidos de Silva, 2015)

4.2.2 Desempenho Acústico

O desempenho acústico de sistemas de alvenaria de blocos cerâmicos apresentado no manual da Pauluzzi (SILVA, 2015) avaliou diversas configurações de parede. Para este trabalho foram consideradas as configurações apresentadas no quadro 10, com blocos cerâmicos estruturais nas dimensões 14x19x29 cm e 19x19x29 cm.

Quadro 10 – Configuração de parede de alvenaria de blocos cerâmicos ensaiada para verificação do desempenho acústico

CONFIGURAÇÃO	BLOCO
PA - 02	REBOCO 1,5 cm (em ambas as faces)
PA - 03	REBOCO 2,5 cm (externo) REBOCO 1,0 cm (interno)
PA - 04	REBOCO 3,0 cm (em ambas as faces)
PA - 05	PLACA DE GESSO ACARTONADO 12,5 cm colada (uma face) PLACA DE GESSO ACARTONADO 12,5 cm fixada em estrutura metálica com LÃ DE VIDRO 20mm (uma face)

(fonte: elaborado pela autora)

Neste estudo não foi considerado o preenchimento com areia, por ser uma prática questionável por construtores.

A tabela 3 apresenta os valores de índice de redução sonora das configurações e blocos considerados. Silva (2015) analisou o desempenho de paredes cegas de alvenaria de blocos cerâmicos conforme a NBR 15575-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b) pelo método de laboratório descrito na ISO 10140-2. A partir dos resultados de ensaios de Silva (2015) elaborou-se a tabela 3 com o nível de desempenho atingido conforme as classes de ruído. Para a elaboração da tabela 3 adotou-se “S” quando amostra atingiu o nível superior de desempenho, “I” quando atingido desempenho

intermediário e “M” para o nível mínimo. Os marcadores na cor verde indicam o atendimento à NBR 15575.

Tabela 3 – Desempenho acústico das vedações de fachada em alvenaria de blocos cerâmicos

CONFIGURAÇÃO	BLOCO	ESPESSURA TOTAL DA PAREDE (cm)	Rw (dB)	CLASSE DE RÚIDO	NÍVEL DE DESEMPENHO	CONFORMIDADE COMA NBR 15575
PA - 02	14x19x29 cm	17,5	41	I	S	●
				II	S	●
				III	I	●
	19x19x29 cm	22,5	41	I	S	●
				II	S	●
				III	I	●
PA - 03	14x19x29 cm	20,0	45	I	S	●
				II	S	●
				III	S	●
	19x19x29 cm	25,0	45	I	S	●
				II	S	●
				III	S	●
PA - 04	14x19x29 cm	20,5	50	I	S	●
				II	S	●
				III	S	●
PA - 05	14x19x29 cm	17,5	49	I	S	●
				II	S	●
				III	S	●
	19x19x29 cm	22,5	54	I	S	●
				II	S	●
				III	S	●

(fonte: elaborado pela autora com dados obtidos de Silva, 2015)

Os índices de redução sonora (Rw) das paredes de alvenaria quando comparados aos requisitos da norma, para todas as classes de ruídos, as PA – 03, PA – 04 e PA – 05 apresentam um nível de desempenho superior (S). A PA – 02 apresentou um nível de desempenho acústico intermediário apenas para o nível de ruído III, para os níveis I e II de ruído observa-se um nível de desempenho superior. Lembrando que, os valores do quadro 4 são referentes ao sistema completo da fachada (parede com porta e janelas). Neste caso foram consideradas apenas paredes cegas, por isso, para que o sistema construtivo completo previsto para fachada atenda a esses níveis de desempenho (tabela 3) é necessário que os caixilhos também apresentem esses níveis de desempenho. A combinação desses valores é chamada de índice de redução sonora ponderado equivalente.

Na tabela 4, os valores de redução sonora apresentados são comparados com os critérios exigidos pela NBR 15575-2 para paredes cegas que dividem ambientes de unidades habitacionais autônomas. Foram considerados apenas os elementos de paredes de geminação pois são esses que exigem valores maiores referentes ao R_w . Os resultados apresentados na tabela 4 foram comparados com os níveis de desempenho do quadro 3. Os marcadores na cor verde indicam o atendimento à NBR 15575, os da cor vermelha o não atendimento à NBR 15575.

Tabela 4 – Desempenho acústico das vedações de alvenaria de blocos cerâmicos entre ambientes

CONFIGURAÇÃO	BLOCO	ESPESSURA TOTAL DA PAREDE (cm)	R_w (dB)	ELEMENTO	NÍVEL DE DESEMPENHO	CONFORMIDADE COM A NBR 15575
PA - 02	14x19x29 cm	17,5	41	Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	NA	
				Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de peelo menos um dos ambientes ser dormitório	NA	
	19x19x29 cm	22,5	41	Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	NA	
				Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de peelo menos um dos ambientes ser dormitório	NA	

continua

continuação

CONFIGURAÇÃO	BLOCO	ESPESSURA TOTAL DA PAREDE (cm)	Rw (dB)	ELEMENTO	NÍVEL DE DESEMPENHO	CONFORMIDADE COM A NBR 15575
PA - 03	14x19x29 cm	20,0	45	Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	M	
				Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de peelo menos um dos ambientes ser dormitório	NA	
	19x19x29 cm	25,0	45	Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	M	
				Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de peelo menos um dos ambientes ser dormitório	NA	
PA - 04	14x19x29 cm	20,5	50	Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	I	
				Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de peelo menos um dos ambientes ser dormitório	M	

continua

continuação

CONFIGURAÇÃO	BLOCO	ESPESSURA TOTAL DA PAREDE (cm)	Rw (dB)	ELEMENTO	NÍVEL DE DESEMPENHO	CONFORMIDADE COM A NBR 15575
PA - 05	14x19x29 cm	17,5	49	Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	M	●
				Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelos menos um dos ambientes ser dormitório	NA	●
	19x19x29 cm	22,5	54	Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	I	●
				Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelos menos um dos ambientes ser dormitório	M	●

(fonte: elaborado pela autora com dados obtidos de Silva, 2015)

Analisando a tabela 4, observa-se que PA - 02 não atende ao requisito de desempenho acústico mínimo para parede de geminação, a PA - 03, tanto com blocos de 14x19x29cm quanto blocos de 19x19x29 cm atende com o nível mínimo apenas para os requisitos de paredes de geminação em situações onde não haja dormitório em nenhum dos ambientes. A PA - 04, configuração com revestimento em placas de gesso atendeu à NBR 15575-4 para ambos os casos de paredes de geminação. Já a PA - 05, apenas atendeu à NBR 15575-4 para os dois elementos nas amostras de blocos com dimensões de 19x19x29 cm. Observa-se que, para atender ao desempenho mínimo de Rw em paredes de geminação, foi necessário a adição de elementos construtivos não usuais em situações de vedação em alvenaria de blocos cerâmicos, como o revestimento em placas de gesso juntamente com um isolamento acústico em lã de vidro.

4.2.3 Desempenho Térmico

Silva (2015) também avaliou o desempenho térmico de algumas amostras de paredes em alvenaria de blocos cerâmicos. No quadro 11 são apresentadas três configurações de

revestimento com dois tipos de blocos cada. Os blocos que constituem as paredes são estruturais de dimensões 14x19x29cm e 19x19x29cm. As amostras de paredes tiveram seu desempenho térmico avaliado pelo método simplificado, conforme a norma NBR 15575-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b). Como as amostras atingiram o desempenho mínimo exigido pelo método simplificado, não houve necessidade de avaliar pelo método computacional. A composição das paredes ensaiadas PA – 03, PA – 06 e PA – 07 estão apresentadas no quadro 11.

Quadro 11 – Configuração de parede de alvenaria de blocos cerâmicos ensaiada para verificação do desempenho térmico

CONFIGURAÇÃO	REVESTIMENTO
PA - 03	REBOCO 2,5 cm (externo) REBOCO 1,0 cm (interno)
PA - 06	REBOCO 2,5 cm (externo) REBOCO 2,0 cm (interno)
PA - 07	REBOCO 2,5 cm (externo) ARGAMASSA DE GESSO 1,0 cm (interno)

(fonte: elaborado pela autora)

As configurações de revestimento são diferentes espessuras de revestimento em reboco para PA – 03 e PA – 06, já a PA – 07 foi ensaiada com uma camada de argamassa de gesso de 1,0 cm na face interna.

Os resultados obtidos por Silva (2015) de transmitância térmica e capacidade térmica estão organizados na tabela 5. Os marcadores na cor verde indicam o atendimento à NBR 15575.

Sendo assim, as paredes de alvenaria nas configurações PA - 03, PA – 06 e PA - 07 atendem ao requisito de desempenho térmico conforme o quadro 5 e quadro 6 da NBR 15575-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b), com os dois tipos de blocos, para todas as zonas bioclimáticas brasileiras. Neste caso, como as amostras passaram nos requisitos de desempenho térmico pelo método simplificado, conforme a NBR 15575-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b) o nível de desempenho é

considerado mínimo. Para obter-se a classificação dos sistemas em níveis de desempenho intermediário ou superior é necessário fazer o ensaio pelo método computacional, de simulação.

Tabela 5 – Desempenho térmico das vedações verticais de fachada em alvenaria de blocos cerâmicos

CONFIGURAÇÃO	BLOCO	U (W/m ² K)	CT (kJ/m ² K)	NÍVEL DE DESEMPENHO	CONFORMIDADE COM A NBR 15575
PA - 03	14x19x29 cm	2,1	156	M	●
	19x19x29 cm	1,7	157	M	●
PA - 06	14x19x29 cm	2,1	176	M	●
	19x19x29 cm	1,7	177	M	●
PA - 07	14x19x29 cm	2,1	147	M	●
	19x19x29 cm	1,7	148	M	●

(fonte: elaborado pela autora com dados obtidos de Silva, 2015)

5 VEDAÇÕES VERTICAIS EM *LIGHT STEEL FRAMING*

O *Light Steel Framing* é um sistema construtivo industrializado, de concepção racional que tem sua estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado (SANTIAGO et al., 2012). A estrutura desse sistema construtivo é constituída por painéis estruturais formados por diversos elementos ligados entre si, esse conjunto de elementos é capaz de resistir às cargas e, ao mesmo tempo dá a forma da edificação (CRASTO, 2005).

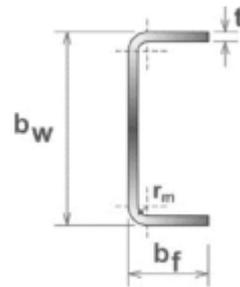
5.1 COMPONENTES DO SISTEMA

As vedações verticais externas e internas de um sistema LSF são constituídas basicamente pelos seguintes componentes: painéis formados pelos perfis de aço, componentes de fechamento, isolantes térmicos, absorventes acústicos, um sistema de fixação constituídos de parafusos e chumbadores e algum tipo de acabamento.

5.1.1 Perfis

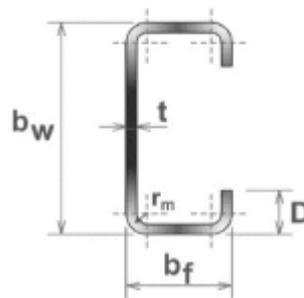
Os perfis que formam os painéis são elementos estruturais formados a frio de aço zincado (BRASIL, 2012). Os perfis são considerados formados a frio pois o procedimento de dobragem ou perfilagem das tiras de aço ocorrem com o aço na temperatura ambiente (SANTIAGO et al., 2012). A galvanização ou zincagem é o processo empregado para proteção por meio de uma barreira mecânica contra a corrosão do aço (CRASTO, 2005). Esses elementos podem ser de variadas formas e dimensões, mas as seções mais comuns são do tipo guia (U), figura 6 em formato de “U”, e do tipo montante, em formato de “U” enrijecido (Ue), figura 7. Os perfis U possuem alma (bw) e mesa (bf), já os perfis Ue, além de possuírem alma e mesa, também têm presente uma borda (D), a espessura dos perfis é designada pelo termo tn.

Figura 6 – Perfil U



(fonte: SILVA, 2014)

Figura 7 – Perfil Ue

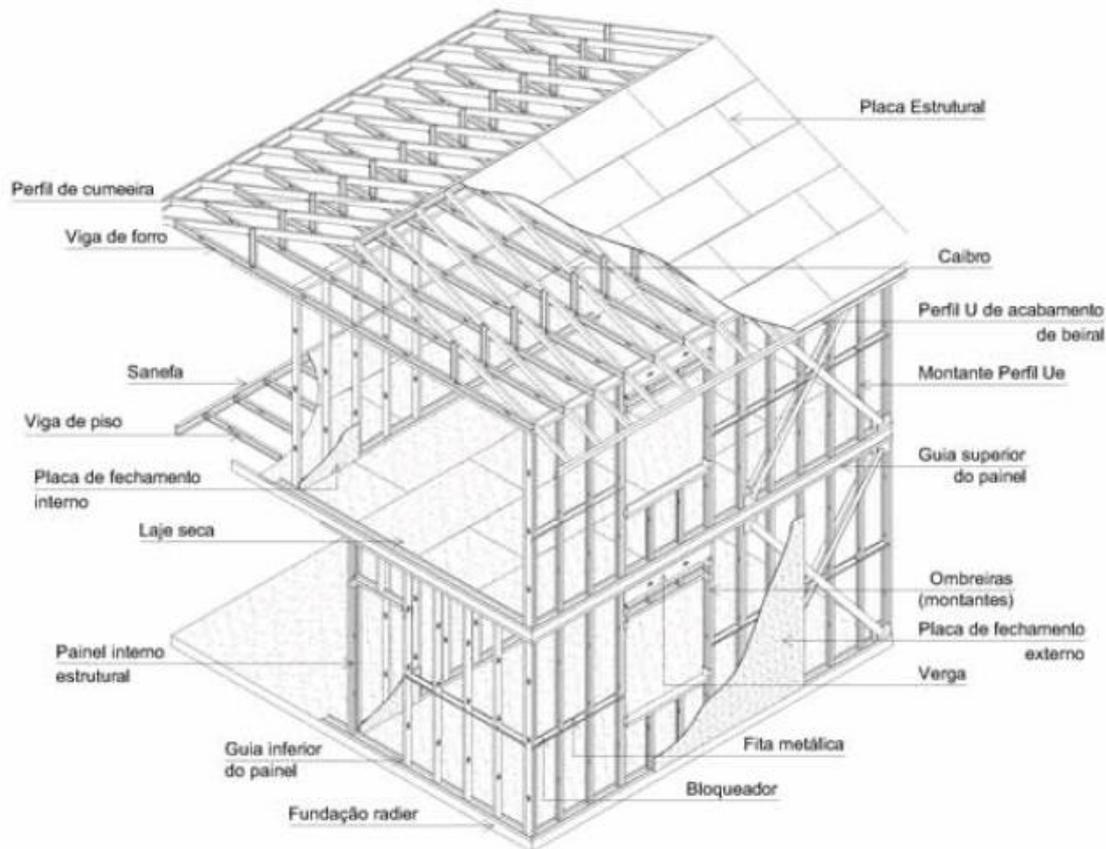


(fonte: SILVA, 2014)

5.1.2 Painéis

Os painéis da estrutura em LSF são os principais elementos que compõem o sistema estrutural da edificação, e ao mesmo tempo que estão relacionados com a função estrutural, também estão associados ao sistema de vedação vertical, objeto de estudo deste trabalho. Esses painéis são compostos por elementos verticais, denominados montantes, e horizontais, denominados guias (CRASTO, 2005). Os montantes são os elementos responsáveis por transmitir as cargas sobre as fundações ou outros painéis, já as guias possuem a função de fixar os montantes, obtendo assim, o quadro estrutural (SANTIAGO et al., 2012). No sistema LSF as distâncias entre os montantes são modulares, e dependem das solicitações que cada perfil está submetido (SANTIAGO et al., 2012). Na figura 8 é apresentado um desenho esquemático do sistema.

Figura 8 – Desenho esquemático do sistema LSF



(fonte: SANTIAGO et al., 2014)

5.1.3 Componentes de fechamento

De acordo com Santiago et al. (2012), o sistema de fechamento vertical além da estrutura em LSF, também é composto por chapas ou painéis delgados que fazem a vedação da edificação. Esses componentes de fechamento, seguindo a concepção do sistema, devem ser constituídos por elementos leves, compatíveis com o conceito da estrutura.

Com o aumento do emprego do LSF na construção civil, vários materiais têm sido desenvolvidos para esse sistema. Segundo Santiago et al. (2012), no Brasil, os materiais mais disponíveis para fechamento externo são as chapas OSB (*oriented strand board*) e as placas cimentícias para a face externa das vedações e placas de gesso acartonado para face interna das vedações. Esses materiais são os mais utilizados no país e são considerados, pelo mesmo autor, adequados à realidade construtiva nacional.

5.1.3.1 Placas OSB

De acordo com Brasil (2012, p. 4) a placa OSB (figura 9) é “[...] uma chapa estrutural constituída por tiras de madeira, unidas com resinas resistentes à água, orientada em camadas perpendiculares entre si e prensadas sob alta pressão e temperatura.”.

Figura 9 – Placas OSB



(fonte: CRASTO, 2005)

As placas OSB podem ser utilizadas como vedações internas e externa, porém não devem estar expostas às intempéries, por isso necessitam de um acabamento externo impermeável. Os painéis OSB são fornecidos nas dimensões 1,22 m por 2,44 m, e nas espessuras de 9, 12, 15 e 18 mm. A placa de OSB é um componente muito leve, o que facilita o transporte manual, sem necessidade outros equipamentos (SANTIAGO et al., 2012).

Quando essas placas estão expostas a ambientes externos, algumas precauções devem ser tomadas. Devido às variações de temperatura e umidade do ar, as placas podem sofrer variações dimensionais, por esta razão, juntas de dilatação devem ser previstas em projeto. Santiago et al. (2012) sugerem que, entre as placas, deve-se executar juntas de 3 mm por todo o seu perímetro, ou seja, nos quatro lados da placa e entre estas e as esquadrias.

Como proteção da água e umidade todas as placas de OSB devem ser revestidas com uma manta impermeável (MI) de alta densidade, que garante a estanqueidade das paredes, figura 10. Porém, para que se evite a condensação dentro dos painéis, essa manta permite a passagem da umidade da parte interna para externa. Os painéis OSB também, não devem estar em contato com o solo ou fundação (SANTIAGO et al., 2012).

Figura 10– Fixação da manta impermeável nas placas OSB



(fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2013b)

5.1.3.2 Placa OSB tipo *SmartSide Panel*

As placas OSB *SmartSide Panel*, apresentadas na figura 11, são fabricadas com a tecnologia dos painéis OSB e possuem um revestimento de uma película com aparência de madeira natural.

Figura 11 – Placas OSB tipo *SmartSide Panel*



(fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2013c)

5.1.3.3 Placas Cimentícias

A placa cimentícia é a principal solução utilizada para fechamento de vedações externas em LSF no mercado nacional. Fabricadas com cimento Portland, fibras de celulose ou sintéticas e agregados, são placas de constituição permeável ao vapor de água (MEDEIROS et al., 2014). Santiago et al. (2012) mencionam que a principal diferença que existe entre as placas

cimentícias está na sua composição, pois um grupo apresenta fibras dispersas na matriz, e outro apresenta uma malha de fibra de vidro nas duas superfícies.

Entre várias características da placa cimentícia, Crasto (2005) destaca as principais: apresenta uma elevada resistência a impactos e à umidade, é incombustível, possui baixo peso próprio, são cortadas e manuseadas facilmente, e é compatível com a maioria dos acabamentos e revestimentos. Segundo Medeiros et al. (2014) as placas são fornecidas apenas com largura de 1,20 m, e com comprimentos variados de 2,00 m, 2,40 e 3,00 m.

5.1.3.4 Gesso Acartonado

A chapa de gesso acartonado é o material mais utilizado para fechamentos internos, são vedações leves e não possuem função estrutural. As chapas são produzidas industrialmente a partir de uma massa de gesso, água e aditivos, e revestidas com lâminas de papel (SANTIAGO et al., 2012), enquanto o gesso proporciona resistência à compressão, o papel resiste à tração (LIMA, 2013).

As placas de gesso acartonado podem ser encontradas no mercado em três tipos: placa Standard (PLST), aplicada em paredes de áreas secas; placa Resistente à Umidade (PLRU), para ambientes sujeitos à umidade; e a placa Resistente ao Fogo (PLRF), aplicadas em ambientes secos e que exige uma maior resistência ao fogo (CRASTO, 2005). As placas de gesso acartonado são fornecidas com dimensões de 1200mm de largura, altura variável e espessura de 12,5mm.

5.1.4 Isolantes Térmicos e Acústicos

Os materiais isolantes térmicos em uma edificação têm a função de minimizar as perdas de calor durante o inverno e os ganhos de calor durante verão, proporcionando um maior conforto térmico para os usuários sem que ocorra gastos de energia com aquecimento ou resfriamento dos ambientes internos (SANTIAGO et al., 2012). O sistema de vedação vertical em LSF pode produzir pontes térmicas entre os perfis metálicos e os materiais de fechamento externo e interno, por esse motivo, em lugares mais frios muitas vezes é adequado o uso de lã mineral dentro do painel (CRASTO, 2005).

De acordo com Crasto (2005), os materiais absorventes sonoros para o sistema LSF são, geralmente porosos, de baixa densidade que provocam a perda de transmissão sonora, ou seja, parte da energia sonora que o atravessa é transformada em energia térmica.

Os materiais mais utilizados para essas funções são as lãs minerais. São materiais constituídos de lã de vidro ou lã de rocha instalados nas paredes entre as chapas, como mostrado na figura 12. A lã de vidro é fornecida na forma de feltros ou painéis. Os feltros de lã de vidro possuem largura de 1200mm e comprimento variado de 10 a 15m, já os painéis são fornecidos em largura de 600mm e comprimento de 1350mm, nos dois casos a lã de vidro tem espessura de 50, 75 ou 100mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA *DRYWALL*, 2006). A lã de vidro, assim como a lã de rocha, é fornecida em painéis com largura de 600mm, comprimento de 1200mm e espessuras de 25, 40, 50, 75 ou 100mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA *DRYWALL*, 2006).

Figura 12 – Aplicação da lã de vidro em paredes internas



(fonte: CRASTO, 2005)

5.2 DESEMPENHO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS EM *LIGHT STEEL FRAMING*

Os dados aqui apresentados são resultados de ensaios de avaliações técnicas realizadas conforme a Diretriz SINAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnicas) nº 03, que avalia sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas, sistemas tipo *Light Steel Framing*. A partir dessas diretrizes, é possível que os fabricantes avaliem o desempenho dos sistemas construtivos em LSF, pois os critérios e

requisitos exigidos na Diretriz são baseados na Norma de Desempenho. Após serem feitos os ensaios, elabora-se um Documento de Avaliação Técnica do produto, nesse documento são apresentados os resultados dos ensaios técnicos realizados.

A partir de três Documentos de Avaliação Técnica, analisou-se o desempenho de diferentes composições de vedações verticais internas, de fachadas e de geminação. As composições dos sistemas de vedação em LSF variam pelo tipo de componente de fechamento, pelos materiais de revestimento e pelo preenchimento do miolo dos painéis. Nas paredes de fachada (PF), os materiais e espessuras que constituem os painéis são os seguintes, respectivamente: placa cimentícia (PLC), 10 mm, placa OSB (PLO), 11,1 mm, placa OBS *SmartSide Panel* (PLSS), 11,1 mm, revestimento de *Siding* Vinílico (SV), 1 mm. Nas paredes internas e face interna das paredes de fachada são utilizadas placas de gesso acartonado tipo *Standart* (PLST), 12,5 mm. As paredes de geminação são compostas por duas placas de gesso acartonado resistente ao fogo em cada face (PLRF), 12,5mm cada. Algumas das paredes possuem lã de vidro (LV) no miolo, 50 mm, lã de rocha (LR), 50 mm. membrana impermeável (MI) e acabamento em *Siding* Vinílico (SV). As composições dos painéis de fachada estão apresentadas no quadro 12. O quadro 13 apresenta os painéis de geminação e o quadro 14 os painéis internos.

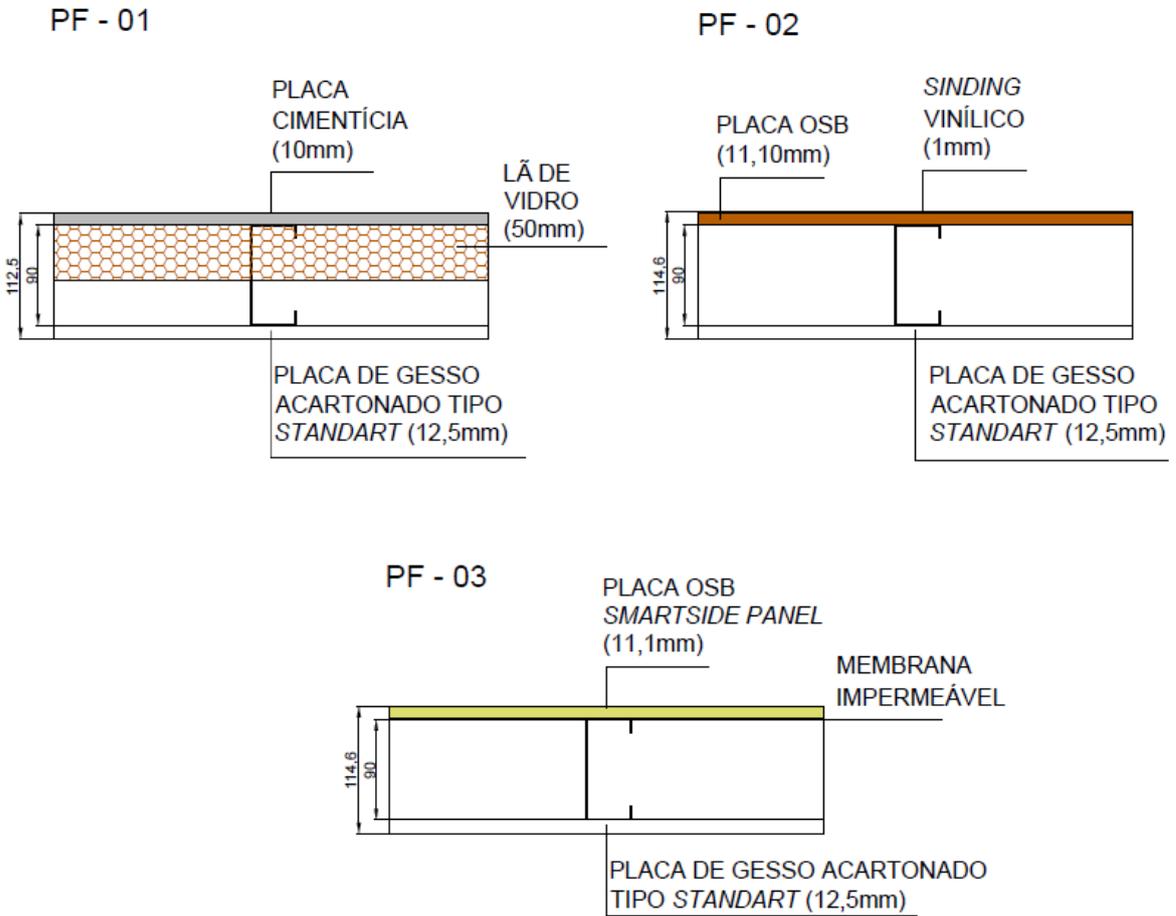
Quadro 12 – Paredes de Fachada em LSF

CONFIGURAÇÃO	COMPOSIÇÃO
PF - 01	PLC (10mm) + LV (50mm) + PLST (12,5mm)
PF - 02	SV (1mm) + MI + PLO (11,1mm) + PLST (12,5mm)
PF - 03	PLSS (11,1mm) + MI + PLST (12,5mm)

(elaborado pela autora)

Os desenhos esquemáticos das configurações PF – 01, PF – 02 e PF – 03 estão apresentadas na figura 13.

Figura 13 – Desenho esquemático das configurações PF – 01, PF – 02 e PF – 03



(elaborado pela autora)

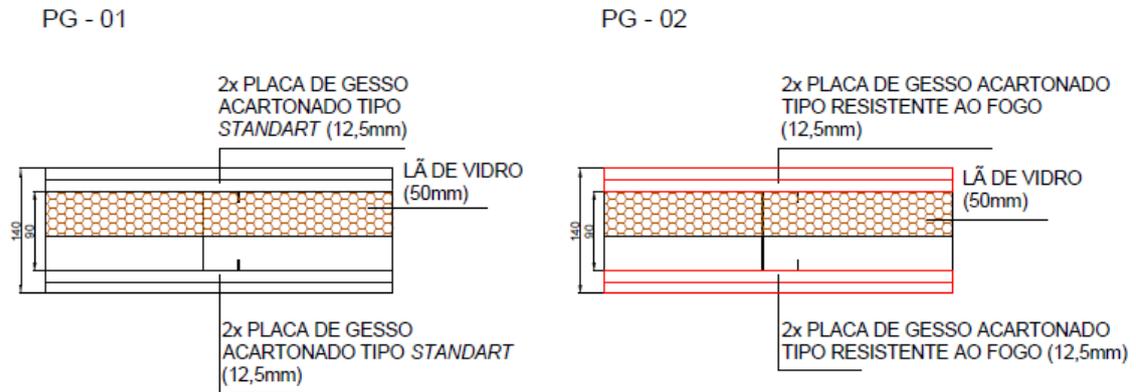
Quadro 13 – Paredes de Geminação (PG) em LSF

CONFIGURAÇÃO	COMPOSIÇÃO
PG - 01	PLST 2x(12,5mm) + LV (50mm) + PLST 2x(12,5mm)
PG - 02	PLRF 2x(12,5mm) + LR (50mm) + PLRF 2x(12,5mm)

(elaborado pela autora)

Os desenhos esquemáticos da PG – 01 e PG – 02 estão apresentados na figura 14.

Figura 14 – Desenho esquemático das configurações PG – 01 e PG – 02



(elaborado pela autora)

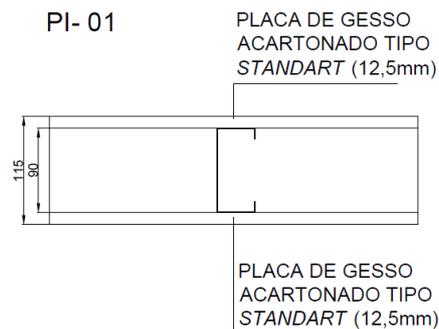
Quadro 14 – Paredes Internas (PI) em LSF

CONFIGURAÇÃO	COMPOSIÇÃO
PI - 01	PLST (12,5mm) + PLST (12,5mm)

(elaborado pela autora)

O desenho esquemático da PI – 01 é apresentado na figura 15.

Figura 15 – Desenho esquemático das configurações PI – 01



(elaborado pela autora)

5.2.1 Segurança Contra Incêndio

5.2.1.1 Reação ao fogo

Considerando a reação ao fogo dos materiais de acabamento das faces internas de todos as composições analisadas são compostas por placas gesso acartonado, que classificam-se de acordo com os quadros 2 e 3, como materiais incombustíveis. As placas de gesso PLST e PLRF são classificadas como classe I, não propagadoras de chamas e fumaças (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2013b).

5.2.1.2 Resistência ao fogo

As paredes de geminação analisadas quando comparadas com a norma NBR 15575 (tabela 6) atendem ao requisito de resistência ao fogo, com TRRF mínimo de 30 minutos (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2013a, 2013b). Não foi explicitado qual o tempo real de TRRF, apenas que as paredes de geminação atendem ao requisito de 30 minutos. Na tabela 6 a conformidade com a norma é apresentada na forma de cores, a cor verde quando atende à NBR 15575, e a cor vermelha quando não atende.

Tabela 6 – Resistência ao fogo das paredes de geminação em LSF

CONFIGURAÇÃO	TRRF (min)	CONFORMIDADE COMA NBR 15575
PG- 01	30	●
PG- 02	30	●

(fonte: elaborado pela autora)

5.2.2 Desempenho Acústico

O desempenho acústico das paredes em LSF foi avaliado pelo índice de redução sonora ponderado (R_w) dos elementos de fachada e de geminação. De acordo com o Instituto de pesquisas tecnológicas (2013a), a parede PF-01 obteve $R_w = 50$ dB, a PF-02, avaliada pelo Instituto de pesquisas tecnológicas (2013b), apresentou $R_w = 39$ dB, e a PF-03 um $R_w = 39$ dB segundo Instituto de pesquisas tecnológicas (2013c). A partir desses valores, classificou-se o índice de desempenho de acordo com cada classe de ruído, esses resultados encontram-se na

tabela 7. Na tabela 7 a conformidade com a norma é apresentada na forma de cores, a cor verde quando atende à NBR 15575, e a cor vermelha quando não atende.

Tabela 7 – Desempenho acústico das vedações em LSF de fachadas cegas

CONFIGURAÇÃO	R _w (dB)	CLASSE DE RUÍDO	NÍVEL DE DESEMPENHO	CONFORMIDADE COM A NBR 15575
PF - 01	50	I	S	●
		II	S	●
		III	S	●
PF - 02	39	I	S	●
		II	I	●
		III	M	●
PF - 03	39	I	S	●
		II	I	●
		III	M	●

(fonte: elaborado pela autora)

Observa-se que todas as paredes de fachadas estudadas atenderam ao nível mínimo de desempenho para vedações de fachada. Lembrando que, os níveis de desempenho apresentados na tabela 7 são referentes a paredes cegas. Para que a composição de parede, portas e janelas atendem a esses níveis, é necessário que os índices de redução sonora dos caixilhos também atinjam esses níveis de desempenho.

Para as paredes de geminação em LSF, os índices de redução sonora foram classificados de acordo com os níveis de desempenho expostos no quadro 3. A parede de geminação PG-01, de acordo com o Instituto de pesquisas tecnológicas (2013a) atende aos requisitos de parede de geminação em qualquer situação. Já a parede PG-02, segundo o Instituto de pesquisas tecnológicas (2013b), não atende ao nível mínimo de desempenho para um elemento de vedação de geminação onde um dos ambientes seja dormitório. Esses resultados estão apresentados na tabela 8, a conformidade com a norma é apresentada na forma de cores, a cor verde quando atende à NBR 15575, e a cor vermelha quando não atende.

Tabela 8 – Desempenho acústico das vedações em LSF entre ambientes

CONFIGURAÇÃO	Rw (dB)	ELEMENTO	NÍVEL DE DESEMPENHO	COMFORMIDADE COM A NBR 15575
PG - 01	51	Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	I	
		Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	M	
PG - 02	47	Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	M	
		Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	NA	

(fonte: elaborado pela autora)

5.2.3 Desempenho Térmico

Os quadros 12 e 13 a seguir, apresentam o desempenho térmico das paredes de fachadas estudadas de acordo com Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2013a, 2013b, 2013c), respectivamente para as paredes PF-01, PF-02 e PF-03. Reconhecendo, preliminarmente, o não atendimento às prescrições normativas referentes à capacidade térmica e transmitância térmica, as paredes foram ensaiadas pelo método simulação para cada zona bioclimática, para dia típico de inverno e verão. As condições para que cada composição de parede atenda aos requisitos de desempenho térmico estão apresentadas nos quadros 12 e 13 a seguir. De acordo com a NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), quando a parede não atende aos requisitos de desempenho térmico em condição padrão, algumas alternativas como sombreamento e ventilação podem ser modificadas para que atenda ao requisito mínimo. Os quadros também apresentam as cores de fachada que essas paredes atendem ao desempenho mínimo, podendo ser cores claras, médias ou escura, uma vez que atenda para uma cor escura,

atenderá também para as cores claras e médias. Outra opção que melhora o desempenho térmico das paredes é a colocação de isolamento térmico, essa alternativa foi necessária para PF-02 e PF-03 para que atendessem o desempenho mínimo na zona bioclimática 8.

Os quadros 15 e 16 são apresentados da seguinte forma: para cada zona bioclimática é verificada a conformidade com as diferentes combinações de condições, o marcador verde indica a conformidade com a NBR 15575, ou seja, as paredes com aquelas condições atendem à norma, o marcador vermelho indica a não conformidade, não atende à norma, e a cor amarela indica que não há dados para essas informações.

Quadro 15 – Desempenho térmico da PF – 01

ZONA	SOMBRA	VENTILAÇÃO	COR DA FACHADA	CONFORMIDADE COM A NORMA NBR 15575
1, 2, 3, 5 e 6	Sem sombreamento	1 ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
		5ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
	Com sombreamento	1 ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
		5ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
4	Sem sombreamento	1 ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
		5ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
	Com sombreamento	1 ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
		5ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●

continua

continuação

	SOMBRA	VENTILAÇÃO	COR DA FACHADA	CONFORMIDADE COM A NORMA NBR 15575
7	Sem sombreamento	1 ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
		5ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
	Com sombreamento	1 ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
		5ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
8	Sem sombreamento	1 ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
		5ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
	Com sombreamento	1 ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●
		5ren/h	Escura	●
			Média	●
			Clara	●

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 16 – Desempenho térmico da PF – 02 e PF - 03

ZONA	SOMBRA	VENTILAÇÃO	COR	CONFORMIDADE COM A NORMA NBR 15575
1,3 e 8	Sem sombreamento	1 ren/h	Escura	
			Média	
			Clara	
		5ren/h	Escura	
			Média	
			Clara	
	Com sombreamento	1 ren/h	Escura	
			Média	
			Clara	
		5ren/h	Escura	
			Média	
			Clara	
2, 4, 5, 6, 7	Sem sombreamento	1 ren/h	Escura	
			Média	
			Clara	
		5ren/h	Escura	
			Média	
			Clara	
	Com sombreamento	1 ren/h	Escura	
			Média	
			Clara	
		5ren/h	Escura	
			Média	
			Clara	

(fonte: elaborado pela autora)

6 COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS

Apesar do LSF ser uma tecnologia, consideravelmente, nova em relação à alvenaria de blocos cerâmico e possuir um grau mais elevado de industrialização, ainda existe receio por parte do projetistas e usuários em utilizar o sistema. Por ser um sistema de baixo peso e de rápida montagem, o LSF tem seu desempenho questionado. Já a alvenaria de blocos cerâmicos, por ser utilizada na construção há mais tempo, tem seu desempenho menos discutido.

Com a entrada em vigor na Norma de Desempenho para as edificações habitacionais, a NBR 15575, o comportamento em uso de uma edificação tornou-se uma questão a ser analisada e discutida. Diferentemente de outras normas de desempenho, a NBR 15575 engloba requisitos e critérios para todos os sistemas de uma edificação, distribuídas em cada parte da norma. Neste trabalho faz-se a comparação dos sistemas de vedação em LSF com o de alvenaria de blocos cerâmico, limitando-se aos critérios de desempenho térmico, acústico e a segurança contra incêndio.

Através das informações e dados de desempenho dos sistemas construtivos apresentados nos capítulos 4 e 5, será feita uma comparação entre os sistemas, sempre considerando os requisitos de desempenhos expostos no capítulo 3. Os dados dos capítulos 4 e 5 serão sintetizados, comparando de modo geral de cada sistema.

6.1 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

A seguir fez-se a comparação dos sistemas de vedação vertical em relação a seus desempenhos de segurança contra incêndio, contemplando os critérios de reação e a resistência ao fogo,

6.1.1 Reação ao fogo

O quadro 17 apresenta os resultados relacionados ao critério de reação ao fogo dos materiais de revestimento interno das vedações verticais.

Quadro 17 – Quadro de Comparação dos sistemas de vedação vertical analisados: Reação ao fogo

REAÇÃO AO FOGO	
<i>Light Steel Framing</i>	Alvenaria de blocos cerâmicos
Apresenta material de revestimento interno incombustível, Classe I.	Apresenta material de revestimento interno incombustível, Classe I.

(fonte: elaborado pela autora)

No critério de reação ao fogo dos materiais de revestimento da superfície interna das paredes, os dois sistemas são constituídos de materiais de Classe I, podendo estes estarem associados a qualquer tipo de ambiente interno de uma habitação. Tanto a placa de gesso, quando o revestimento em argamassa materiais incombustíveis não propagadores de chama e fumaça, porém deve-se ter atenção, quando empregados outros tipos de matérias na face interna das paredes.

6.1.2 Resistência ao fogo

O quadro 18 apresenta a comparação em relação ao TRRF dos sistemas de vedações estudadas.

Quadro 18– Quadro de Comparação dos sistemas de vedação vertical analisados: Resistência ao fogo

RESISTÊNCIA AO FOGO	
<i>Light Steel Framing</i>	Alvenaria de blocos cerâmicos
Atende ao requisito de resistência ao fogo com um TRRF de no mínimo 30 minutos.	É resistente ao fogo, com um TRRF de 4 horas , atendendo o TRRF mínimo de 30 minutos.

(fonte: elaborado pela autora)

Os dois sistemas construtivos atendem à norma NBR 15575 de resistência ao fogo por 30 minutos, porém, sobre o sistema em LSF não se tem o TRRF exato para a parede, apenas é mencionado que o sistema atende ao critério de resistência ao fogo. Já a alvenaria de blocos cerâmicos possui um TRRF de 4 horas, bem a cima do tempo requerido pela norma NBR 15575, passando com folga pelo desempenho de resistência ao fogo.

6.2 DESEMPENHO ACÚSTICO

No quadro 19 são apresentadas as principais observações dos sistemas estudados em relação ao índice de redução sonora exigido para fachadas.

Quadro 19 – Quadro de Comparação dos sistemas de vedação vertical analisados: índice de redução sonora de fachadas

Rw EM PAREDES DE FACHADAS	
<i>Light Steel Framing</i>	Alvenaria de blocos cerâmicos
<p>A parede PF – 01 composta por placas cimentícias e lã de vidro como isolamento, apresentaram índice de nível de desempenho Superior para todas as classes de ruídos.</p> <p>As paredes compostas por chapas OBS, PF – 02 e PF – 03 apresentaram nível Superior para a classes I, nível Intermediário para classe II e nível Mínimo para classe III.</p>	<p>As paredes em alvenaria de blocos cerâmicos apresentam nível de desempenho Superior para as classes de ruído I e II.</p> <p>A parede de menor espessura de revestimento de reboco PA - 02 apresenta nível Intermediário para o nível III.</p> <p>As paredes PA - 03, PA – 04 e PA - 5 apresentaram para a classe de ruído III o nível de desempenho Superior.</p>

(fonte: elaborado pela autora)

Pode-se observar, quando comparadas as tabelas 3 e 7, que para o sistema em LSF as paredes de placas cimentícias com lã de vidro apresentam um isolamento acústico superior às paredes convencionais alvenaria com revestimento de reboco. As paredes de alvenaria de blocos cerâmicos só apresentam Rw igual ou superior a PF – 01 quando revestidas com placas de gesso, práticas não comuns em um sistema de alvenaria de blocos cerâmicos.

As paredes de chapas OSB, ainda que apresentem níveis inferiores para ruídos de classe III, atendem às exigências da NBR 15575.

Entre as paredes de alvenaria, também percebe-se que a espessura do revestimento influencia na sua capacidade de isolamento acústico, a parede com revestimento mais espesso apresentou índices de redução sonora mais elevada, devido à lei das massas, com nível de desempenho superior para todas as classes de ruído. Quando comparados os índices de redução sonora para a mesma configuração de revestimento com blocos cerâmico de espessuras diferentes não há diferença, apenas quando os blocos são preenchidos com areia.

Quadro 20 – Quadro de Comparação dos sistemas de vedação vertical analisados: índice de redução sonora em paredes de geminação

Rw EM PAREDES DE GEMINAÇÃO	
<i>Light Steel Framing</i>	Alvenaria de blocos cerâmicos
<p>Apenas a PG - 01 apresentou nível de desempenho Intermediário para ambientes sem dormitório e Mínimo para ambientes com dormitório.</p> <p>A PG – 02 apresentou um nível de desempenho Mínimo para paredes em ambientes onde não exista dormitório e não atendeu ao nível mínimo para casos com dormitório.</p>	<p>As paredes de alvenaria com as configurações de revestimento de reboco PA – 02 e PA - 3 não atendem às exigências de desempenho mínimo para paredes de geminação em ambientes com dormitório. Somente PA – 03 atende ao desempenho mínimo para paredes em ambientes sem dormitório.</p> <p>As configurações que atendem aos níveis mínimos exigido pela NBR 15575 para os dois tipos de elementos são a PA – 04 e PA – 05 com bloco de 19cm de espessura.</p>

(fonte: elaborado pela autora)

As paredes em LSF analisadas apresentaram um melhor desempenho acústico para paredes de geminação em relação às paredes de alvenaria de bloco cerâmico. Enquanto o LSF atende aos requisitos para isolamento acústico em paredes de geminação com e sem dormitório, somente a parede de alvenaria com revestimento de placas de gesso ou com blocos preenchidos com areia possuem nível mínimo ou intermediário de desempenho. Mais uma vez, quando comparado o desempenho acústico do LSF com o sistema de alvenaria de blocos cerâmicos na sua configuração mais usual de revestimento com reboco, percebe-se que o sistema em LSF tem um melhor desempenho.

Uma vez que as paredes em LSF podem ser preenchidas com materiais isolantes acústicos, elas apresentam vantagem em relação a parede de alvenaria, além de poderem ser executadas com duas placas de gesso em cada face. Para a parede em alvenaria não é usual essa aplicação de placas de gesso. Pode-se considerar que, em critérios de desempenho acústico, o LSF apresenta vantagens em relação às paredes de alvenarias de blocos cerâmicos.

6.3 DESEMPENHO TÉRMICO

O quadro 21 sintetiza os aspectos de comparação do desempenho térmico dos sistemas estudados.

Quadro 21 – Quadro de Comparação dos sistemas de vedação vertical analisados: desempenho térmico

DESEMPENHO TÉRMICO	
<i>Light Steel Framing</i>	Alvenaria de blocos cerâmicos
As paredes de fachada em LSF atendem ao requisito de desempenho térmico da NBR 15575, porém, foi necessária a avaliação pelo método computacional. As fachadas em LSF atendem ao requisito com condições específicas, como aumento da ventilação, sombreamento, aplicação material de isolamento na parede e cores da fachada.	O desempenho térmico das paredes de alvenaria de bloco cerâmico atende ao requisito de desempenho térmico pelo método simplificado de avaliação para todas as zonas bioclimáticas. Não sendo necessária a avaliação pelo método computacional.

(fonte: elaborado pela autora)

Apesar do sistema em LSF atender às exigências da norma NBR 15575 é preciso que as condições de ventilação, sombreamento e cores da fachada sejam adequadas. Já as paredes de alvenaria, de acordo com a norma NBR 15575 não existe condições específicas para atender ao nível mínimo de desempenho térmico para fachadas.

Enquanto as vedações em alvenaria de blocos cerâmicos passam pelos requisitos da NBR 15575 em relação ao desempenho térmico já no primeiro ensaio das propriedades dos materiais para todas as zonas bioclimáticas, as paredes em LSF devem ser analisadas pelo método computacional. No método de simulação uma série de variáveis são modificadas, todas previstas pela norma, até que a parede atenda aos requisitos de desempenho térmico de fachadas. Observa-se, em alguns casos, que além das alternativas previstas na norma para melhorar o desempenho térmico das vedações, foi necessário prever o uso de isolamento térmico nas paredes.

Pode-se dizer, em relação ao desempenho térmico das fachadas, que as alvenarias de blocos cerâmico apresentam vantagem no seu desempenho, uma vez que não necessitam maiores cuidados para atenderem ao desempenho mínimo de conforto térmico.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho fez-se a comparação entre dois sistemas de vedação vertical, em LSF e em alvenaria de blocos cerâmicos.

Como pode-se observar nos capítulos anteriores, ambos os sistemas apresentam, de modo geral, o desempenho mínimo exigido pela NBR 15575. Porém, cada um dos sistemas também apresenta algumas desvantagens em termos de desempenho. Enquanto o LSF apresenta um melhor desempenho acústico, a alvenaria em blocos cerâmicos é mais eficiente termicamente. Apesar disso, o LSF, pela sua concepção, tem maior potencial de desempenho acústico e térmico, podendo ser constituído de materiais com mais tecnologia e que possibilitam um maior conforto para os usuários sem que haja um aumento da espessura da parede ou uma carga muito elevada. Em relação ao requisito de segurança contra incêndio, os dois sistemas apresentaram desempenho satisfatório em relação à NBR 15575. Sendo assim, o sistema de vedação vertical em alvenaria de blocos cerâmicos pode ser substituído pelo sistema em LSF em termos de desempenho térmico, acústico e na segurança contra incêndio.

Quando comparados os dois sistemas, é possível identificar qual possui melhor desempenho em relação aos critérios analisados. Cabe ressaltar, que um sistema não é necessariamente dominante em relação ao outro, ou seja, é sempre a melhor alternativa. A determinação da melhor alternativa pode variar dependendo da zona bioclimática na qual o sistema construtivo está inserido e em relação à classe de ruído do local. Sabe-se que para a escolha do sistema de vedação vertical, além do seu desempenho térmico, acústico e segurança contra incêndio, também deve-se levar em consideração os custos, do sistema e da mão de obra, a produtividade e sustentabilidade. Estes são os principais fatores que contribuem para a escolha de um ou outro sistema.

Neste trabalho comparou-se o atendimento ou não de dois sistemas de vedação vertical em relação aos requisitos da NBR 15575. Ficou evidenciado que ambos os sistemas estudados atendem ao desempenho acústico, térmico e segurança contra incêndio, porém, sabe-se que outros fatores influenciam na decisão de qual sistema utilizar. Sendo assim, sugere-se a comparação entre os sistemas em relação aos custos, produtividade e sustentabilidade a fim de entender os outros fatores que levam o engenheiro a decidir qual sistema será utilizado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo: ABCI/PROJETO, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10636**: Paredes divisória sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001a.

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

_____. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **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 internas e externas. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 5628**: Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA *DRYWALL*. Manual de projeto de sistemas drywall: paredes, forros e revestimentos. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2006.

BRASIL. Ministério das cidades. Secretaria Nacional da Habitação. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas. **Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos nº 03**. Brasília, dez. 2013.

CALDAS, R. B. **Análise numérica de estruturas de aço, concreto e mistas em situação de incêndio**. 2008. 249 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/PASA-7NPGE6/tesecaldas2008.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 out. 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CRASTO, R. C. M. de. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing**. 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. Disponível em: <<http://www.propec.ufop.br/index/tese.php?idtese=95>>. Acesso em: 7 abr. 2015.

FROTA, A. B., SCHIFFER, S. R. Manual do conforto térmico: arquitetura, urbanismo. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2 ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

HENDRY, E. A. W. Masonry walls: materials and construction. **Construction and Building Materials**, [s.l.]: v. 15, n. 8, p. 323-330, Dec. 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061801000198>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Documento de Avaliação Técnica nº 014**. São Paulo, 2013a.

_____. **Documento de Avaliação Técnica nº 015**. São Paulo, 2013b.

_____. **Documento de Avaliação Técnica nº 016**. São Paulo, 2013c.

LIMA, R. F. de. **Técnicas, métodos e processos de projeto e construção do sistema construtivo *Light Steel Frame***. 2013. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-9JXL52/disserta__o_rondinely_.pdf?sequence=1>. Acesso em: 28 out. 2015.

LORENZI, L. S. **Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse sociais térreas**. 2013. 245 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/96630>>. Acesso em: 5 nov. 2015.

LYONS, A. **Materials for architects and builders**. 3rd ed. [s.l.]: Elsevier, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780750669405>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

MEDEIROS, J. S.; MELLO, M. B.; ROGGERO, M. V. V.; SEGUNDO, M. J. P.; PIETRANTONIO, V. B. **Tecnologias de vedação e revestimento para fachadas**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2014. Série Manual da Construção em Aço.

NASCIMENTO, O. L. do. **Alvenarias**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2004. Série Manual da Construção em Aço.

RADAVELLI, G. F. **Avaliação experimental da perda de transmissão Sonora em paredes externas de *Light Steel Frame***. 2014. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/Dissertacao_Graziella_Radavelli.pdf>. Acesso em: 28 out. 2015.

RIBAS, R. A. de J.; SOUZA, H. A. de; ADRIANO, J. J.; PEREIRA, D. J. R. Desempenho térmico e acústico de painéis de fechamento em multicamadas. **Revista Eletrônica de Engenharia**, Rio de Janeiro: v. 6, n. 2, p. 1-10, Fev. 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/5486/1/ARTIGO_DesempenhoT%C3%A9rmicoAc%C3%BAstico.pdf>. Acesso em: 28 out. 2015.

SANTIAGO, A. K., FREITAS, A. M. S., CRASTO, R. C. de. **Steel Framing**: arquitetura. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2012. Série Manual da Construção em Aço.

SÃO PAULO. Secretaria de estado dos negócios da segurança pública. Polícia Militar do estado de São Paulo. Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica nº 02**. Conceitos básicos de segurança contra incêndio. 2015a. Disponível em: <http://www.corpodebombeiros.sp.gov.br/internetcb/Downloads/IT-02-2015_Conceitos_basicos_de_seguranca_contra_incendio.pdf>. Acesso em: 28 out. 2015.

SÃO PAULO. Secretaria de estado dos negócios da segurança pública. Polícia Militar do estado de São Paulo. Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica nº 10**. Controle de materiais de acabamento e de revestimento. 2015b. Disponível em: <<http://www.corpodebombeiros.sp.gov.br/internetcb/Downloads/IT-10-Controlde%20de%20materiais.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2015.

SILVA, M. A. C. (Coord.). **Desempenho: sistema de alvenaria com blocos cerâmicos Pauluzzi**. Sapucaia do Sul: Pauluzzi Produtos Cerâmicos, 2015.

SILVA, V. P. E. **Estruturas de aço em situação de incêndio**. 1997. 188 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. Disponível em: <<http://www.lmc.ep.usp.br/people/valdir/tesecompleta.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2015.

SORGATO, M. J., MELO, A. P., LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, Brasília: v.1, n. 13, p. 13-21, 2014. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/12205/8544>>. Acesso em: 28 out. 2015.

SOUZA, L. C. L. de; ALMEIDA, M. G. de; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. São Carlos: EduFSCar, 2012.

THOMAZ, E.; FILHO, C. V. M., CLETO, F. da R., CARDOSO, F. F. **Código de práticas n. 1. Alvenaria de Vedação em Blocos Cerâmicos**. São Paulo: IPT, 2009.